



**HAL**  
open science

## Mesures et modélisations du fonctionnement hydrosédimentaire du secteur de Miribel-Jonage. OSR4 | Action I.2

Thomas Depret, Hervé Piégay, Mathieu Cassel, Brice Noirot, Lise Vaudor,  
Ludovic Bultingaire, Saleh Yousefi, Kristell Michel, Violaine Dugué, B.  
Camenen

### ► To cite this version:

Thomas Depret, Hervé Piégay, Mathieu Cassel, Brice Noirot, Lise Vaudor, et al.. Mesures et modélisations du fonctionnement hydrosédimentaire du secteur de Miribel-Jonage. OSR4 | Action I.2. [Rapport de recherche] Cnrs; ENS de Lyon; INRAE. 2018. hal-03748489

**HAL Id: hal-03748489**

**<https://hal.science/hal-03748489>**

Submitted on 9 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.

OSR4 2015-2017

Mesures et modélisations du fonctionnement  
hydrosédimentaire du secteur de Miribel-Jonage



**O**bservatoire  
**S**édiments  
**du R**hône

## Action I.2

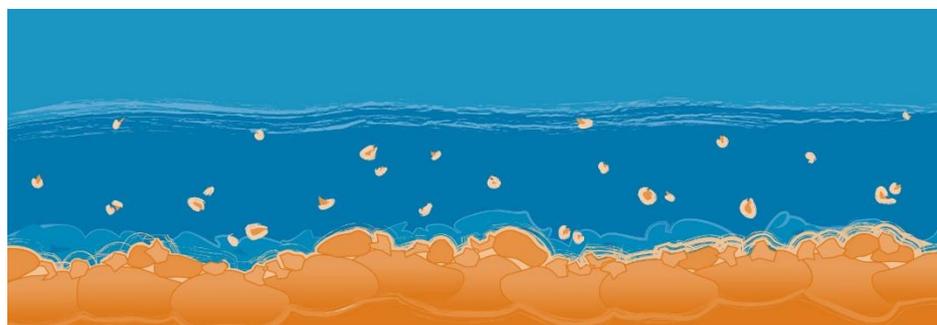
*Rapport final – janvier 2018*



2015 - 2020



Donnons un avenir à notre fleuve





Personnes impliquées	Equipe de recherche
Dépret T., Piégay H., Cassel M., Noirot B., Vaudor L., Bultingaire L., Yousefi S., Michel K.	ENS CNRS UMR5600
Dugué V., Camenen B.	Irstea

Pour cette action, l'équipe OSR a bénéficié d'une collaboration étroite avec les équipes techniques de la CNR (en particulier Christophe Mora et Lionel Méric) pour réaliser les acquisitions granulométriques dans le chenal.

# Mesures et modélisations du fonctionnement hydrosédimentaire du secteur de Miribel-Jonage

## Rapport final

### Résumé

Les vitesses de déplacement de la charge de fond constituent un paramètre de contrôle majeur des modalités d'ajustement morphologiques des rivières. Une méthodologie de suivi des déplacements de la charge de fond sur des tronçons de rivière larges et profonds a été développée à partir de RFID actifs (taux de retour élevés et investissement temps-personnel relativement limité) sur le secteur de Miribel-Jonage. Celui-ci est caractérisé par un transport de la charge de fond encore très actif. A ce titre, il fait aujourd'hui figure d'exception sur le Rhône français. Les données relatives à la détermination des distances de transport de la charge de fond sont les premières acquises à l'échelle de l'intégralité du linéaire du Rhône. En raison de la faible activité hydrologique durant la période d'étude, une seule campagne de détection a pu être réalisée. La distance moyenne parcourue est de 450 m (pour un débit maximal atteint de l'ordre de la crue annuelle). Ces suivis sont maintenant à pérenniser afin notamment de caractériser ces déplacements sur le temps « long » et d'établir des relations avec les caractéristiques hydrologiques et hydrauliques des événements mobilisateurs. Certaines contradictions entre résultats tirés du modèle hydraulique et résultats tirés du suivi par traceurs ont néanmoins été mises en évidence. Ce constat vient rappeler la nécessité de disposer de données de validation des modèles et de granulométries sans doute plus précises. Des mesures de terrain complémentaires (mesure des vitesses des écoulements à l'ADCP) devraient être réalisées afin de comprendre les raisons d'une telle discordance. C'est l'objectif d'OSR5 de valider les modèles à partir de données de terrain robustes afin de permettre de réaliser des simulations réalistes permettant d'évaluer les scénarios opérationnels.

### Mots-clés

Charge de fond ; Traceurs ; Vitesse de déplacement ; Compétence ; Granulométrie

## Table des matières

1. Introduction .....	4
2. Présentation du secteur d'étude .....	4
3. Matériel et Méthodes.....	5
3.1 Suivi des déplacements de la charge de fond .....	5
3.2 Modélisation hydraulique 1D .....	9
3.2.1 Paramètres du modèle et débits simulés .....	9
3.2.2 Mobilité de la charge de fond.....	10
3.3 Détermination de la granulométrie du lit.....	11
4. Résultats .....	13
4.1 Suivi des déplacements de la charge de fond .....	13
4.2 Modélisation hydraulique et mobilité de la charge de fond .....	15
4.3 Granulométrie du lit .....	17
5. Conclusion.....	18

## 1. Introduction

L'action I.2 de l'OSR4 vise à améliorer notre compréhension des modalités de transit, stockage et déstockage de la charge de fond sur le secteur de Miribel-Jonage (retenue + canal de Miribel). Ce tronçon est caractérisé par un transport de la charge de fond encore très actif. A ce titre, il fait aujourd'hui figure d'exception sur le Rhône français. Les principales vocations du lit mineur et de sa plaine alluviale (à savoir alimenter en eau potable l'agglomération lyonnaise, réduire le risque inondation aval par écrêtement des crues et conserver ou restaurer les potentialités écologiques du corridor fluvial) sont toutes plus ou moins directement inféodées au maintien du niveau de la nappe alluviale, celui-ci dépendant in fine de l'alimentation du lit par les sédiments grossiers. Ces matériaux sont fournis pour l'essentiel, voire en totalité, par les apports de l'Ain, dont la confluence avec le Rhône est située huit km à l'amont du barrage de Jons (Figure 1). Si les relations morpho-sédimentaires entre les différents compartiments de cet ensemble Ain – Rhône – Canal de Miribel sont désormais relativement bien renseignées (Poinsart et al., 1989 ; Petit et al., 1996 ; Malavoi et Hydratec, 2000 ; Malavoi, 2005, 2008 ; Artelia, 2012), les vitesses de déplacement de la charge de fond, composante majeure de la dynamique du secteur, demeurent encore inconnues. Une telle information est pourtant indispensable pour pouvoir anticiper d'éventuelles évolutions indésirables du lit et pour être en mesure d'y apporter les réponses les plus adaptées. L'objectif principal du programme OSR4 est donc ici de déterminer ces vitesses de déplacement de la charge de fond aux échelles événementielle et pluri-annuelle, tant dans la retenue, c'est-à-dire entre la confluence avec l'Ain et le barrage de Jons, que sur le canal de Miribel.

## 2. Présentation du secteur d'étude

Le secteur ici étudié comprend deux tronçons distincts avec à l'amont, la section s'étendant de la confluence avec l'Ain jusqu'au barrage de Jons, placée sous l'influence de ce dernier, et à l'aval, le canal de Miribel, qui correspond au lit court-circuité du Rhône (Figure 1).

Le Rhône à l'aval du barrage de Jons a subi depuis 170 ans plusieurs phases d'aménagement qui ont concouru à profondément modifier sa dynamique fluviale. Le fleuve est ainsi passé en environ un siècle d'un style à tresses, caractérisé par une forte instabilité latérale, à un style à chenal unique pour lequel les ajustements de formes ne peuvent plus se réaliser que verticalement. Trois phases d'interventions humaines sont à distinguer :

- La première s'est déroulée au milieu du XIXe siècle. Elle correspond à la construction du canal de Miribel, situé en rive droite de la bande de tressage. L'objectif de cet aménagement était de favoriser la navigation (Poinsart et al., 1989 ; Petit et al., 1996). D'un point de vue morphologique, la concentration des écoulements s'est traduite par un basculement du profil en long, la partie amont du chenal subissant une incision marquée tandis que la partie aval s'exhaussait (Poinsart et al., 1989).

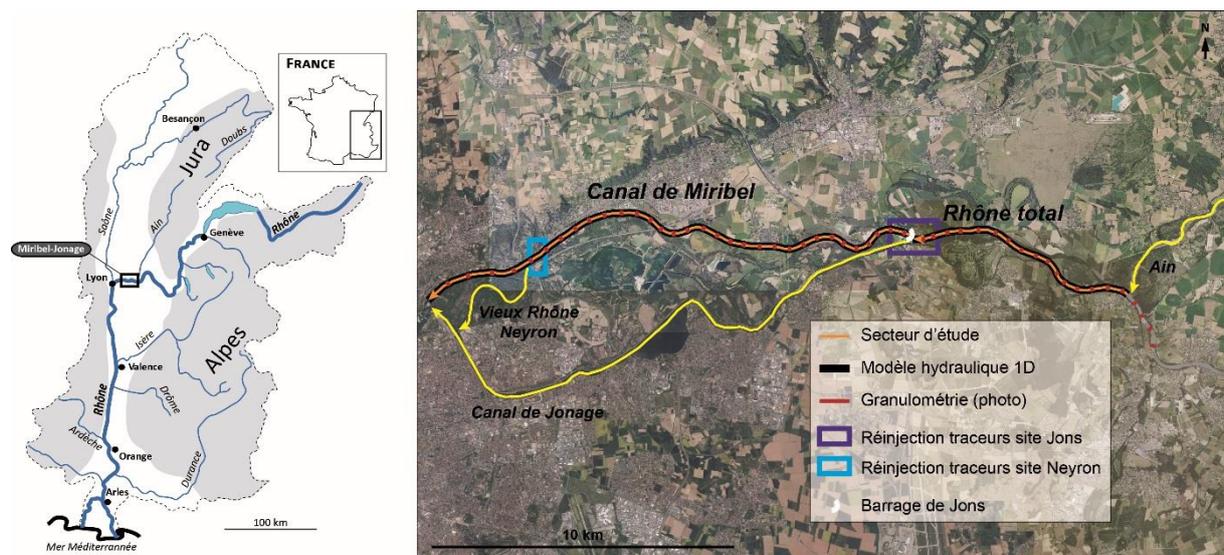
- La seconde phase s'est produite en deux temps. A la construction entre 1894 et 1899 du canal de dérivation de Jonage, destiné à alimenter l'usine hydroélectrique de Cusset, a succédé la construction du barrage de Jons, mis en service en 1937 et destiné à garantir la dérivation des eaux vers le canal de Jonage. Aujourd'hui, le barrage de Jons est transparent pour la charge de fond et l'essentiel des matériaux transite par le canal de Miribel. Le barrage assure dans le canal un débit réservé compris entre 30 et 60 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> et le débit d'équipement de l'usine de Cusset est de 640 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Ce qui signifie qu'au-delà d'un débit de 670 ou 700 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> à l'amont de Jons, l'excédent des écoulements transite dans le canal de Miribel. Le barrage est partiellement effacé pour la charge de fond à partir d'un débit total de 900 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Il l'est totalement au-delà de 2100 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, soit pour une crue

de période de retour 2,4 ans (calculée via un ajustement de Gumbel à partir de la chronique de débits journaliers à la station de Lyon pour la période 1920-2013).

- La troisième phase débute dans les années 1960. Elle est caractérisée par une exploitation irraisonnée des sédiments dans le lit mineur avec pour conséquence une reprise et une intensification de l'incision. Au final, le lit s'est enfoncé de plus de quatre mètres sur l'essentiel du canal entre la moitié du XIXe siècle et la fin des années 1990 (Malavoi et Hydratec, 2000).

En plus du rôle joué par la chenalisation et par les extractions, l'enfoncement du lit a été favorisé par la très forte mobilité de la charge de fond. Le débit critique de mobilisation dans le canal de Miribel serait de l'ordre de  $440 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , soit 40 jours d'activité par an, et la mise en mouvement généralisée des sédiments du lit surviendrait au-delà de  $550 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , ce qui correspond à 30 jours d'activité par an (Petit et al., 1996).

Les extractions ont pris fin au début des années 1990 et le profil s'est stabilisé il y a environ 15 ans. On assiste depuis à une fluctuation du niveau du lit autour de ce qui pourrait s'apparenter à un nouveau profil d'équilibre, avec néanmoins un léger exhaussement constaté sur cette période (Malavoi et Hydratec, 2000 ; Malavoi, 2005, 2008). Cet exhaussement résulte probablement au moins en partie de la construction en 1999 d'un seuil au niveau du pk -14 (les pk indiquent la distance en kilomètre à la ville de Lyon, avec des valeurs négatives en amont et valeurs positives en aval), situé un peu à l'amont de la brèche de Neyron (Figure 1) (Malavoi et Hydratec, 2000 ; Malavoi, 2005, 2008).



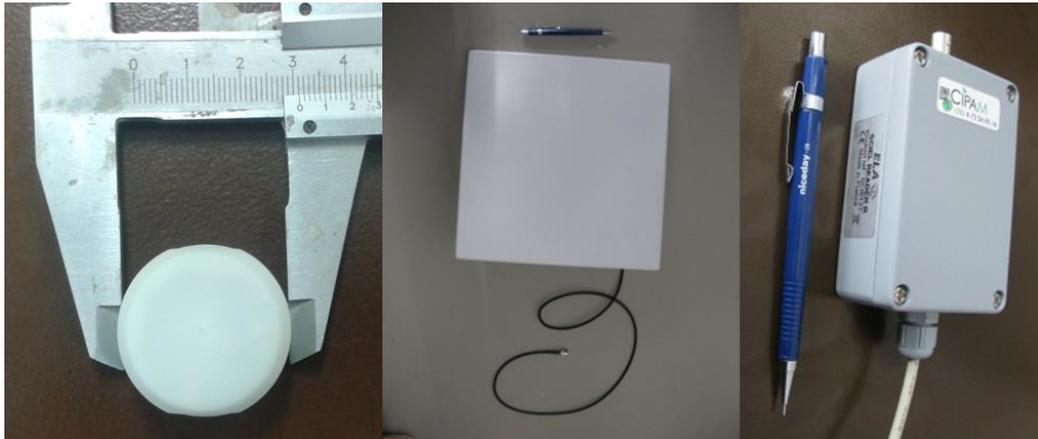
**Figure 1** - Localisation du secteur d'étude et dispositif méthodologique mis en œuvre pour caractériser la mobilité de la charge de fond.

### 3. Matériel et Méthodes

#### 3.1 Suivi des déplacements de la charge de fond

Les distances et des trajectoires de déplacement de la charge de fond ont été reconstituées grâce à un suivi de particules artificielles équipées de traceurs RFID actifs ultra haute-fréquence (433.92MHz COIN-HC, ELA Innovation®) (Figure 2). Ces traceurs n'ayant encore jamais été utilisés pour ce type d'application, il était nécessaire de mettre préalablement au point un protocole permettant de déterminer la précision de la position de ces particules marquées. Pour plus de détails, le lecteur est

invité à se référer à Cassel et al. (2017). Deux raisons ont motivé le recours à des galets artificiels, conçus et fabriqués à l'UMR5600 (Figure 3). Tout d'abord, les sédiments naturels présentent une trop grande fragilité pour pouvoir être équipés de ce type de traceurs. Ce n'est pas le cas des particules artificielles, dont la résistance à l'abrasion et aux chocs a été testée en laboratoire lors d'expérimentations réalisées en canal artificiel (collaboration avec le Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques à Nancy (CNRS)). L'utilisation de particules artificielles permet également de réduire au maximum la taille des particules équipées de traceurs. Le plus petit axe-b ayant pu être marqué est ainsi de 44,5 mm (diamètre et épaisseur des traceurs respectivement de 31 mm et 15 mm).



**Figure 2** - Vue en plan d'un traceur, ici inséré dans sa capsule (photo de gauche), vue en plan de l'antenne de détection (photo du milieu) ; lecteur des traceurs (photo de gauche).

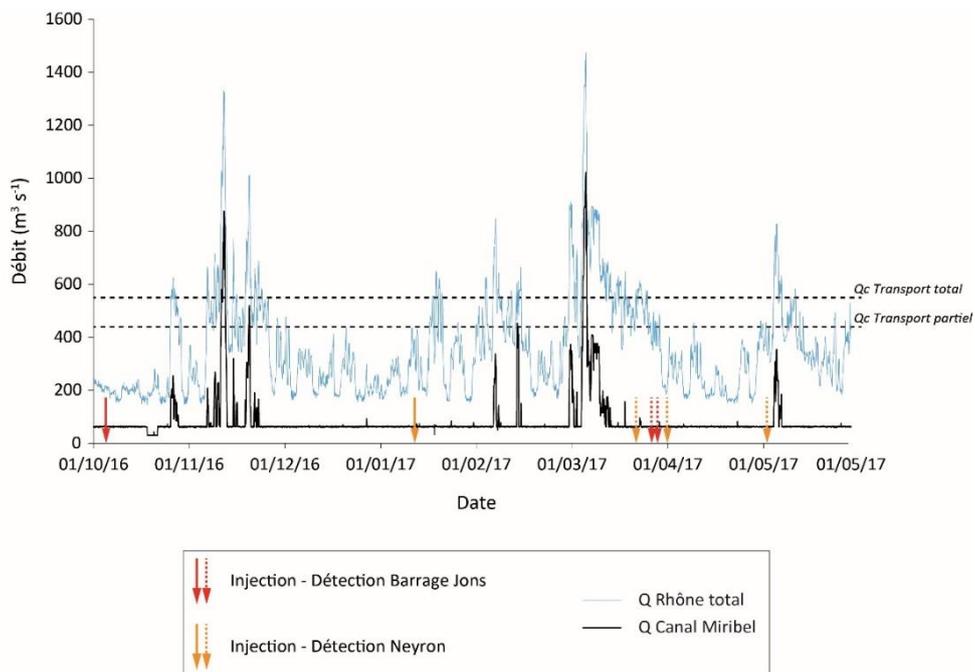


**Figure 3** - Exemple de particules artificielles conçues afin d'assurer un suivi des déplacements de la charge de fond. A gauche, le plus petit galet ayant pu être marqué (axe b = 44,5 mm, diamètre traceurs = 31 mm). A droite, le plus grand traceur marqué (axe b = 108 mm). Pour chacune des tailles, la particule naturelle est à gauche.

Deux sites d'injection ont été sélectionnés. Le premier est situé de part et d'autre du barrage de Jons, soit à l'extrémité aval de la retenue et à l'entrée du canal de Miribel (Figure 1 et Figure 4). Le second est situé à l'amont immédiat de la diffluence entre canal de Miribel et Vieux Rhône de Neyron (Figure 1 et Figure 4). Sur le premier site, 200 particules ont été injectées début septembre 2016 le long de quatre transects transversaux espacés d'environ 200 m. Elles ont été injectées en amas à partir d'une embarcation, à raison de cinq amas par profil (dix traceurs par amas). Quatre classes de taille d'étendue demi-phi ont été équipées : [32,5-45[ (axe-b = 44,5 mm), [45-64[ (axe-b = 47-59,5 mm), [64-90,5[ (axe-b = 68-72,5 mm), [90,5-128[ (axe-b = 108 mm). La plus petite taille correspond au  $D_{50}$  des unités sédimentaires les plus grossières situées généralement sur les têtes de bancs du canal de Miribel. La densité médiane des particules artificielles augmente en fonction de leur taille. Elle est ainsi de 2,39 pour la classe [32,5-45[, de 2,52 pour la classe [45-64[, de 2,6 pour la classe [64-90,5[ et enfin de 2,74 pour la classe [90,5-128[. Sur le second site, 100 particules ont été injectées en janvier 2017 dans le cadre d'un partenariat avec BURGEAP. Un protocole similaire à celui mis en œuvre sur le site de Jons a été appliqué. Les profils sont ici espacés de 145 m et seule la plus petite des classes de taille a été équipée de traceurs. La densité médiane est de 2,65.

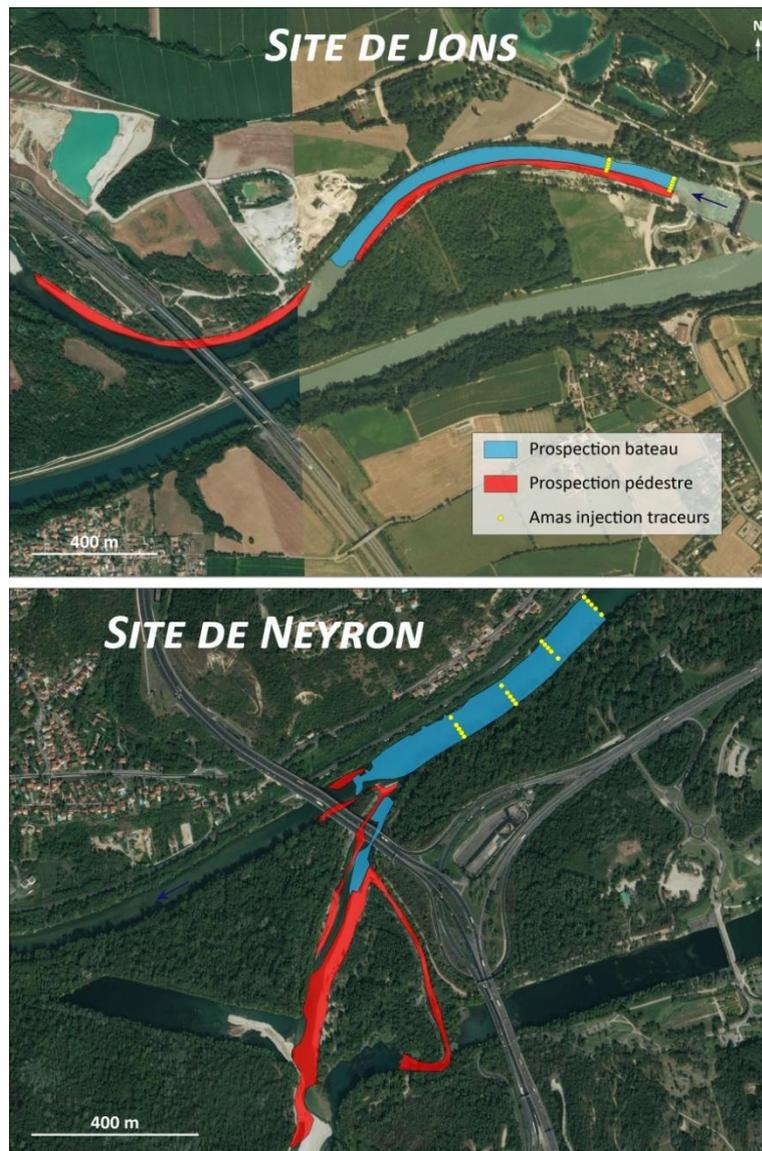


**Figure 4** - Localisation des profils d'injection des traceurs RFID actifs haute fréquence.



**Figure 5** - Date d'injection et de détection des traceurs et hydrogramme des débits instantanés.

En raison de la faible activité hydrologique durant la période d'étude, une seule campagne de détection a pu être réalisée (Figure 5). Le débit instantané maximal atteint depuis les injections s'élève à  $1472 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  dans le Rhône total, soit  $1021 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  dans le canal de Miribel (données EDF) (Figure 5). Cela correspond approximativement à la crue annuelle (la période de retour de 1,1 an, calculée via un ajustement de Gumbel à partir de la chronique de débits journaliers à la station de Lyon pour la période 1920-2013, indique un débit de  $1476 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Sur les sites de Jons et Neyron, le débit critique de mise en mouvement de la charge de fond ( $440 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  dans le canal de Miribel selon Petit et al. (2016)) a été respectivement atteint lors de quatre et deux événements distincts (durée totale de 81 h et 38 h) (Figure 5). Le débit pour lequel la totalité de la charge de fond est mobilisée ( $550 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  dans le canal de Miribel selon Petit et al. (2016)) a été respectivement atteint lors de deux et un événements (durée totale de 57h et 31h) (Figure 5).



**Figure 6** - Emprise des zones prospectées pour la détection des traceurs.

L'intensité du signal émis par les traceurs (chacun d'entre eux disposant d'un identifiant propre) varie en fonction de la distance entre ces derniers et l'antenne de détection. Leur localisation peut ainsi être déterminée en associant une position à chaque enregistrement de l'intensité du signal. Pour cela, antenne de détection et DGPS sont utilisés conjointement. Leurs horloges sont préalablement

synchronisées. La position finalement retenue correspond à la position de la plus forte intensité du signal. Pour plus de détail, le lecteur est invité à se référer à Cassel et al. (2017). Les détections ont été effectuées à pieds pour les zones émergées et pour les zones immergées peu profondes ( $h_{\text{eau}} < 50$  cm), en bateau pour les zones immergées profondes ( $50 \text{ cm} < h_{\text{eau}} < 2,5\text{-}3$  m). Pour ces dernières, le dispositif de détection est composé de deux antennes flottantes fixées de part et d'autre de l'embarcation (Figure 7). Pour une profondeur de 2 m, la portée latérale de détection d'une antenne (largeur de la fauchée) est d'environ 2 m. La distance maximale de détection est de l'ordre de 2,5-3 m. Les particules réinjectées à l'amont du barrage de Jons, où la profondeur excède cette distance maximale, n'ont pas pu être retrouvées. Afin de remédier au problème, deux dispositifs d'antenne tractée au fond du lit ont été fabriqués (Figure 7). Les tests réalisés se sont malheureusement révélés infructueux. Un nouveau dispositif, calqué sur le modèle des antennes rectangulaires de détection des PIT-tags (Arnaud et al., 2015, 2017), devrait néanmoins être bientôt opérationnel (Figure 7).



**Figure 7** - Aperçu des différents dispositifs de détection subaquatique testés. A gauche et en haut au milieu, les supports d'antenne abandonnés. En bas au milieu, le modèle de support d'antenne tractée au fond du lit finalement retenu (détection  $h_{\text{eau}} > 2,5\text{-}3$  m). A droite, antenne positionnée au fil de l'eau (détection  $h_{\text{eau}} < 2,5\text{-}3$  m).

A partir des données recueillies, ont été calculés le taux de retour des traceurs, leur taux de mobilisation et les distances parcourues. Compte-tenu de l'incertitude relative à leur position lors de l'injection et de la détection, une distance-seuil de 30 m a été fixée à l'aval immédiat du barrage de Jons pour discriminer traceurs mobilisés et traceurs non mobilisés. Sur le site de Neyron, cette distance a été fixée à 20 m.

### 3.2 Modélisation hydraulique 1D

#### 3.2.1 Paramètres du modèle et débits simulés

La vitesse moyenne à l'échelle de sections en travers a été déterminée par l'intermédiaire du modèle 1D MAGE, développé par l'IRSTEA et couvrant l'intégralité du Rhône de la sortie du lac Léman jusqu'au delta du Rhône. Les simulations ont été réalisées de la confluence avec l'Ain jusqu'à la confluence entre le canal de Miribel et celui de Jonage (seuil de Villeurbanne-Caluire) (pk -33,5 / -9,2). Les sorties du modèle ont été exploitées uniquement au niveau du Rhône total entre la confluence avec l'Ain et le barrage de Jons (retenue), et au niveau du canal de Miribel (Rhône court-circuité) (Figure 1). Les données topo-bathymétriques utilisées datent de la seconde moitié des années 2000.

Elles sont renseignées sous la forme de profils transversaux en moyenne équidistants de 330 m sur la retenue et de 230 m sur le canal de Miribel. Nous disposons de sorties du modèle pour : le débit de mobilisation partielle des sédiments dans le canal de Miribel, le débit de mobilisation totale, le débit maximum validé dans la retenue (période de retour 1,15 an), la crue biennale et enfin la crue quinquennale (débit maximum validé dans le canal de Miribel) (Tableau 1).

Les conditions limites amont correspondent aux cinq valeurs de débit simulées. Les conditions aval initiales sont fixées au nœud de Jons (PK -27,65) par une loi  $Z(t)$ . Cette loi est connue jusqu'à un débit de  $2500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (source : Cédric Chevallier, EDF). Lorsque l'usine de Cusset est saturée, le niveau au musoir de Jons est de 182,4 m NGFO (soit 182,64 m NGF). Au-delà de  $2500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , le barrage est effacé (mise hors d'eau des vannes du barrage) et ne maintient plus la cote amont. Par conséquent, les niveaux d'eau à Jons dépendent alors uniquement des conditions d'équilibre au débit donné (influence du chenal), voire d'une condition à l'aval de Miribel-Jonage (soit le seuil de Villeurbanne-Caluire). Dans tous les cas, le modèle 1D n'est pas adapté pour représenter correctement les écoulements dans Miribel-Jonage lorsqu'il y a débordement. Il ne prend pas compte des écoulements complexes (2D, 3D) liés aux débordements. De ce fait, le modèle 1D n'est utilisé que pour des débits inférieurs à  $2500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  sur ce secteur. Il est toutefois à noter que le modèle du tronçon entre la confluence de l'Ain et le barrage de Jons a été validé pour un débit maximum de  $1350 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Les valeurs obtenues avec le modèle sont des extrapolations et doivent être prises avec précaution. Les simulations se font sur dix jours en régime permanent avec un pas de temps de 60s.

**Tableau 1** - Débits simulés pour la caractérisation de la mobilité de la charge de fond ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ).

	<b>1080</b> <b>(mob partielle)</b>	<b>1220</b> <b>(mob totale)</b>	<b>1522</b> <b>(<math>Q_{1,15}</math>)</b>	<b>2043</b> <b>(<math>Q_2</math>)</b>	<b>2563</b> <b>(<math>Q_5</math>)</b>
<b>Retenue</b>	1090	1220	1522	2043	2563
<b>Canal Miribel</b>	440	580	882	1403	1923
<b>Canal Jonage</b>	640	640	640	640	640

### 3.2.2 Mobilité de la charge de fond

A partir des sorties du modèle, ont été déterminées pour chaque profil transversal et pour chaque débit simulé la plus grande taille de particule mobilisable ainsi que la mobilité potentielle du  $D_{50}$ . Pour chacun de ces paramètres, deux estimations, basées un nombre critique de Shields de 0,03 et de 0,06, ont été proposées. La première valeur correspond à un faible degré de compaction des grains composant la couche de surface du lit. Elle est caractéristique d'une fréquence de mobilisation de la charge de fond relativement élevée. La seconde valeur correspond à l'inverse, à une forte compaction des sédiments, situation rencontrée lorsque la couche de surface est peu mobile.

Pour cela, a tout d'abord été calculée pour chaque profil du modèle la contrainte de cisaillement totale :

$$\tau = \frac{\rho_w g V^2}{K^2 R_h^{1/3}} \quad \text{Eq.1}$$

avec  $\tau$  la contrainte totale en  $\text{N m}^{-2}$ ;  $\rho_w$  la masse volumique de l'eau ( $1000 \text{ kg m}^{-3}$ ),  $g$  l'accélération de la gravité en  $\text{m s}^{-2}$ ,  $V$  la vitesse moyenne au droit du profil en  $\text{m s}^{-1}$ ,  $R_h$  le rayon hydraulique en m,  $K$  le coefficient de rugosité total de Strickler en  $\text{m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ . Ces trois derniers paramètres sont tirés des sorties du modèle.

Ensuite, la contrainte de cisaillement efficace a été calculée à partir de la contrainte totale via la relation suivante :

$$\tau'' = \tau \left( \frac{K}{K_s} \right)^{3/2} \quad \text{Eq.2}$$

avec  $\tau''$  la contrainte efficace en  $\text{N m}^{-2}$ , et  $K_s$  le coefficient de rugosité du à la seule résistance des grains en  $\text{m}^{1/3} \text{s}^{-1}$ , obtenue via l'équation de Meyer-Peter et Müller (1948) :

$$K_s = \frac{26}{D_{90}^{1/6}} \quad \text{Eq.3}$$

avec  $D_{90}$  la taille de sédiment de surface en mm pour laquelle 90 % du nombre total de particules disposent d'une taille inférieure.

La compétence (taille maximale mobilisable) a ensuite été déterminée comme suit :

$$D_{\max} = \frac{\tau''}{g\theta_c(\rho_s - \rho_w)} \quad \text{Eq.4}$$

avec  $D_{\max}$  la compétence exprimée en m,  $\theta_c$  le nombre critique de Shields, égal à 0,03 ou 0,06, et  $\rho_s$  la masse volumique des sédiments ( $2650 \text{ kg m}^{-3}$ ).

Enfin, la mobilité potentielle du  $D_{50}$  de surface a été calculée en soustrayant le nombre critique de Shields (0,03 ou 0,06) à la contrainte efficace adimensionnelle. Les valeurs positives indiquent que le  $D_{50}$  est mobilisable, tandis que les valeurs négatives indiquent une absence de mobilisation. La contrainte efficace adimensionnelle a été obtenue de la façon suivante :

$$\tau_c'' = g\theta_c(\rho_s - \rho_w)D_{50} \quad \text{Eq.5}$$

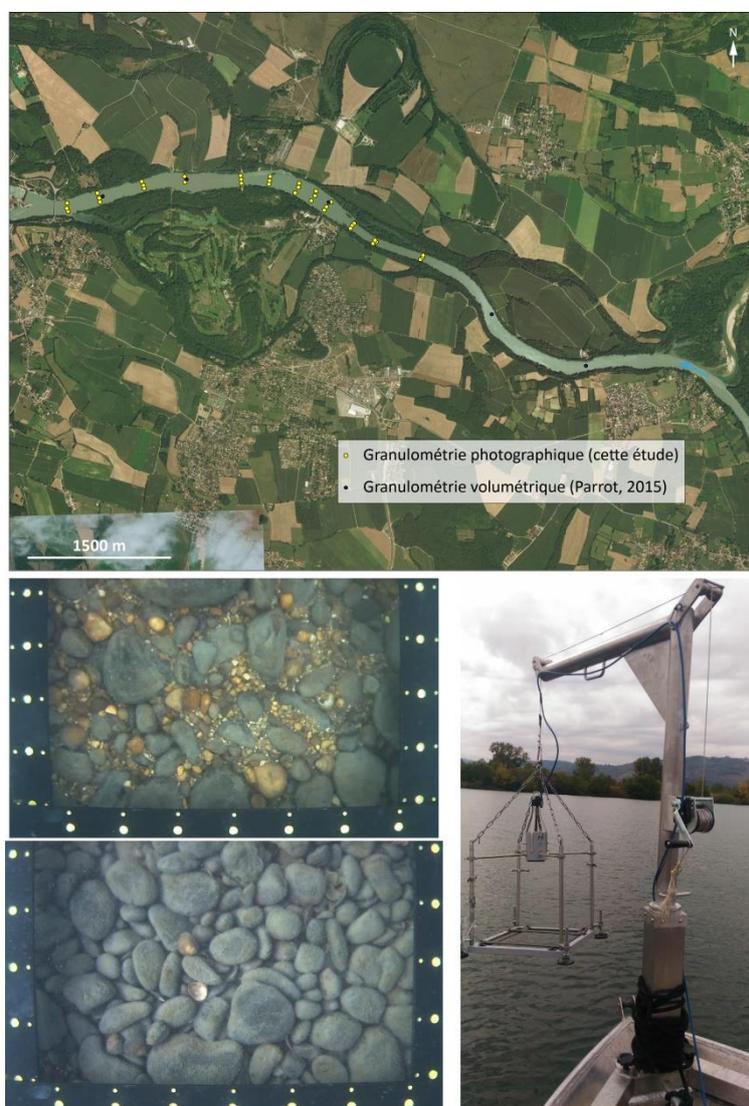
où  $\theta_c$  est le nombre critique de Shields égal à 0,03 ou 0,06, et  $D_{50}$  la taille de sédiment de surface en mm pour laquelle 50 % du nombre total de particules disposent d'une taille inférieure.

Les  $D_{50}$  et  $D_{90}$  de surface utilisés dans les équations ci-dessus ont été obtenus à partir des échantillonnages volumétriques réalisés en 2012 par E. Parrot (2015). La taille des grains au niveau de chaque point échantillonné a été utilisée sur une distance égale à la moitié de la distance aux échantillons suivants et précédents.

### 3.3 Détermination de la granulométrie du lit

Sur la retenue de Jons, deux types de méthodes ont été employés. Tout d'abord, six échantillons volumétriques de surface et de la partie supérieure de la couche de subsurface ont été prélevés dans le thalweg au niveau des pk -35,4, -33,1, -32, -29,9, -28,3 et -27,4 (Parrot, 2015) (Figure 8). Chaque échantillon est en réalité composé de trois sous-échantillons distincts situés à proximité les uns des autres. Ensuite, une série de photographies subaquatiques du lit a été réalisée sur les quatre km aval de la retenue, entre les pk -31 et -27 (Figure 8). Les photographies ont été prises le 22/02/17 en basses eaux (débit instantané à la station de Perrache compris entre  $200$  et  $450 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) et pour des profondeurs allant de 0,9 m à 7 m. Les prises de vues ont été réalisées par l'intermédiaire d'une simple caméra de surveillance (Caméra submersible 50m IP Full HD UW-UW-6020IP, Allwan Security®) montée sur une structure métallique contrôlée à partir d'une poulie fixée à la proue d'un bateau (équipement et personnel technique mis à disposition par la CNR) (Figure 8). La partie inférieure de la structure

métallique, composée d'un cadre ajouré le long duquel est fixée une règle, est parallèle au plan de la focale de l'appareil. La taille des photographies est de 32.6 x 21.8 cm. Trente-cinq points ont été échantillonnés. Ils sont localisés le long de profils en travers espacés en moyenne de 365 m (min = 174 m, max = 598 m). Ces profils sont situés aux mêmes emplacements que ceux utilisés pour le modèle 1D (Figure 8). Pour chaque profil, trois points ont été échantillonnés : un au centre du chenal et les deux autres à mi-distance entre le point central et chacune des berges. La moitié amont de la retenue n'a pu être renseignée : les vitesses d'écoulement élevées rendaient la structure métallique trop instable. Pour chaque échantillon, au moins cinq photographies ont été réalisées. Proches les unes des autres, elles ne présentent néanmoins aucun recouvrement. Cette stratégie a été adoptée afin de réduire le risque d'échantillonner une zone non représentative du contexte sédimentaire local. Sur chaque photographie, l'axe-b apparent a été mesuré manuellement sur 20 particules situées aux intersections d'une grille régulière. L'espace entre les intersections est supérieur au plus grand axe-a de chaque photographie. Pour chaque point échantillonné, nous disposons donc d'une valeur d'axe-b pour au moins 100 particules (cinq images et 20 particules par image), à partir desquelles ont été calculés le  $D_{50}$  et le  $D_{90}$ .



**Figure 8** - Localisation des échantillonnages volumétriques, des photographies subaquatiques et aperçu des prises de vues réalisées et du dispositif utilisé à cet effet.

Sur le canal de Miribel, les seules granulométries disponibles en contexte immergé sont tirées des échantillons volumétriques de surface et de la partie supérieure de la couche de subsurface prélevés par E. Parrot (2015) dans le thalweg au niveau des pk -21, -18,8 et -15,4. Initialement prévue, la caractérisation de la granulométrie par photographie subaquatique (procédure identique à celle présentée ci-dessus, mais avec un espacement entre profils de 200 m) a finalement dû être reportée. Les moyens logistiques de la CNR n'ont pas pu être déployés sur ce tronçon en raison d'un tirant d'eau trop faible et de l'absence de rampe de mise à l'eau adaptée. De plus, un trop grand retard a été pris dans la fabrication du matériel conçu pour l'acquisition de ces données.

## 4. Résultats

### 4.1 Suivi des déplacements de la charge de fond

#### Site de Jons

Le taux de retour est de 70 %. Le taux de mobilisation est de 71,4 %. Les distances moyennes et médianes sont respectivement de 448 m et 451 m. La Figure 9 indique les trajectoires parcourues. Des informations détaillées par dimension des particules sont fournies dans le Tableau 2. Enfin, les taux de mobilisation et les distances de transport sont d'autant plus faibles que la taille des traceurs est élevée (Figure 10). Ceci indique un transport partiel de la charge de fond.

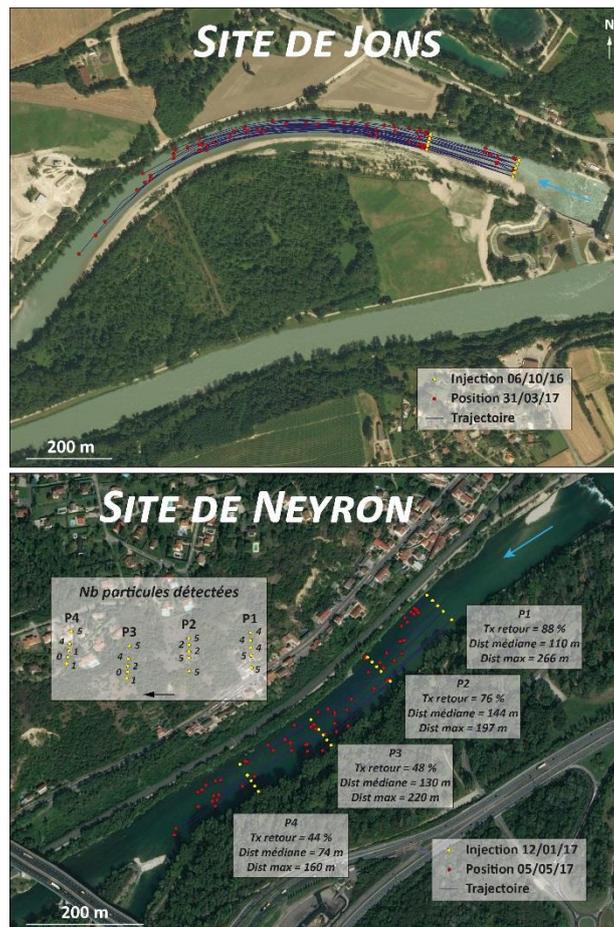
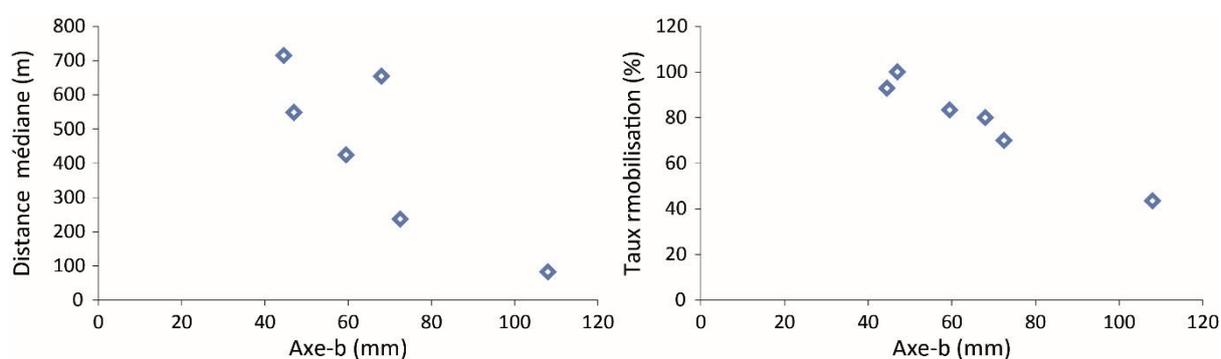


Figure 9 - Trajectoires parcourues par les traceurs sur les sites de Jons et de Neyron.

**Tableau 2** - Distances, taux de détection et taux de retour des traceurs injectés à l’aval du barrage de Jons.

Axe-b (mm)	Distance moyenne (m)	Distance médiane (m)	Distance maximale (m)	Nb mobilisés	Nb détectés	Nb non détectés	Taux Mobilisation (%)	Taux retour (%)
44,5	625	715	1066	13	14	10	92,9	58,3
47	518	548	905	7	7	6	100	53,8
59,5	445	424	613	5	6	7	83,3	46,2
68	622	654	929	8	10	3	80	76,9
72,5	316	237	499	7	10	1	70	90,9
108	121	82	300	10	23	3	43,5	88,5



**Figure 10** - Distances médianes de transport et taux de mobilisation en fonction de l’axe-b des traceurs.

### Site de Neyron

Le taux de retour total est de 64 %. Il diminue assez nettement de l’amont vers l’aval, passant de 88 à 44 % (Figure 9). Ces différences sont probablement dues à des hauteurs d’eau supérieures à la portée de détection de l’antenne sur une partie de la section prospectée (mouille située en rive gauche entre le profil 3 et l’amont immédiat de la brèche de Neyron). Ceci expliquerait le fait que les deux ou trois amas de traceurs situés en rive gauche sur les profils 3 et 4 sont ceux présentant les taux de retour les plus faibles (Figure 9). Cinquante-huit des 64 traceurs retrouvés ont été mobilisés. Sur les six non mobilisés, cinq appartiennent à l’amas situé en rive droite du profil 2 (Figure 9). Cette absence de mobilisation résulte très vraisemblablement d’un piègeage de ces traceurs entre des blocs d’enrochement pavant le fond du lit (non détectés lors de l’injection). En excluant ces traceurs de l’analyse, le taux de mobilisation s’élève à 98,3 %. Les distances moyenne et médiane parcourues par les traceurs sont de 116 m et 114 m. La distance maximale est de 266 m (amas rive gauche du profil 1).

### Comparaison entre les deux sites

Les distances parcourues sur le site de Neyron (distance médiane = 715 m, distance max = 1066 m) sont nettement inférieures à celles parcourues par les traceurs de taille équivalente injectés sur le site de Jons (distance médiane = 114 m, distance max = 266 m). Ces différences sont principalement dues à des durées d’évènements compétents et à des contraintes de cisaillement plus élevés sur le site amont (Figure 5 et Tableau 3). Elles pourraient en outre aussi résulter d’une plus faible densité des particules artificielles sur ce site amont (Tableau 3).

**Tableau 3** - Contraintes efficaces de cisaillement, durées de transport partiel et de transport total et densité des particules artificielles équipées de traceurs sur les deux sites de suivi des déplacements de la charge de fond.

	Contrainte efficace 1080 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> (N m <sup>-2</sup> )	Contrainte efficace 1552 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> (N m <sup>-2</sup> )	Durée Q > Q transport partiel (heures)	Durée Q > Q transport total (heures)	Densité
<b>Jons</b>	15-16	20-21	81	38	2,39
<b>Neyron</b>	08-10	16-18	57	31	2,65

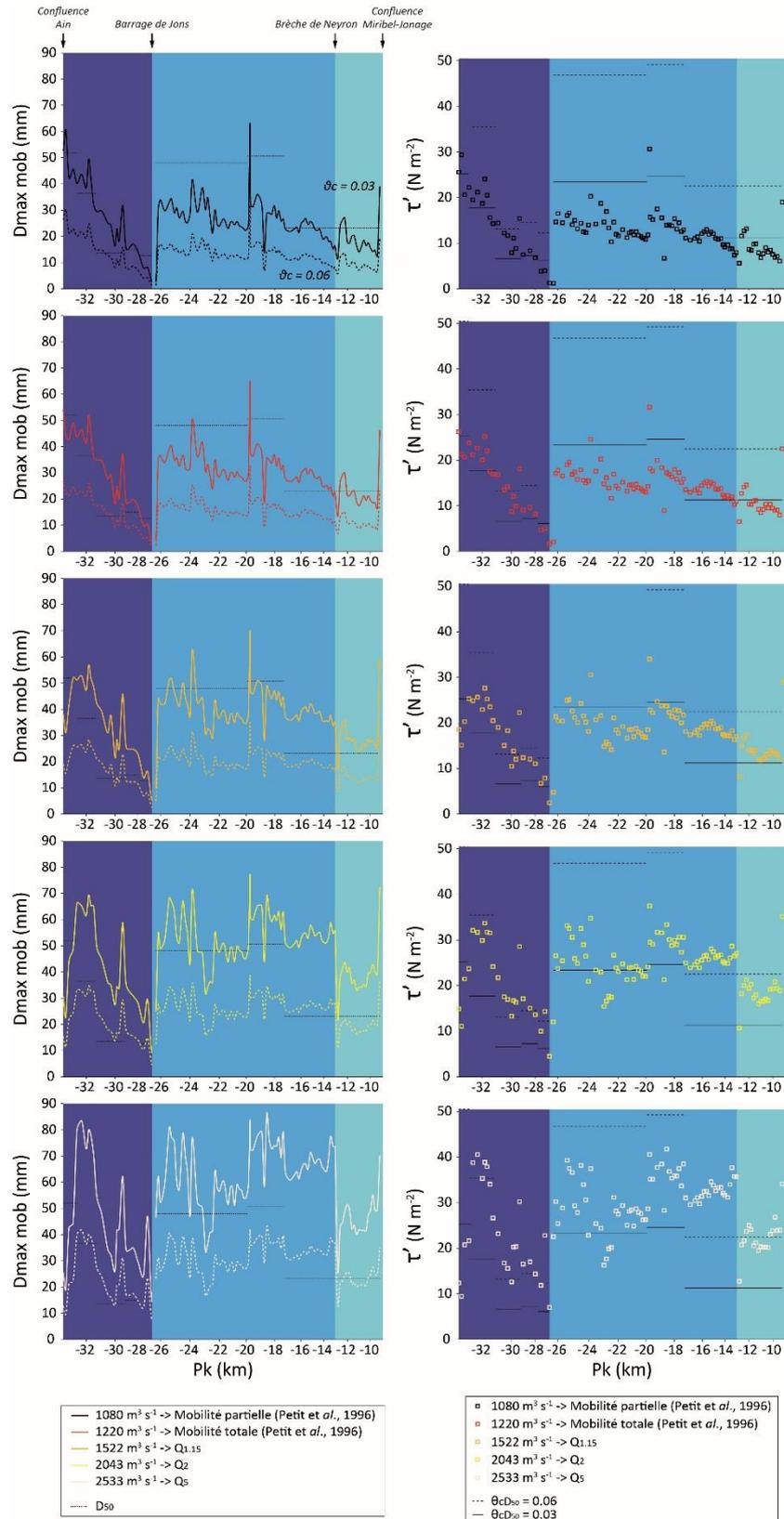
#### 4.2 Modélisation hydraulique et mobilité de la charge de fond

Pour le débit seuil de mise en mouvement partiel de la charge de fond, la taille maximale des particules pouvant être exportées de la retenue vers le canal de Miribel est comprise entre 1 mm et 3 mm (Figure 11). Pour une crue quinquennale, elle est comprise entre 7 mm et 15 mm. On observe dans la retenue une très nette décroissance aval de la compétence, reflétant l'effet hydraulique du barrage de Jons (Figure 11). Dans le canal, la compétence décroît également en direction de l'aval jusqu'à la Q<sub>1,15</sub>. Pour des débits supérieurs à la crue biennale, la tendance s'inverse jusqu'à la brèche de Neyron.

Pour un nombre critique de Shields de 0,06, le D<sub>50</sub> serait non mobilisable sur la quasi-intégralité du secteur d'étude pour des crues inférieures à la crue biennale, exception faite d'un court tronçon situé en milieu de retenue (pk -30,75/-29,25) (Figure 11). Pour une telle période de retour, la section aval du canal jusqu'à la brèche de Neyron devient également mobilisable (pk -17/-13). Pour une Q<sub>5</sub>, la mobilité est alors observée à l'aval de la brèche de Neyron ainsi que de part et d'autre de la section médiane de la retenue.

La charge de fond étant ici en théorie très fréquemment mise en mouvement, le degré d'imbrication et de compaction des particules composant la couche de surface devrait être très faible. De ce fait, le nombre critique de Shields est probablement plus proche de 0,03 que de 0,06. Pour une telle valeur, la quasi-intégralité de la retenue ainsi que deux courts tronçons du canal (pk -16/-15 et pk 12.6/-12.2) sont mobilisables pour un débit de 1080 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Pour une Q<sub>1,15</sub>, la totalité du canal à l'aval du pk -17 est mobilisable. Pour une Q<sub>2</sub>, seul le quart du tronçon situé entre le barrage de Jons et le pk -17 ne pourrait être mis mouvement. Enfin, pour une Q<sub>5</sub>, la quasi-totalité du secteur est mobile.

La compétence estimée à partir des simulations hydrauliques semble être sous-estimée par rapport aux résultats tirés du suivi des traceurs, servant ici de données de validation. Sur le site de Jons, ce suivi indique sans équivoque qu'une particule dont l'axe-b est égal à 108 mm est mobilisable pour des débits inférieurs à 1476 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (distance de transport comprises entre 46 m et 300 m). Sur le site de Neyron, la totalité des traceurs détectés a été mobilisée (axe-b = 44,5 mm). Pour un débit similaire (1552 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>), la compétence calculée à partir des sorties du modèle est nettement inférieure. Sur le site de Jons, elle s'élève à 42-44 mm. Sur le site de Neyron, elle est de 34-38 mm.

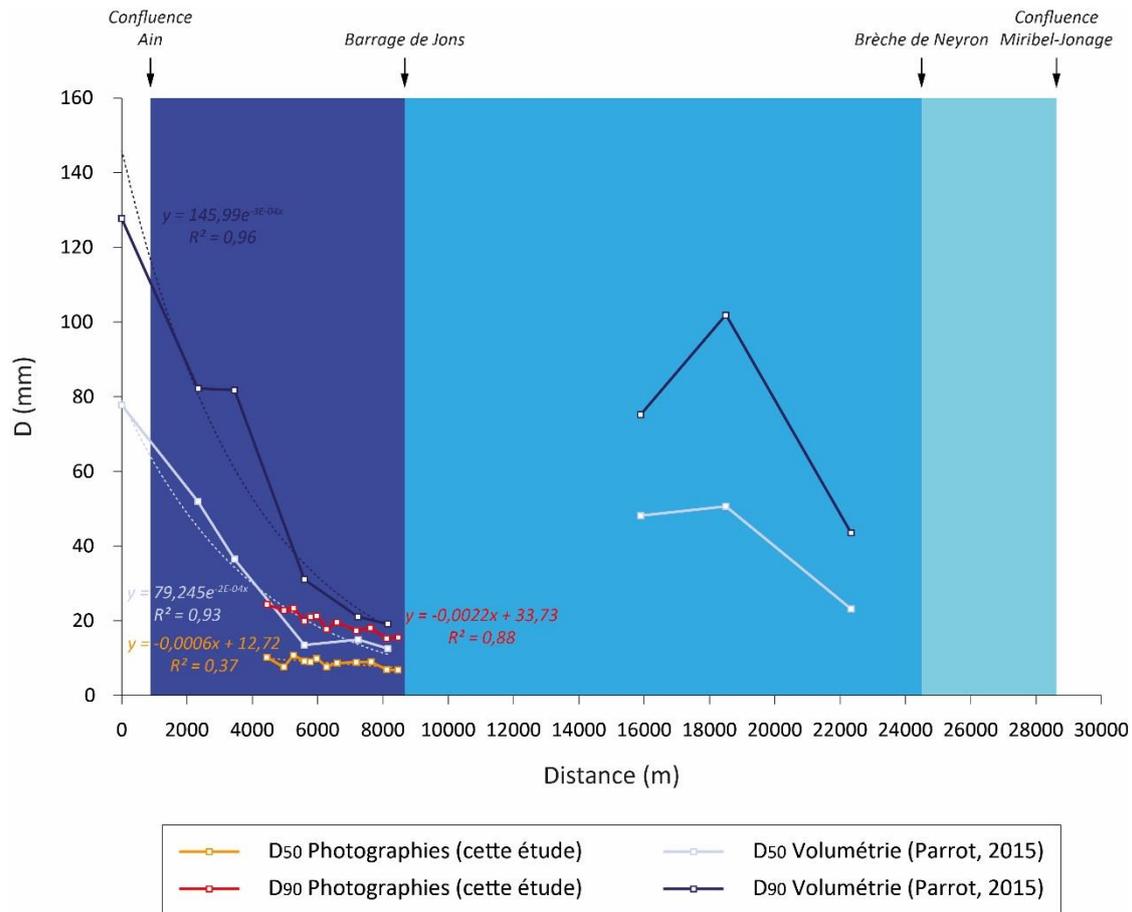


**Figure 11** - Taille maximale des sédiments mobilisables (figures de gauche) et contraintes de cisaillement efficaces moyennes entre la confluence Ain-Rhône et l'extrémité aval du canal de Miribel pour les différents débits modélisés. La contrainte critique a été calculée à partir du  $D_{50}$  des échantillons prélevés par Elsa Parrot (données thèse) et pour deux valeurs du nombre critique de Shields (0,03 et 0,06).

De tels écarts pourraient provenir de notre incapacité à caractériser de façon suffisamment précise la granulométrie du lit et sa variabilité spatiale. Cette dernière est en effet ici très approximativement décrite puisque pour l'intégralité du linéaire des 26,4 km du secteur d'étude, seules neuf valeurs ponctuelles obtenues par échantillonnages volumétriques ont été utilisées. Une caractérisation fiable de la granulométrie à résolution spatiale fine sur des sections de rivières présentant une superficie importante demeure impossible avec les moyens ici déployés. Un tel objectif ne pourrait être atteint qu'au travers de nouveaux développements méthodologiques. La voie la plus prometteuse en la matière se rapporte à l'acquisition et l'exploitation de données acoustiques (Amiri-Simkooei et al., 2009 ; Buscombe et al., 2014a, 2014b). Enfin, il se pourrait également que les distances parcourues par les traceurs surestiment celles parcourues par les particules naturelles de dimension similaire. Puisque les traceurs ont été injectés par bateau, ils n'ont pu être insérés à la structure préexistante de la couche de surface. En comparaison des particules naturelles, ils se trouvent donc surexposés aux écoulements et ils disposent d'une probabilité de mise en mouvement plus élevée. Cette incertitude pourra être levée lors des prochains suivis, les particules étant maintenant pleinement intégrées à la couche active. Le modèle 1D estime de plus une contrainte moyenne sur la section; les contraintes peuvent être localement plus élevées du fait de la concentration de l'écoulement sur une veine principale.

#### 4.3 Granulométrie du lit

Dans la retenue, la granulométrie obtenue par E. Parrot (2015) à partir des six échantillons volumétriques indique un très net tri granulométrique, reflet de l'influence du barrage (Figure 12). Sur la moitié aval de la retenue, la granulométrie déterminée à partir des photographies dessine une tendance similaire avec un gradient décroissant aval (Figure 12). En comparaison des échantillons volumétriques, les photographies fournissent néanmoins une taille de grain sensiblement plus faible. Pour ces dernières, le  $D_{50}$  est compris entre 7 et 11 mm, le  $D_{90}$  entre 15 et 24 mm. Sur le même tronçon, les trois échantillons volumétriques disponibles fournissent un  $D_{50}$  de 13-14 mm et un  $D_{90}$  de 19-31 mm. Deux facteurs pourraient expliquer ces écarts. Tout d'abord, une possible aggradation du lit survenue entre la date des prélèvements volumétriques (2012) et celle des prises de vue subaquatiques (2017) aurait pu conduire à un affinement du lit. En l'absence de données bathymétriques récentes disponibles, cette hypothèse ne peut cependant pas être vérifiée. La seconde explication, non exclusive de la première, se rapporte à un éventuel différentiel de magnitude des crues survenues peu de temps avant chaque campagne d'acquisition des données. L'intensité des crues antérieures à la réalisation des prises de vue aurait pu être moindre que celle des crues ayant précédé les échantillonnages volumétriques, induisant de fait des dépôts moins grossiers.



**Figure 12** -  $D_{50}$  et  $D_{90}$  sur le Rhône de la confluence avec l'Ain jusqu'au barrage de Jons et sur le canal de Miribel.

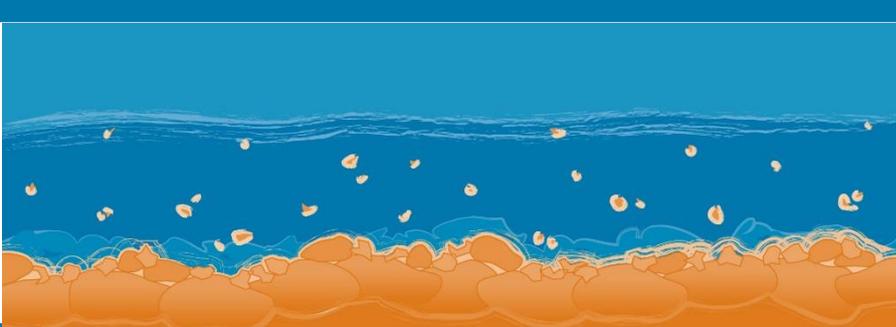
## 5. Conclusion

Une méthodologie efficace de suivi des déplacements de la charge de fond sur des tronçons de rivière larges et profonds a été développée à partir de RFID actifs (taux de retour élevés et investissement temps-personnel relativement limité). Les premières données relatives à la détermination des distances de transport de la charge de fond sur le secteur de Miribel ont pu être acquises (450 m parcourus en moyenne pour un débit maximal atteint de l'ordre de la crue annuelle). Ces suivis sont maintenant à pérenniser afin notamment de caractériser ces déplacements sur le temps « long » et d'établir des relations avec les caractéristiques hydrologiques et hydrauliques des événements mobilisateurs. Certaines contradictions entre résultats tirés du modèle hydraulique et résultats tirés du suivi par traceurs ont néanmoins été mises en évidence. Ce constat vient rappeler la nécessité de disposer de données de validation des modèles et de granulométries sans doute plus précises. Des mesures de terrain complémentaires (mesure des vitesses des écoulements à l'ADCP) devraient être réalisées afin de comprendre les raisons d'une telle discordance.

## Liste des références

- Amiri-Simkooei A., Snellen M., Simons D.G., 2009. Riverbed sediment classification using multi-beam echo-sounder backscatter data. *J. Acoust. Soc. Am.* 126 (4), 1724-1738.
- Arnaud F., Piégay H., Vaudor L., Bultingaire L., Fantino G., 2015. Technical specifications of low-frequency radio identification bedload tracking from field experiments: Differences in antennas, tags and operators. *Geomorphology* 238 (37-46).
- Artelia, 2012. Définition d'un programme de restauration hydraulique, hydromorphologique et écologique du Rhône de Miribel Jonage. Rapport d'étude, 189 p.
- Buscombe D., Grams P. E., Kaplinski M. A., 2014. Characterizing riverbed sediment using high-frequency acoustics: 1. Spectral properties of scattering. *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, 119.
- Buscombe D., Grams P. E., Kaplinski M. A., 2014. Characterizing riverbed sediment using high-frequency acoustics: 2. Scattering signatures of Colorado River bed sediment in Marble and Grand Canyons. *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, 119.
- Cassel M., Dépret T., Piégay H., 2017. Assessment of a new solution for tracking pebbles in rivers based on active RFID. *Earth Surf. Process. Landf.* 42 (13), 1938-1951.
- Malavoi J.R., Hydratec, 2000. Etude géomorphologique du canal de Miribel. Rapport d'étude, 51 p.
- Malavoi J.R, 2005. Suivi géomorphologique du canal de Miribel, interprétation des résultats de la campagne bathymétrique 2004. Rapport d'étude, 28 p.
- Malavoi J.R, 2008. Etude géomorphologique du Rhône en amont de Lyon du pk 34.2 au pk 5.7. Rapport d'étude, 46 p.
- Meyer-Peter E., Müller R., 1948. Formulas for Bed-Load Transport. Paper presented at Proceedings 2d Meeting IAHR, Stockholm.
- Parrot, E., 2015. Analyse spatio-temporelle de la morphologie du chenal du Rhône du Léman à la Méditerranée. Thèse de doctorat de Géographie, Université Lyon 3, 468 p.
- Petit F., Poinart D., Bravard J.P., 1996. Channel incision, gravel mining and bedload transport in the Rhône River upstream of Lyon, France (« canal de Miribel »). *Catena* (26), 209-226.
- Poinart D., 1992. Effets des aménagements fluviaux sur les débits liquides et solides. L'exemple du Rhône dans les plaines de Miribel-Jonage et de Donzère-Mondragon. Thèse de doctorat de Géographie et Aménagement, Université Lyon 3, 501 pp.
- Poinart D., Bravard J.P., Caclin M.C., 1989. Etude granulométrique de la charge de fond d'un canal de Miribel (Haut-Rhône). *Revue de Géographie de Lyon* 64 (4), 240-251.





# Observatoire des Sédiments du Rhône



## Observatoire des Sédiments du Rhône

GRAIE – OHM Vallée du Rhône

66 bd Niels Bohr – CS 52132

69603 Villeurbanne Cedex

[www.graie.org/osr/](http://www.graie.org/osr/)

Contact : [dad.roux@graie.org](mailto:dad.roux@graie.org)