



HAL
open science

Évaluation de l'état des habitats benthiques du Rhône. Campagnes de terrain sur 10 stations réparties sur le Rhône. OSR6 | Axe C - Action C1 | Rapport scientifique intermédiaire

Robinson Nedelec, Alexandre Peeters, Delphine Sirven, Nicolas Tissot, Hervé Parmentier, Stéphanie Vukelic, Oldrich Navratil, Hervé Piégay, B. Camenen, Adrien Bonnefoy, et al.

► To cite this version:

Robinson Nedelec, Alexandre Peeters, Delphine Sirven, Nicolas Tissot, Hervé Parmentier, et al.. Évaluation de l'état des habitats benthiques du Rhône. Campagnes de terrain sur 10 stations réparties sur le Rhône. OSR6 | Axe C - Action C1 | Rapport scientifique intermédiaire: Axe C – Développer des méthodes pour restaurer la qualité physique et chimique et évaluer les effets des actions C1 – Évaluation de l'état des habitats benthiques du Rhône dans les secteurs restaurés et non restaurés. [Rapport de recherche] CNRS; INRAE. 2023. hal-03750527v2

HAL Id: hal-03750527

<https://hal.science/hal-03750527v2>

Submitted on 4 Oct 2023

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

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



Observatoire
des Sédiments
du Rhône

The background image shows a riverbed with many smooth, light-colored stones. A metal sediment sampler is positioned vertically in the water, with its circular opening just above the stones. The water is clear, and the stones are visible through it. The sampler has a long, thin metal tube extending upwards.

Évaluation de l'état des habitats benthiques du Rhône. Campagnes de terrain sur 10 stations réparties sur le Rhône

Évaluation de l'état des habitats benthiques du Rhône. Campagnes de terrain sur 10 stations réparties sur le Rhône

Rapport scientifique intermédiaire

Version du 26 mai 2023

Observatoire des Sédiments du Rhône – 6^{ème} programme d'action

Axe C – Développer des méthodes pour restaurer la qualité physique et chimique et évaluer les effets des actions

C1 – Évaluation de l'état des habitats benthiques du Rhône dans les secteurs restaurés et non restaurés

Personnes impliquées

Robinson Nedelec (CNRS, UMR5600, EVS), Alexandre Peeters (CNRS, UMR5600, EVS) ; Delphine Sirven (CNRS, UMR5600, EVS) ; Nicolas Tissot (CNRS, UMR5600, EVS) ; Hervé Parmentier (CNRS, UMR5600, EVS) ; Stéphanie Vukelić (CNRS, UMR5600, EVS), Oldrich Navratil (CNRS, UMR5600, EVS), Hervé Piégay (CNRS, UMR5600, EVS)

Benoit Camenen (INRAE, UR RiverLy, HyR), Adrien Bonnefoy (INRAE, UR RiverLy, HyR), Floriane Masquelier (INRAE, UR RiverLy, HyR)

Pour citer ce rapport

Nedelec R., Peeters A., Sirven D., Tissot N., Parmentier H. et al., (2023). *Évaluation de l'état des habitats benthiques du Rhône. Campagnes de terrain sur les 10 stations réparties sur le Rhône*. Rapport scientifique intermédiaire. Observatoire des Sédiments du Rhône – 6^{ème} programme d'action. 53p.

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



Résumé

L'état du fond du lit des cours d'eau représente une composante importante de la qualité hydromorphologique car il sert de substrat et de support à de nombreuses espèces aquatiques (animales et végétales). Il joue dès lors un rôle majeur pour la préservation de la biodiversité du cours d'eau. L'objectif de cette action est de déterminer quel est l'état interstitiel du fond caillouteux du lit des Vieux Rhône, dans les secteurs restaurés et non restaurés, concourant à mieux évaluer la qualité des habitats benthiques et hyporhéiques, ainsi que l'effet des actions de restauration sur l'état de ce fond.

Pour répondre à cet objectif, un suivi temporel à haute fréquence sur dix stations a débuté en septembre 2021. Le choix des stations s'est opéré avec le souci d'obtenir une diversité de contextes géographiques et une diversité en termes de fonctionnement hydro-sédimentaire (e.g. secteurs rechargés en sédiments, secteurs de référence avec transport solide effectif et secteurs pavés), tout en se focalisant sur la même forme fluviale : les radiers. La technique utilisée consiste à prélever un échantillon du fond du lit à l'aide d'un « échantillonneur McNeil ». Ainsi, l'évaluation du colmatage se base sur la détermination de la composition granulométrique de la zone hyporhéique et plus particulièrement sur la part de sédiments fins (< 2 mm) de l'échantillon.

Au terme de sept campagnes de mesures, des tendances se dessinent entre les sites de références, les sites rechargés et les sites pavés, et confirment l'hypothèse selon laquelle la variabilité intra-site (ou intra-groupe) est plus faible que la variabilité inter sites. Les sites de références ont le taux de fines le plus faible (de 0,9 à 7,2 %) et une granulométrie plus petite. De manière générale, la part de fines est plus importante pour les sites rechargés (de 2,8 à 16,5 %) et encore plus élevée pour les sites pavés (de 0,4 à 27.2 %). Le compartiment interstitiel des sites pavés, notamment Belley et Pierre-Bénite, semble comblé de fines et figé dans le temps.

Mots-clés

Observatoire ; Rhône ; Sédiments ; OSR ; Colmatage ; Habitat benthique

Table des matières

1. Introduction.....	6
2. Aspects méthodologiques	8
2.1 Relevés de terrain.....	8
2.1.1 Prélèvement avec l'échantillonneur Mc Neil	8
2.1.2 Mesures complémentaires	9
2.2 Traitements des échantillons	9
2.2.1 Tamisage sur le terrain.....	9
2.2.2 Tamisage en laboratoire.....	10
2.2.3 Filtration en laboratoire	10
2.2.4 Contrôle par granulométrie laser	11
2.3 Analyses des résultats	11
2.3.1 Troncature des échantillons	11
2.3.2 Classes granulométriques et représentations graphiques	12
3. Sélection des stations d'étude	13
4. Résultats.....	15
4.1 Le Vieux Rhône de Chautagne.....	15
4.1.1 Localisation de la station et des prélèvements.....	15
4.1.2 Résultats.....	16
4.2 Le Vieux Rhône de Belley	17
4.2.1 Localisation des stations et des prélèvements	17
4.2.2 Résultats.....	19
4.3 Le Vieux Rhône de Neyron	20
4.3.1 Localisation des stations et des prélèvements	20
4.3.2 Résultats.....	22
4.4 Le Vieux Rhône de Pierre-Bénite.....	24
4.4.1 Localisation des stations et des prélèvements	24
4.4.2 Résultats.....	25
4.5 Le Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon	26
4.5.1 Localisation des stations et des prélèvements	26
4.5.2 Résultats.....	28
4.6 La Drôme à Livron-sur-Drôme	30
4.6.1 Localisation des stations et des prélèvements	30
4.6.2 Résultats.....	31
4.7 Le Vieux Rhône de Baix-le-Logis-Neuf	32
4.7.1 Localisation des stations et des prélèvements	32
4.7.2 Résultats.....	34
4.8 Le Vieux Rhône de Donzère-Mondragon	35
4.8.1 Localisation des stations et des prélèvements	35

4.8.2	Résultats	37
5.	Éléments de synthèse et perspectives	40
5.1	Echantillonnage et représentativité	40
5.2	Vers une typologie de stations	41
5.3	Prévisionnel pour l'OSR6	44
5.4	Perspectives et implications	44
6.	Bibliographie	45
7.	Annexes.....	47

1. Introduction

Le présent rapport fait état des travaux menés entre avril 2021 et mars 2023 dans le cadre de l'action C1 du programme OSR6. L'objectif de cette action est de déterminer quel est l'état du compartiment interstitiel du fond du lit des Vieux Rhône (ou Rhône court-circuités, ci-après RCC) concourant à mieux évaluer la qualité des habitats benthiques et hyporhéiques, ainsi que l'effet des actions de restauration sur l'état de ce fond. L'état du fond du lit représente une composante importante de la qualité hydromorphologique du cours d'eau car il sert de substrat et de support à de nombreuses espèces aquatiques (animales et végétales). Il joue dès lors un rôle majeur pour la préservation de la biodiversité du cours d'eau.

Dans les substrats caillouteux, l'état du fond du lit est généralement apprécié au travers de son degré de colmatage. Le colmatage des cours d'eau peut être défini comme l'infiltration dans la zone hyporhéique de sédiments fins depuis la zone benthique (Descloux et al. 2010). Bien que le colmatage soit un phénomène naturel, il peut devenir excessif sous les effets de l'anthropisation et conduire à perturber le fonctionnement des processus qui se déroulent dans la zone hyporhéique. L'accumulation de sédiments fins dans la zone hyporhéique a pour effets de réduire la porosité du substrat caillouteux, ce qui diminue les échanges d'eau interstitiels entre la masse d'eau superficielle et la zone hyporhéique. Ceci a des conséquences directes sur l'apport d'oxygène nécessaire à la survie des communautés d'invertébrés et des embryons de poissons lithophiles (Lisle, 1989 ; Wood et Armitage, 1997 ; Acornley et Sear, 1999 ; Greig et al., 2005 ; 2007). Le colmatage interstitiel apparaît donc comme une question sensible en matière d'évaluation des habitats benthiques. Dans les cours d'eau caractérisés par un déficit sédimentaire de la charge de fond et un pavage du lit mineur (et de la bande active), le colmatage interstitiel peut être marqué. Ce phénomène est complexe car il est dynamique et il peut varier grandement en fonction des observations, selon l'occurrence des crues et des chasses par exemple. Dès lors, évaluer le colmatage interstitiel nécessite un suivi temporel à assez haute fréquence en lien avec les épisodes hydrologiques critiques et l'état supposé du fond du lit. Par ailleurs le colmatage dépend aussi de la nature granulométrique du sédiment colmatant, qui sédimente dans les interstices de la matrice grossière, voire également de la granulométrie de cette matrice.

Les techniques utilisées pour décrire le colmatage des cours d'eau sont généralement des méthodes directes ou indirectes de mesure ou d'estimation du pourcentage de sédiments fins (Descloux et al., 2010). Certaines de ces techniques se basent sur l'évaluation de la composition granulométrique de la zone hyporhéique pour caractériser le colmatage. C'est notamment le cas de la technique par prélèvement à l'aide d'un « échantillonneur Mc Neil » (Mc Neil et Ahnell, 1964). L'échantillonneur Mc Neil est un cylindre qui est enfoncé dans le lit du cours d'eau et qui, de ce fait, permet de prélever un échantillon de la surface et de la subsurface. Cette technique a été validée en laboratoire lors d'essais avec des mélanges de sédiments connus (Young et al., 1991) et elle a été largement utilisée en conditions naturelles (e.g. Lambert et Walling, 1988 ; Rex et Petticrew, 2011).

Pour répondre aux objectifs de ce travail, il est prévu de réaliser cinq campagnes d'évaluation du colmatage par an sur 10 stations. Ce suivi temporel à haute fréquence permettra de bien évaluer la réponse du compartiment interstitiel, non seulement aux modifications du fond du lit suite aux événements de crue, mais également au mode de gestion des ouvrages hydrauliques et à l'histoire des ajustements du chenal. En outre, le nombre relativement élevé de stations étudiées permettra de comparer différents secteurs de Vieux Rhône dans des contextes *a priori* contrastés. Ainsi, le choix des stations s'est opéré dans un souci d'obtenir une diversité de contextes géographiques (depuis le Haut-Rhône jusqu'au Bas-Rhône) et une diversité en termes de fonctionnement hydro-sédimentaire. C'est pourquoi, la sélection des stations comprend des secteurs sur lesquels des actions de recharge sédimentaire ont récemment eu lieu. La quantification du colmatage permettra d'évaluer l'effet de ces actions de restauration sur les habitats aquatiques. Les autres stations sélectionnées sont situées sur des secteurs à fort transport solide (station de référence en termes de bon fonctionnement) et sur des secteurs très affectés par le déficit sédimentaire (station de référence en termes d'état dégradé). La sélection des stations étudiées a évolué au cours des trois premières campagnes de mesures en fonction des facilités d'accès aux sites et de leur intérêt.

2. Aspects méthodologiques

Comme évoqué ci-dessus, l'évaluation du degré de colmatage dans cette étude se base sur la détermination de la composition granulométrique du fond caillouteux du chenal (comprenant les sédiments de la surface et de la subsurface). Pour ce faire, les échantillons prélevés à l'aide de l'échantillonneur Mc Neil doivent faire l'objet de différents traitements qui sont décrits ci-dessous.

2.1 Relevés de terrain

2.1.1 Prélèvement avec l'échantillonneur Mc Neil

Dans la mesure du possible, nos prélèvements ont été réalisés sur la même forme fluviale, le seuil (ou le radier), à proximité immédiate de têtes de bancs d'accumulation. Ceci devrait permettre de s'affranchir des effets liés aux variations locales (à l'échelle de la forme) et de comparer les sites entre eux sur le continuum amont aval (Rice et Church, 1998). Aussi, le choix de ce faciès devrait permettre d'éviter les sites à faible énergie dont la granulométrie rend compte d'un contexte hydraulique local difficile à comparer avec d'autres sites (Surian, 2002). C'est en effet au niveau des seuils que se trouvent les particules les plus grossières en lien avec les mécanismes de contrôle hydraulique (i.e. sites à haute énergie).

L'échantillonneur utilisé consiste en un cylindre métallique de 15,4 cm de diamètre (Figure 1). Ce cylindre est enfoncé verticalement sur 20 cm à travers le lit caillouteux du chenal, ce qui permet par la suite de prélever les sédiments de surface et de subsurface (mélange des deux) à la main. Avant le prélèvement (T1), les mesures de la hauteur d'eau (moyenne de 5 valeurs) et de la hauteur d'air sont réalisées dans le cylindre. Ces mêmes mesures sont reprises après le prélèvement (T2), ce qui permet de calculer l'épaisseur de la couche de sédiment échantillonnée et le volume d'eau dans l'échantillonneur (V , équation 1) en m^3 . Ces mesures fournissent aussi une première appréciation du degré de colmatage des sédiments selon que le niveau d'eau dans le cylindre se soit remis à l'équilibre avec le niveau extérieur après le prélèvement (T2). Lorsque ce niveau est situé plus bas que celui de l'extérieur à T2, cela traduit un affaiblissement, voire une absence, de courants interstitiels et donc un milieu colmaté.

$$V = r^2 \cdot \pi \cdot h_{eau\ T2} \quad (\text{équation 1})$$

avec r (m) le rayon du cylindre, $h_{eau\ T2}$ (m) le niveau d'eau.

Pour compléter l'échantillonnage avec les fractions les plus fines, un prélèvement de 0.5 l d'eau est réalisé après la remise en suspension des sédiments fins à T2. Pour ce faire, l'eau contenue dans le cylindre est d'abord agitée à la main (mouvement continu en suivant la forme d'un huit). Le prélèvement de 0.5 l d'eau est ensuite réalisé après 10 secondes de repos. La concentration en matières en suspension (MES) est ensuite déterminée en laboratoire (*cf. infra*). Sur la base de cette concentration et du volume d'eau mesuré dans le cylindre à T2, la masse de MES sera déduite et incorporée à la masse de la fraction granulométrique la plus fine de l'analyse granulométrique.

Pour chaque station, trois prélèvements sont réalisés en différents endroits du radier étudié. Les trois échantillons sont par la suite analysés séparément (*cf. infra*) mais les résultats issus de leurs analyses granulométriques sont regroupés afin d'obtenir un échantillon représentatif

de la composition du lit. En effet, pour que l'échantillon soit représentatif, il est nécessaire que le rapport entre la masse du plus gros élément et la masse totale de l'échantillon soit égal ou inférieur à la valeur limite de 5 % définie par Church et al. (1987).



Figure 1. Echantillonneur de type « Mc Neil » ($D = 15.4$ cm, $H = 70$ cm). Une tige métallique la traversant perpendiculairement permet son enfoncement dans le substrat par mouvements de rotation.

2.1.2 Mesures complémentaires

Afin de caractériser les conditions hydrologiques au droit de chaque prélèvement, la hauteur d'eau et la vitesse du courant sont mesurées. Cette dernière est réalisée avec un courantomètre portable (SonTek FlowTracker2[®]) à 10 cm au-dessus du fond du lit, comme recommandé par Petit (1988).

2.2 Traitements des échantillons

Les analyses qui suivent vont servir à déterminer la distribution granulométrique qui constituent les formes échantillonnées. Parmi les trois dimensions qui caractérisent la taille des éléments, c'est l'axe b (largeur) qui est généralement considéré comme représentatif de la compétence du cours d'eau (Bunte, 2004). Pour déterminer le rapport de masse des fractions granulométriques (axe b) qui constituent l'échantillon, la méthode utilisée nécessite de passer l'échantillon au travers de tamis successifs de différentes mailles et de peser la matière retenue dans chaque tamis (Bunte et Abt, 2001). Les plus gros éléments (>32mm) sont directement triés à l'aide d'un gabarit.

2.2.1 Tamisage sur le terrain

Dans l'objectif de ne pas déplacer en véhicules des échantillons nombreux, lourds et encombrants, un premier tamisage a lieu sur le terrain à l'aide d'un gabarit à mailles carrées (64, 45 et mm) et de grands tamis (22, 16 et 8 mm). Les fractions granulométriques triées sont

ensuite pesées à l'aide d'une balance suspendue (Kern HDB 5K5, d=5 g). La fraction granulométrique inférieure à 8 mm est récupérée pour être analysée en laboratoire.

2.2.2 Tamisage en laboratoire

Avant leur tamisage, les échantillons (< 8 mm) sont séchés à l'étuve (4 à 8 h à 105 °C). Ils sont ensuite passés dans une colonne de tamis (8 ; 4 ; 1 ; 0,500 ; 0,250 ; 0,125 ; 0,050 mm) agitée par une secoueuse électrique (Figure 2) lors d'un cycle de 3 minutes. Un tamisage manuel, de contrôle, est effectué à la sortie du cycle. Chaque fraction granulométrique récupérée est alors pesée avec une résolution de 0.01 g.



Figure 2. Analyse granulométrique en laboratoire nécessitant un tamisage à l'aide d'une colonne de tamis sur une secoueuse mécanique.

2.2.3 Filtration en laboratoire

Les échantillons d'eau prélevés dans le cylindre McNeil sont analysés en laboratoire afin de mesurer leur concentration en MES. Pour ce faire, le contenu de chacune des bouteilles est filtré au travers d'un filtre en microfibre de verre (maille 1,2 µm) qui a été préalablement pesé

(0,1 mg de résolution). Afin d'accélérer la filtration, celle-ci se fait sous vide à l'aide d'une pompe à air (Figure 3).

Le volume d'eau recueilli est mesuré avec une résolution de 1 ml. Le filtre chargé de sédiments est ensuite passé à l'étuve à une température de 50°C pendant 2 heures. Une fois sec puis stabilisé hygrométriquement à température ambiante, il est de nouveau pesé. La concentration (mg/l) en MES des échantillons est calculée selon l'équation 2.

$$C_{MES} = \frac{M_{MES+filtre} - M_{filtre}}{V_{eau}} \quad (\text{équation 2})$$

Avec M (g) qui exprime la masse et V_{eau} (L) le volume d'eau de l'échantillon.

Ensuite, la masse des MES contenues dans l'échantillonneur (M_{MES} ; en g) est calculée selon l'équation 3.

$$M_{MES} = (C_{\text{échantillon}} - C_{\text{témoin}}) \cdot V \quad (\text{équation 3})$$

avec $C_{\text{échantillon}}$ et $C_{\text{témoin}}$ correspondant à la concentration en MES de l'échantillon et du témoin, respectivement, et V le volume d'eau dans le cylindre en T2.

Cette masse est finalement additionnée à la fraction granulométrique la plus fine (issue du tamisage).



Figure 3. Matériel de filtration des MES (pompe à air, vase, support crépiné, verre gradué, filtre, éprouvette graduée).

2.2.4 Contrôle par granulométrie laser

2.3 Analyses des résultats

2.3.1 Troncature des échantillons

La part de fines est un indicateur plus approprié que, par exemple, le D_5 ou le D_{10} , qui peuvent, eux, ne pas représenter les fines et sont sensibles à l'influence de quelques gros éléments. Dès lors, une troncature préalable des échantillons à 64 μm est effectuée ici, afin d'éviter que la

mesure soit influencée par la présence de quelques grosses particules (Bunte et Abt, 2001). Cette précaution permet aussi, dans le cas des prélèvements au McNeil, de minimiser le biais induit par la déstructuration verticale du compartiment prélevé, en faisant l'hypothèse que les particules les plus grossières constituent majoritairement la couche de surface, relativement armurée voir pavée dans les Rhône court-circuités (Parrot, 2015). En effet, l'étude ci-présente se focalise sur le compartiment interstitiel, et non sur la couche de surface.

2.3.2 Classes granulométriques et représentations graphiques

A partir des 12 classes issues des tamisages sur le terrain et en laboratoire, 4 classes sont retenues pour analyser les résultats (Wentworth 1922, Malavoi et Souchon, 1989) :

- < 0,05 mm, équivaut aux limons et aux argiles. La limite haute des limons étant à 0,063 mm, dans le cas ci-présent, le tamis utilisé le plus proche et donc retenus est 0,05 mm.
- De 0,05 à 1 mm ; équivaut aux sables fins.
- De 1 à 2 mm ; équivaut aux sables grossiers.
- De 2 à 16 mm ; équivaut aux graviers.
- De 16 à 64 mm ; équivaut aux galets.

Les sables, limons et argiles sont parfois regroupés en une classe, nommée classe des fines, car leurs parts sont minimales (au regard des autres classes), et car la proportion des fines est généralement utilisée comme proxy pour l'évaluation du colmatage du lit (F_f , équation 4) :

$$= \frac{M_{< 2 \text{ mm}}}{M_{< 64 \text{ mm}}} \quad \text{équation 4}$$

3. Sélection des stations d'étude

La sélection des stations étudiées s'est faite avec le souci d'avoir une diversité de types de station, à savoir ; des stations sur des secteurs pavés, sur des secteurs dynamiques (identifiés comme de référence) et sur des secteurs sujet à des recharges sédimentaires récentes ou programmées. Aussi, d'un point de vue opérationnel, ce choix a été dicté par les conditions d'accessibilité et de prélèvement. En effet, pour ce dernier point, un niveau d'eau supérieur à 40 cm rend le prélèvement difficile (irréalisable pour un niveau supérieur à 55 cm). Les prélèvements sont effectués sur le même type de forme fluviale, à savoir l'amont direct des radiers sur la rupture de pente, à proximité immédiate des têtes de bancs (potentiellement actifs si transport il y a).

Sur 13 stations prospectées, 10 sont retenues et pérennisées pour cette étude (Tableau 1). Il faut noter que la campagne C1 comportait 2 sites redondants (Belley amont et Neyron aval) qui ont été retirés de cette sélection par la suite. En revanche, à la suite de la campagne C1, deux sites ont été ajoutés à cette sélection : Pierre-Bénite (car il s'agit un secteur pavé qui devrait être prochainement rechargé en sédiments) et Baix-le-Logis-Neuf (car ce secteur a été rechargé en novembre 2021).

Les stations sont réparties sur un large gradient amont-aval (PK -125,5 à PK 185,75) (Figure 4), afin de représenter différents contextes hydrologiques, sédimentaires et relatifs à l'ancienneté de la création de ces Rhône court-circuités.

	Secteur	CHA	BEL		LYM		PBN	PDR		DRO	BLN	DZM		
	ID station	CHA	BEL PAM	BEL PAV	LYM PAM	LYM PAV	PBN	PDR	PDR PAM	PDR PAV	DRO	BLN	DZM PAM	DZM PAV
	Caract.	Pavée dynamique (aval recharge)	pavée	pavée	Dynamique, site référence	Dynamique, site référence	Pavée	Pavée	Recharge. Démant. Casiers	Pavée	Dynamique, site référence	Recharge nov. 21	Pavée	Pavée
C1	sept/oct 21													
C2	Dec. 21										**			
C3	Fev/mars 22													
C4	mai-22		ABD*			ABD*								
C5	août-22									ABD***				
C6	nov-22	**												
C7	Jan/Fev 23			**										

(* : stations abandonnées car elles faisaient doublons sur un même secteur. ** : Stations non échantillonnées car débit trop important. *** : une station pavée a été abandonnée à Péage-de-Roussillon et remplacée par une autre (id : PDR) située sur un secteur plus représentatif d'un système pavé)

Tableau 1. Sélection des stations étudiées lors des 7 campagnes d'échantillonnage de 2021 à 2023.

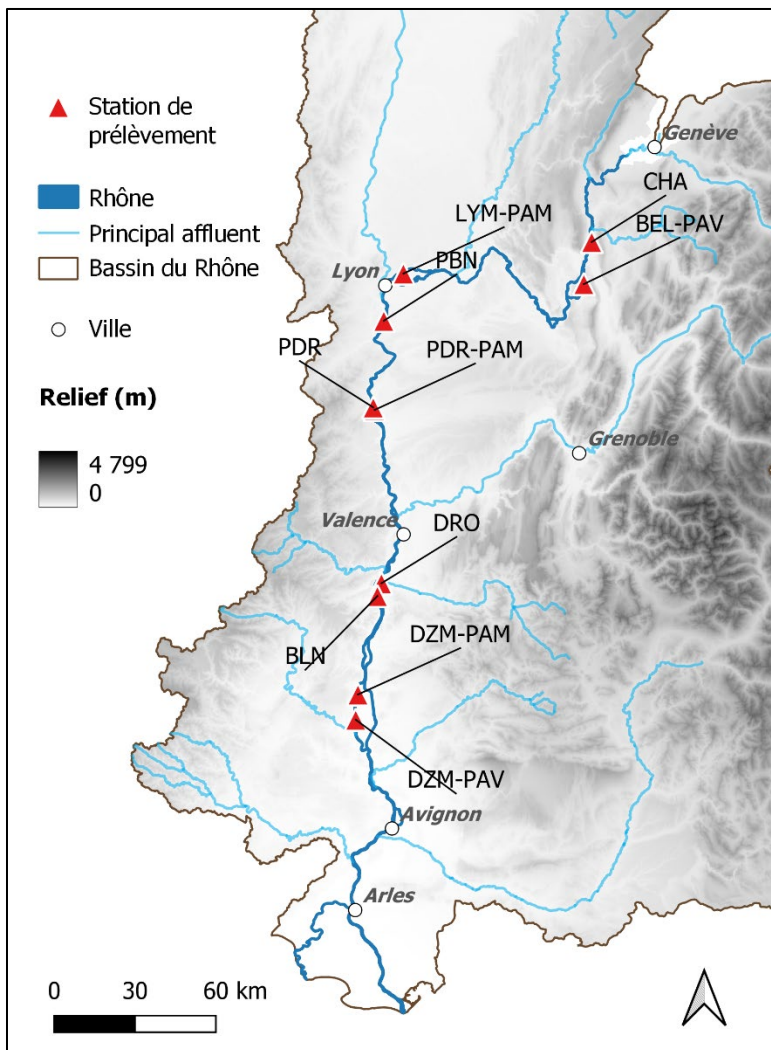


Figure 4 : Localisation des stations de prélèvements le long du Rhône

4. Résultats

Les données environnementales (dates, vitesse, hauteur d'eau) et de prélèvement (masse, critère de représentativité) sont consignées, toutes stations et toutes campagnes assemblées, en Annexe 1.

4.1 Le Vieux Rhône de Chautagne

4.1.1 Localisation de la station et des prélèvements

Le Vieux Rhône de Chautagne est caractérisé par un chenal faiblement pavé (indice de pavage compris entre 1,87 et 2,21) et par une charge de fond résiduelle et de petite taille (D50 entre 20 et 27 mm ; Parrot, 2015). En effet, l'aménagement de de Chautagne et son usine hydroélectrique datent de 1979, et le haut-Rhône (amont de Lyon) n'a pas connu d'aménagements de type Girardon. De ce fait, il demeure actuellement des ajustements géomorphologiques et un transport sédimentaire résiduel.

La station échantillonnée sur ce Vieux Rhône se trouve à 4 km en aval du barrage de Motz et à 3,3 km en aval de la zone rechargée en sédiments en décembre 2016 (Figure 5). En effet, aucun site propice au prélèvement n'a été trouvé plus proche du site de recharge. La station se situe en bordure d'un banc végétalisé et sur la partie amont d'un grand radier. Elle est de ce fait caractérisée par des vitesses relativement élevées (Figure 5 et 6). A cet endroit, le vieux Rhône est aussi divisé en deux écoulements.



Figure 5. Le Vieux Rhône de Chautagne : localisation de la station.



Figure 6. Le Vieux Rhône de Chautagne le 28/11/2023.

4.1.2 Résultats

Les échantillons prélevés lors des trois campagnes peuvent être considérés comme représentatifs de la forme étudiée, dans le sens où ils présentent un rapport entre la masse du plus gros élément et la masse totale de l'échantillon proche de la valeur limite de 5 % définie par Church et al. (1987), soit 7,4%. Les vitesses de courant s'échelonnent de 35 à 100 cm/s.

Sur les 7 campagnes, la part de sédiments fins (< 2 mm) est comprise entre 7,1 et 15,7 %. La part relative des trois classes (Figure 7) reste relativement stable au cours du temps, avec une prédominance pour les particules grossières (~60%). De C1 à C2, comme de C6 à C7, on observe de longues périodes au débit réservé, avec une diminution de la part de fines. De C2 à C6, en revanche, on observe une période hydrologique caractérisée par de nombreux pics de crues, même petits, et une augmentation sensible de la part de fines associée à une diminution de la part des particules grossières. Ce sont les sables fins (1 - 0,05 mm) qui influencent le plus la part de fines.

A noter que les mesures ont débuté après une opération d'APAVÉR¹, du 17 au 29 mai 2021, ainsi qu'après une crue morphogène en juillet 2021, à savoir deux événements susceptibles d'avoir modifié localement les conditions d'habitat du lit mineur.

¹ Abaissement Partiel du barrage de VERbois. Cette opération consiste en une vidange partielle du barrage de Verbois (haut Rhône Suisse), tous les 3 ans.

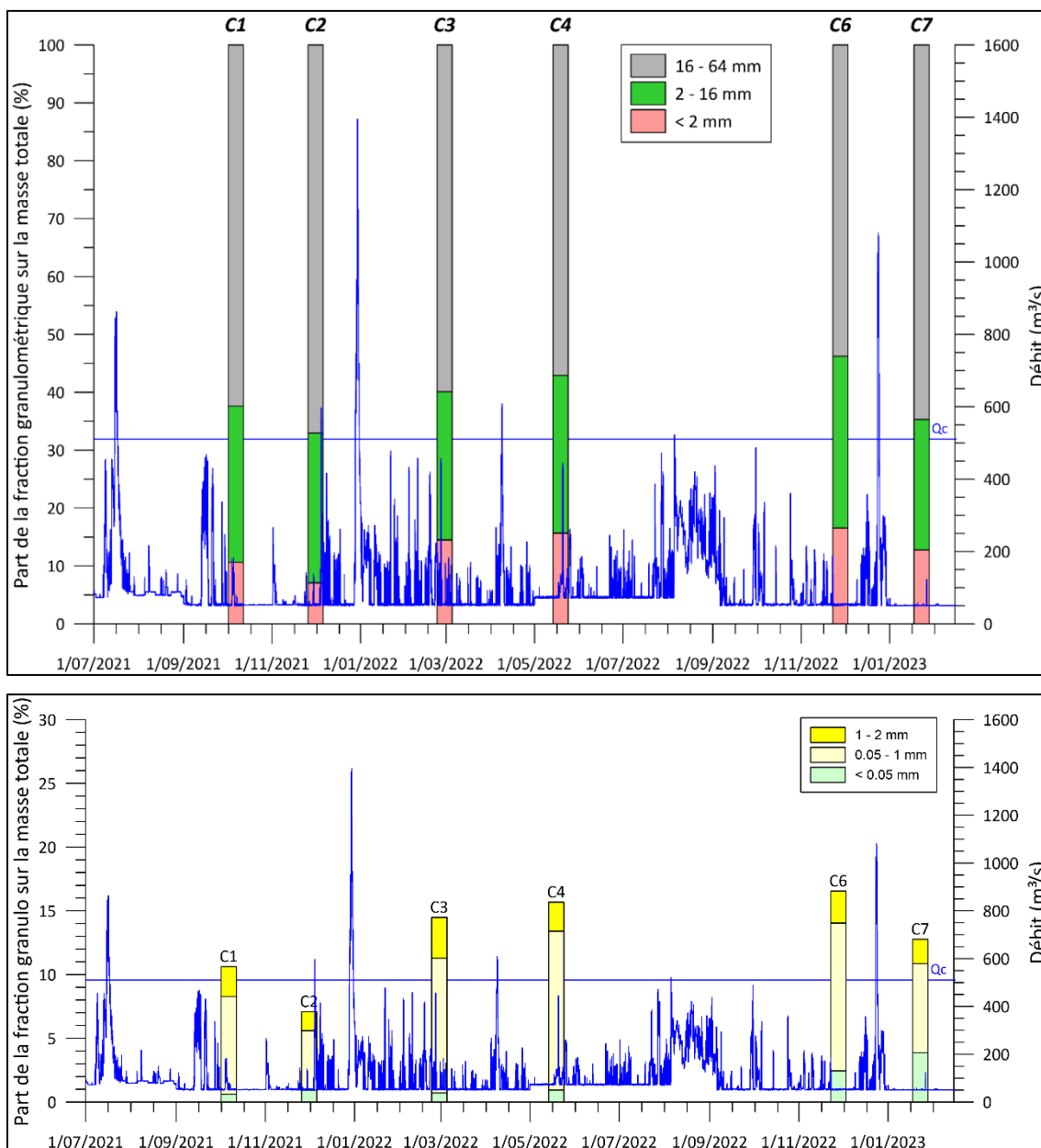


Figure 7. Le Vieux Rhône de Chautagne : hydrogramme et composition granulométrique des échantillons prélevés lors des campagnes C1 à C7. Haut : ensemble du cortège granulométrique. Bas : composition détaillée des fines. Débits horaires bruts et non validés fournis par la CNR (station limnigraphique du barrage de Motz)

4.2 Le Vieux Rhône de Belley

4.2.1 Localisation des stations et des prélèvements

Le Vieux Rhône de Belley est également caractérisé par un chenal faiblement pavé (indice de pavage compris entre 2,12 et 2,72) et par un lit composé d'éléments de petite taille (D50 : 24 mm ; Parrot, 2015). Deux stations avaient initialement été sélectionnées (BEL_PAM et

BEL_PAV pour la campagne C1) mais finalement seule la station BEL PAV a été pérennisée car les deux sites se sont révélés être redondants.

La station se trouve à l'entrée d'un bras secondaire, plus précisément sur la partie amont du radier d'entrée dans ce bras secondaire. Les vitesses sont comprises entre 17 cm/s et 60 cm/s dans des conditions de débit réservé.



Figure 8. Le Vieux Rhône de Belley : localisation des stations et des prélèvements



Figure 9. Le Vieux Rhône de Belley : station BEL PAV lors de la campagne C1 (24/09/2021).

4.2.2 Résultats

Pour chaque échantillon prélevé dans le Vieux Rhône de Belley, le rapport entre la masse du plus gros élément et la masse totale de l'échantillon est inférieur à 5 %, ce qui signifie que ces échantillons sont représentatifs de la forme échantillonnée (Church et al., 1987).

La période hydrologique qui concerne les 7 campagnes est caractérisée par une dominance du débit réservée (à l'inverse de Chautagne) et l'occurrence de crues de forte intensité. Néanmoins, la composition granulométrique reste stable dans le temps, avec une part de fines importante (~20), composée en grande majorité des sables fins (Figure 11). Avec ce taux de fines, le compartiment interstitiel semble rempli, et l'absence d'évolution suggère qu'il n'y a ni stockage, ni déstockage des fines. D'autant plus que les fines sont largement composées de sables fins, limons et argiles.

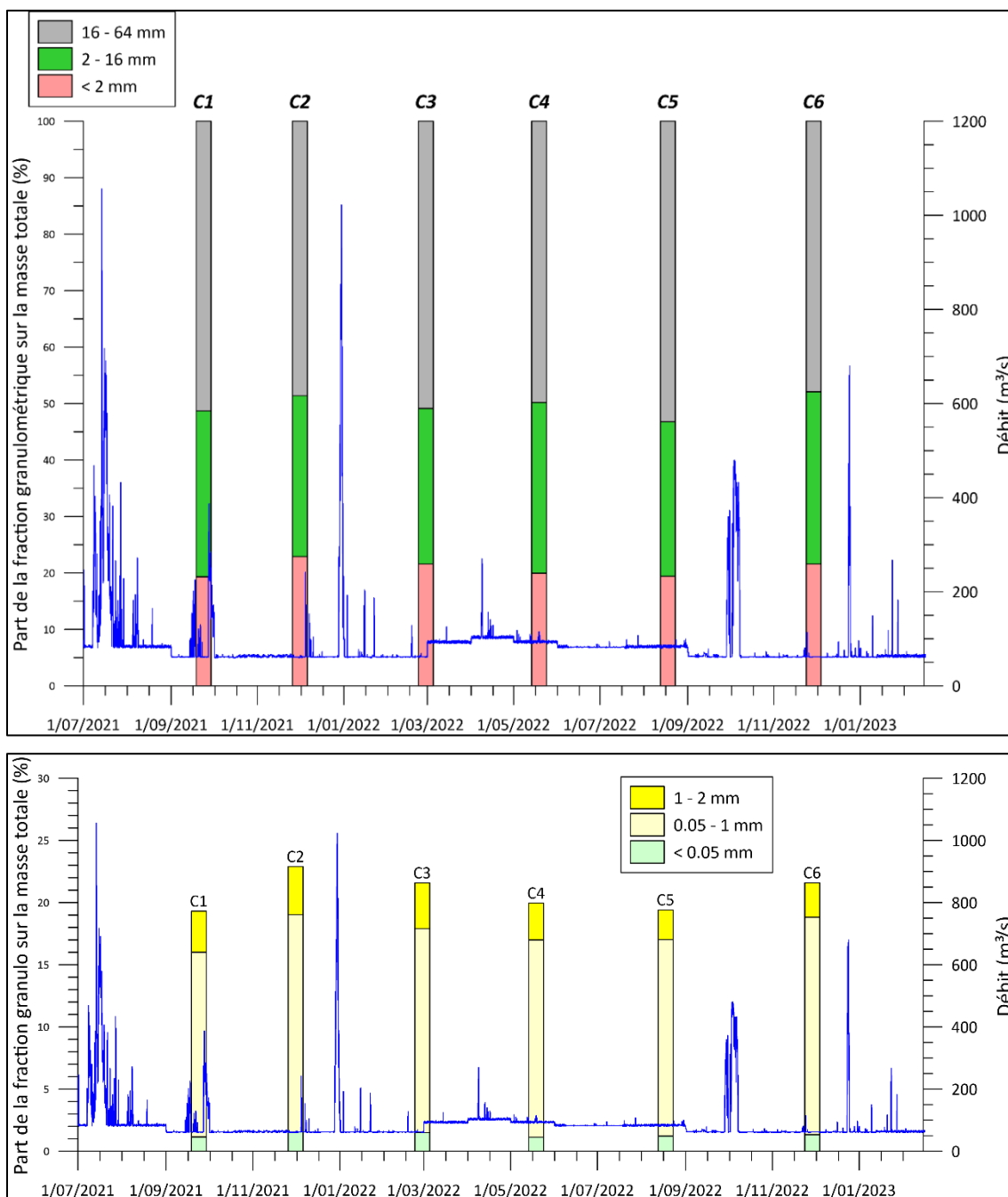


Figure 10. Le Vieux Rhône de Belley : hydrogramme et composition granulométrique des échantillons prélevés lors des campagnes C1 à C6. Haut : ensemble du cortège granulométrique. Bas : composition détaillée des fines. Débits horaires bruts et non validés fournis par la CNR (station virtuelle dont les débits sont calculés à partir de ceux mesurés aux stations limnigraphiques des barrages de Savières et de Lavours)

4.3 Le Vieux Rhône de Neyron

4.3.1 Localisation des stations et des prélèvements

Deux stations ont été initialement identifiées sur ce vieux Rhône. Une seule d'entre elles a été retenue (LYM_PAM) car les deux stations étaient redondantes. La station conservée se trouve

à une distance de 14,1 km en aval du barrage de Jons (Figure 11). C'est un secteur à fort enjeu car il contrôle la répartition des débits entre le canal de Miribel, le Vieux Rhône de Neyron et le canal de Jonage (Figure 11). Il participe de ce fait au bon fonctionnement du champ captant de Crépieux-Charmy. Les sédiments du chenal y sont relativement peu grossiers, comme l'indiquent les mesures réalisées en amont dans le canal de Miribel (D_{50} : 17-25 mm ; indice de pavage compris entre 1,4 et 2,6 ; Parrot, 2015).

Ce site est identifié comme site de référence, en raison de l'absence de pavage et d'un transport sédimentaire actif avéré. En effet, le barrage de Jons est transparent à la charge de fond, et l'Ain semble apporter un volume important de matériaux sur ce tronçon (Malavoi 2000; Cassel et al. 2019).

Le secteur dans lequel se trouve la station LYM PAM présente une morphologie qui varie dans le temps en fonction des événements hydrologiques et des travaux du gestionnaire du champ captant (Figure 12). Ce dernier a notamment créé un bras secondaire en rive gauche du chenal principal durant l'automne 2021 en curant 8000 m³ de sédiments (A. Perrissin, communication personnelle, le 25/04/2022). Bien que ce bras se soit comblé suite aux crues de décembre 2021/janvier 2022, un prélèvement y a été réalisé durant la campagne C2 (2/12/2021). Du fait de ces changements morphologiques, les prélèvements sont effectués à des endroits sensiblement différents.



Figure 11. Le Vieux Rhône de Neyron : localisation des stations et des prélèvements



Figure 12. Le Vieux Rhône de Neyron, station LYM_PAM. A : campagne C2, le 2/12/2021. B : campagne C7 le 24/01/2023. Des changements morphologiques (divagation latérale, longueur du radier) sont observées depuis fin 2021.

4.3.2 Résultats

Pour chaque échantillon prélevé dans le Vieux Rhône de Neyron, le rapport entre la masse du plus gros élément et la masse totale de l'échantillon est inférieur à 5 %, ce qui signifie que ces échantillons sont représentatifs de la forme échantillonnée (Church et al., 1987 ; Tableau 5).

De manière générale, la part des sédiments fins (<2 mm) des échantillons est relativement faible et ce, quels que soient la campagne et le lieu de prélèvement (Figure 14). C'est l'échantillon de la campagne C2, prélevé dans le bras secondaire recréé, qui présente la valeur la plus faible (0,9 %). Les fines sont constituées à parts égales de sables grossiers et de sables fins.

Bien que la part de fines varie peu, la répartition des deux autres classes granulométriques varie davantage, quel que soit l'hydrologie (occurrence de crues). Ces variations peuvent être liées à la dynamique du secteur ou aux différences de positions des sites échantillonnés. En revanche elle ne semble pas liée à l'hydrologie.

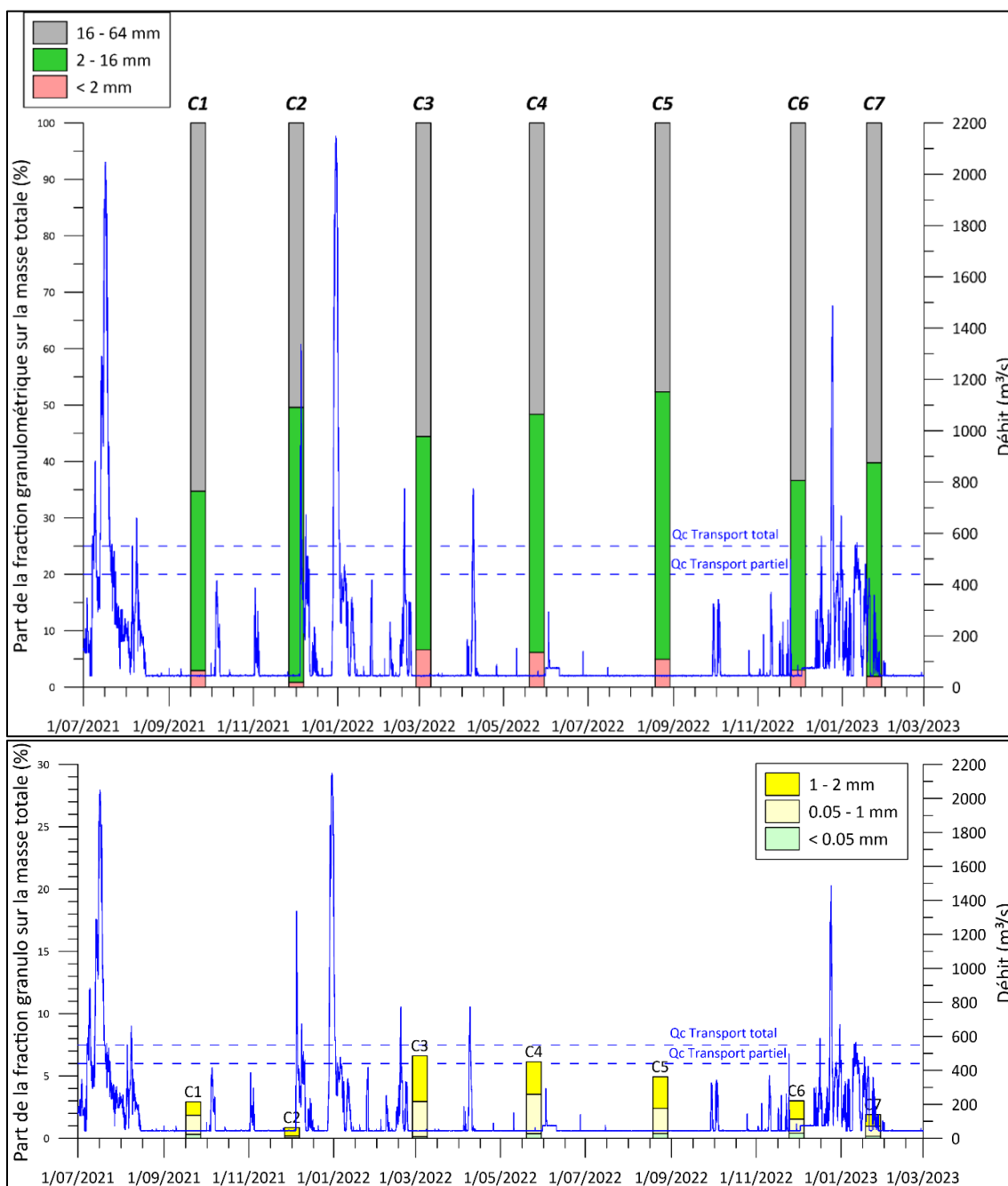


Figure 13. Le Vieux Rhône de Neyron : hydrogramme et composition granulométrique des échantillons prélevés lors des campagnes C1 à C7. Haut : ensemble du cortège granulométrique. Bas : composition détaillée des fines. Débits horaires bruts et non validés fournis par EDF pour le canal de Miribel (les débits critiques Q_c transport total - 440 m³/s - et Q_c transport partiel - 550 m³/s - sont les valeurs estimées par Petit et al., 1996)

4.4 Le Vieux Rhône de Pierre-Bénite

4.4.1 Localisation des stations et des prélèvements

Le Vieux Rhône de Pierre-Bénite est caractérisé par un lit composé majoritairement de grosses particules (D_{50} : 43-55 mm) et un indice de pavage compris entre 4 et 8 (Parrot, 2015). La station échantillonnée, située 5,2 km en aval du barrage de Pierre-Bénite, se trouve sur un dépôt latéral immergé (Figure 15 et Figure 16).

Les prélèvements ont débuté à la campagne C2 pour des raisons administratives.



Figure 14. Le Vieux Rhône de Pierre-Bénite (23/01/2023).



Figure 15. Le Vieux Rhône de Pierre-Bénite : localisation de la station et des prélèvements

4.4.2 Résultats

C'est sur cette station qu'on observe le plus fort pourcentage de fines (27% en C3), et d'une manière générale les pourcentages les plus hauts (de 16,5 à 27%). Les deux classes grossières sont relativement équilibrées. Comme à Belley, les résultats indiquent une stabilité dans le temps, un compartiment interstitiel comblé, et ils suggèrent qu'il n'y a ni stockage, ni déstockage. De plus, une majeure partie des sédiments fins sont < 1 mm, donc avec un potentiel colmatant.

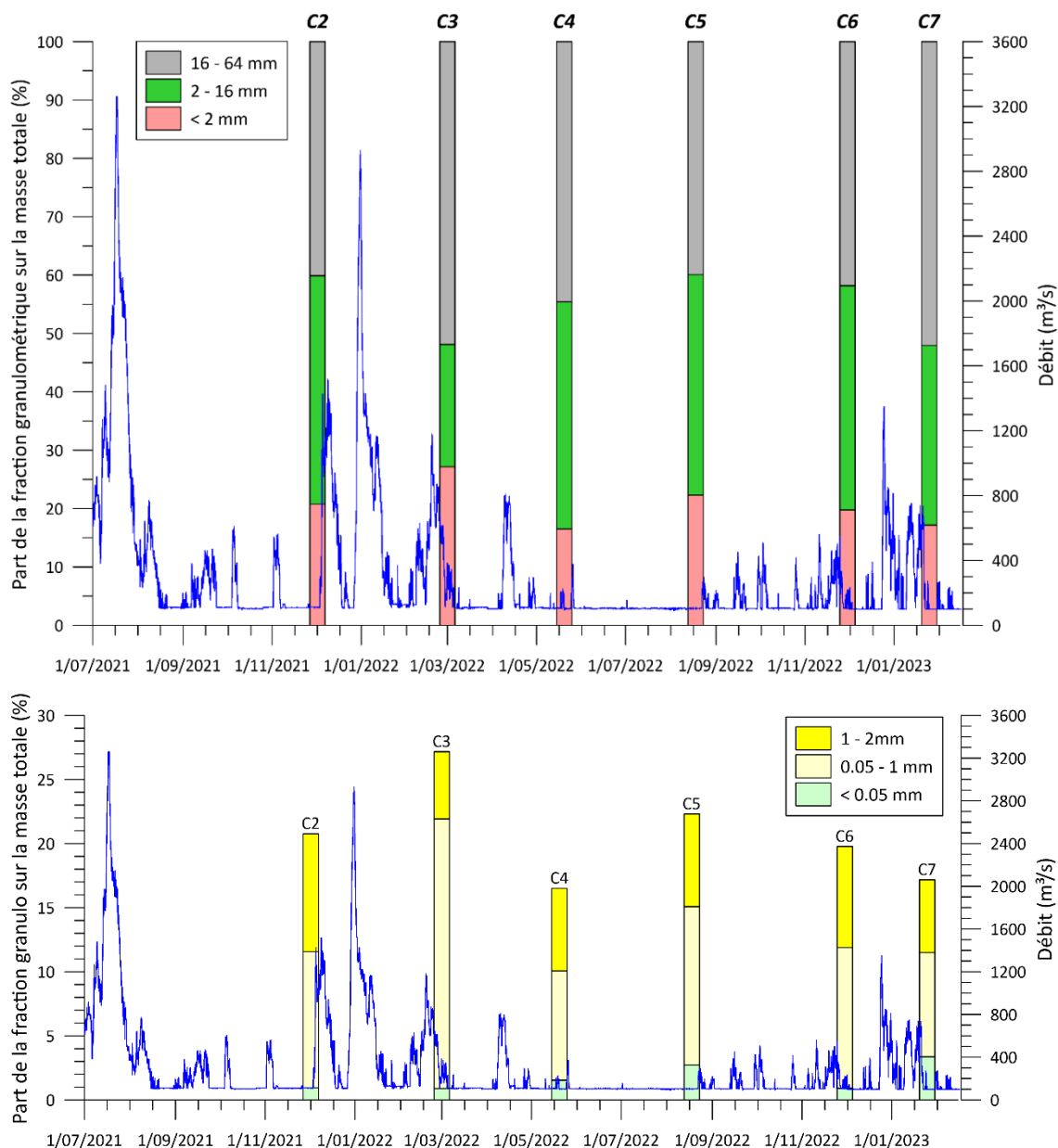


Figure 16. Le Vieux Rhône de Pierre-Bénite : hydrogramme et composition granulométrique des échantillons prélevés lors des campagnes C2 à C7. Haut : ensemble du cortège granulométrique. Bas : composition détaillée des fines. Débits horaires bruts et non validés fournis par la CNR (station limnigraphique du barrage de Pierre-Bénite)

4.5 Le Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon

4.5.1 Localisation des stations et des prélèvements

Les deux stations échantillonnées le long du Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon se trouvent à 2,5 km (PDR) et 3,8 km (PDR PAM) en aval du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf (Figure 18). Le secteur sur lequel se trouve la station amont (PDR PAM) possède un chenal composé de

particules relativement grossières (D50 : 51 mm) et présente un pavage prononcé (indice de pavage de 5,43 ; Parrot, 2015). Sur la station PAM, les prélèvements sont systématiquement effectués sur le radier du bras secondaire, formé par le démantèlement du casier. Les matériaux qui s'y trouvent sont donc probablement composés de la remobilisation de sédiments piégés dans les casiers jusqu'alors.

Concernant la station pavée (PDR), les prélèvements C1 et C2 ont été effectués en rive gauche, et par la suite en rive droite (C3 à C7). Elle est ainsi considérée comme une seule station car les sites sont (i) proches, et (ii) tous les deux sur des secteurs pavés.

Dans le cadre des travaux de restauration écologique (démantèlement des casiers de l'île des Gravieres) menés en entre décembre 2016 et mars 2017, une recharge sédimentaire a été réalisée 1,2 km en aval du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf. Les deux stations pourraient contenir des particules issues de cette recharge. Ces éléments devraient toutefois représenter une quantité limitée compte tenu des vitesses de transport sédimentaire et de la distance considérée (Vázquez Tarrío et al., 2021). Toutefois, la station PDR PAM se trouve sur un site d'accumulation préférentielle de galets, dont une partie provient de la recharge sédimentaire (comme l'a montré le dernier relevé RFID du suivi de la recharge sédimentaire ; Peeters et al., 2023).

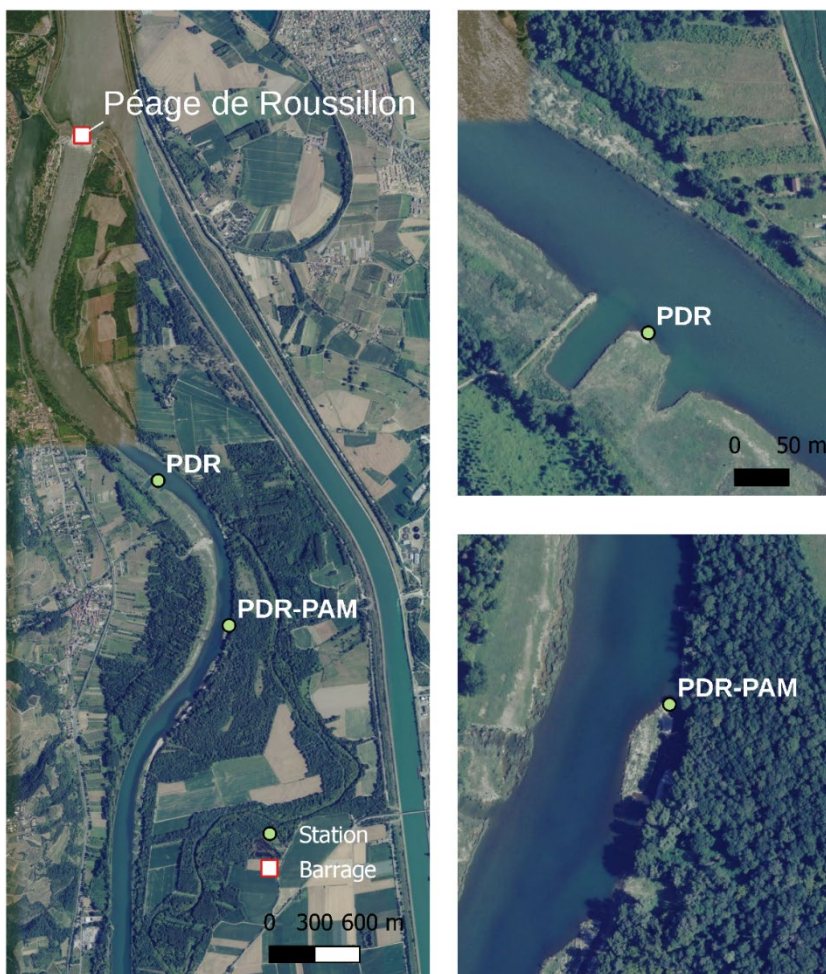


Figure 17. Le Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon : localisation des stations et des prélèvements



A



B

Figure 18. Le Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon. A : station PDR PAM lors de la campagne C1 (15/10/2021). Les prélèvements se font sur le radier de rive gauche, à l'intérieur du périmètre de l'ancien casier Girardon. B : station PDR lors de la campagne C6 (17/11/2022). On note la taille importante des particules sur le banc.

4.5.2 Résultats

Sur les deux stations du vieux Rhône de Péage-de-Roussillon, la part de fine est assez faible (entre 6,5 et 12.8 %) et présente peu d'évolution. La stations pavée (PDR) dispose de plus de sables grossiers (1-2 mm).

La station PDR dispose d'une part importante de graviers, équilibrée avec les éléments plus grossiers (16-64 mm). On observe que les événements de crue de fin 2022 et de début 2023 ont fait baisser la part de graviers, mais augmenter la part de fines.

La station PDR PAM, située sur un banc qui semble s'engraisser, possède une représentation particulièrement forte des éléments grossiers (entre 65 et 80% de 16-64 mm). Ainsi, le fond du lit est peu cohésif et non stabilisé.

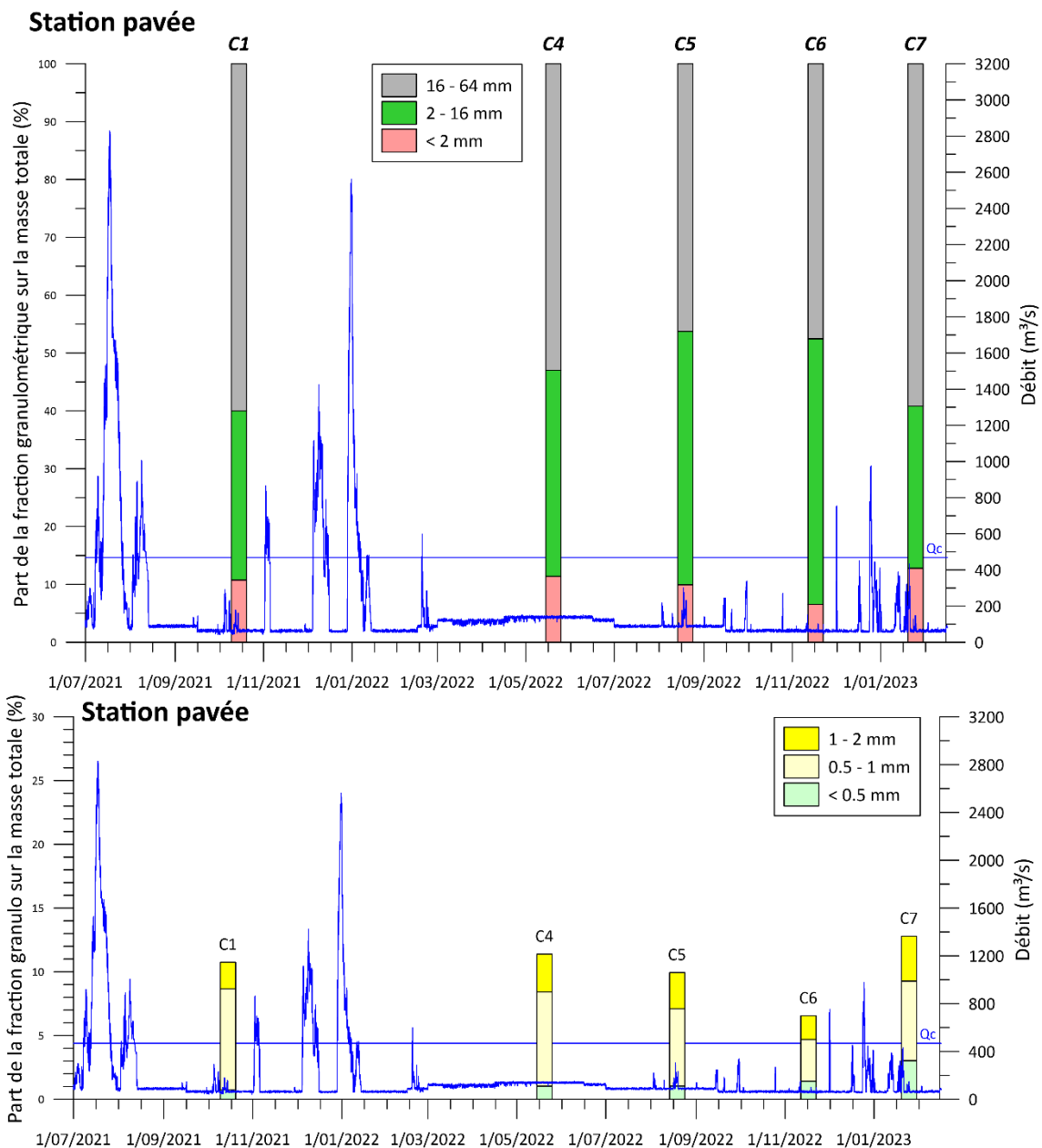


Figure 19. Le Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon, station PDR : hydrogramme et composition granulométrique des échantillons prélevés lors des campagnes C1 à C3. Haut : ensemble du cortège granulométrique. Bas : composition détaillée des fines. Débits horaires bruts et non validés fournis par la CNR (station limnigraphique du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf).

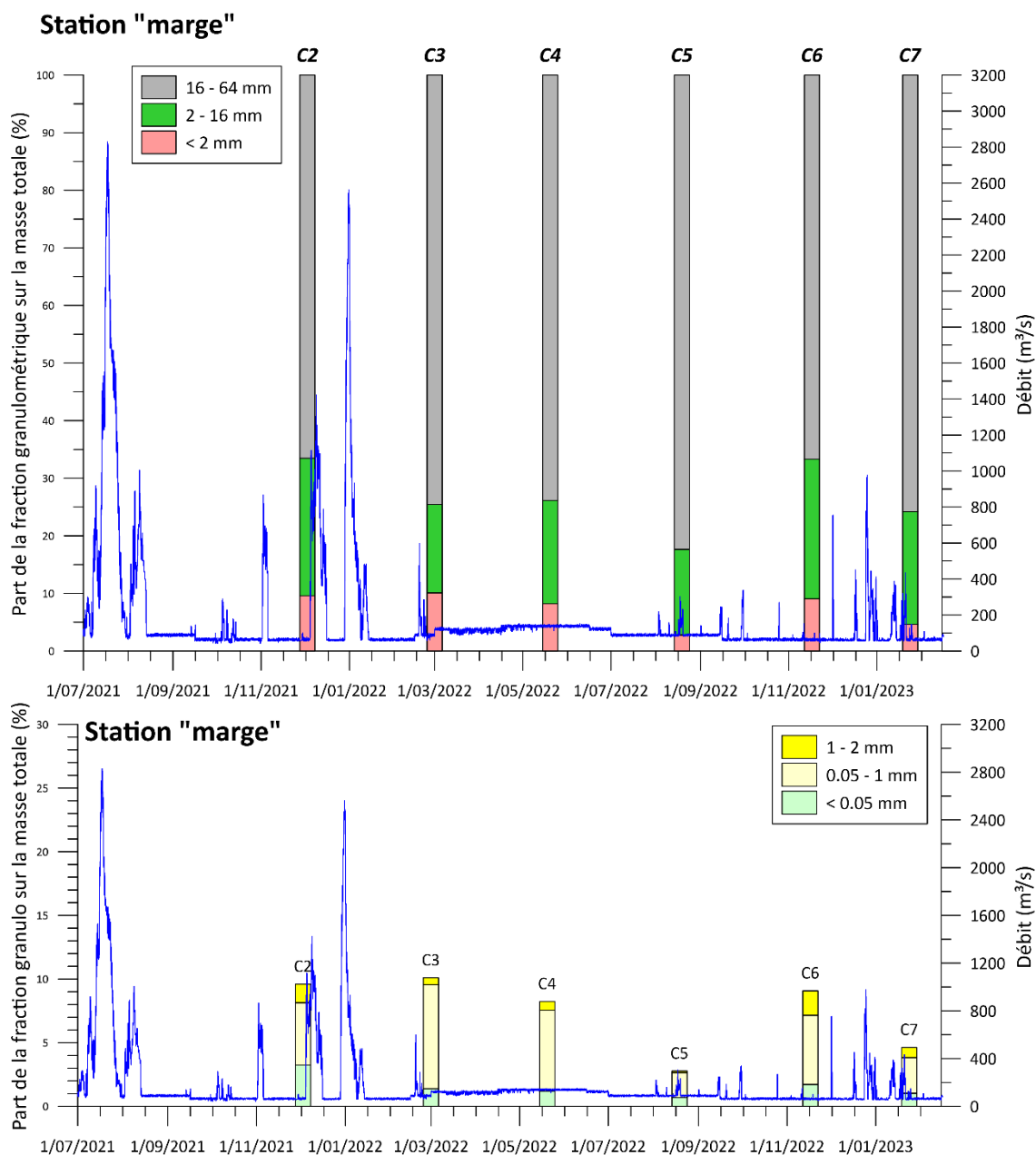


Figure 20 : Le Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon, station PDR PAM : hydrogramme et composition granulométrique des échantillons prélevés lors des campagnes C1 à C3. Haut : ensemble du cortège granulométrique. Bas : composition détaillée des fines. Débits horaires bruts et non validés fournis par la CNR (station limnigraphique du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf).

4.6 La Drôme à Livron-sur-Drôme

4.6.1 Localisation des stations et des prélèvements

La station échantillonnée sur la Drôme à Livron-sur-Drôme est localisée environ 2 km en amont de la confluence avec le Rhône et 300 m en aval du seuil CNR de Livron (Figure 22). Elle se trouve sur un secteur caractérisé par des chenaux multiples mobiles, et une charge sédimentaire abondante qui semble *a priori* comporter peu de sédiment fin. C'est pourquoi elle a été sélectionnée comme station de référence pour le Bas-Rhône du point de vue de son

colmatage. Les mesures ont été réalisées sur le bras principal (le plus large). Les vitesses y sont relativement élevées.



Figure 20. La Drôme à Livron-sur-Drôme : localisation de la station.



Figure 21. La Drôme à Livron-sur-Drôme le 07/02/2023.

4.6.2 Résultats

Comme pour les stations de référence de Neyron, la station échantillonnée sur la Drôme présente une part de sédiments fins (< 2 mm) faible, qui varie modérément dans le temps (entre 1,6 et 6,2 % ; Figure 22). On notera également une singularité de ce site qui n'est pas situé sur le Rhône, à savoir la présence d'une forte dominance des limons et argiles dans les fines.

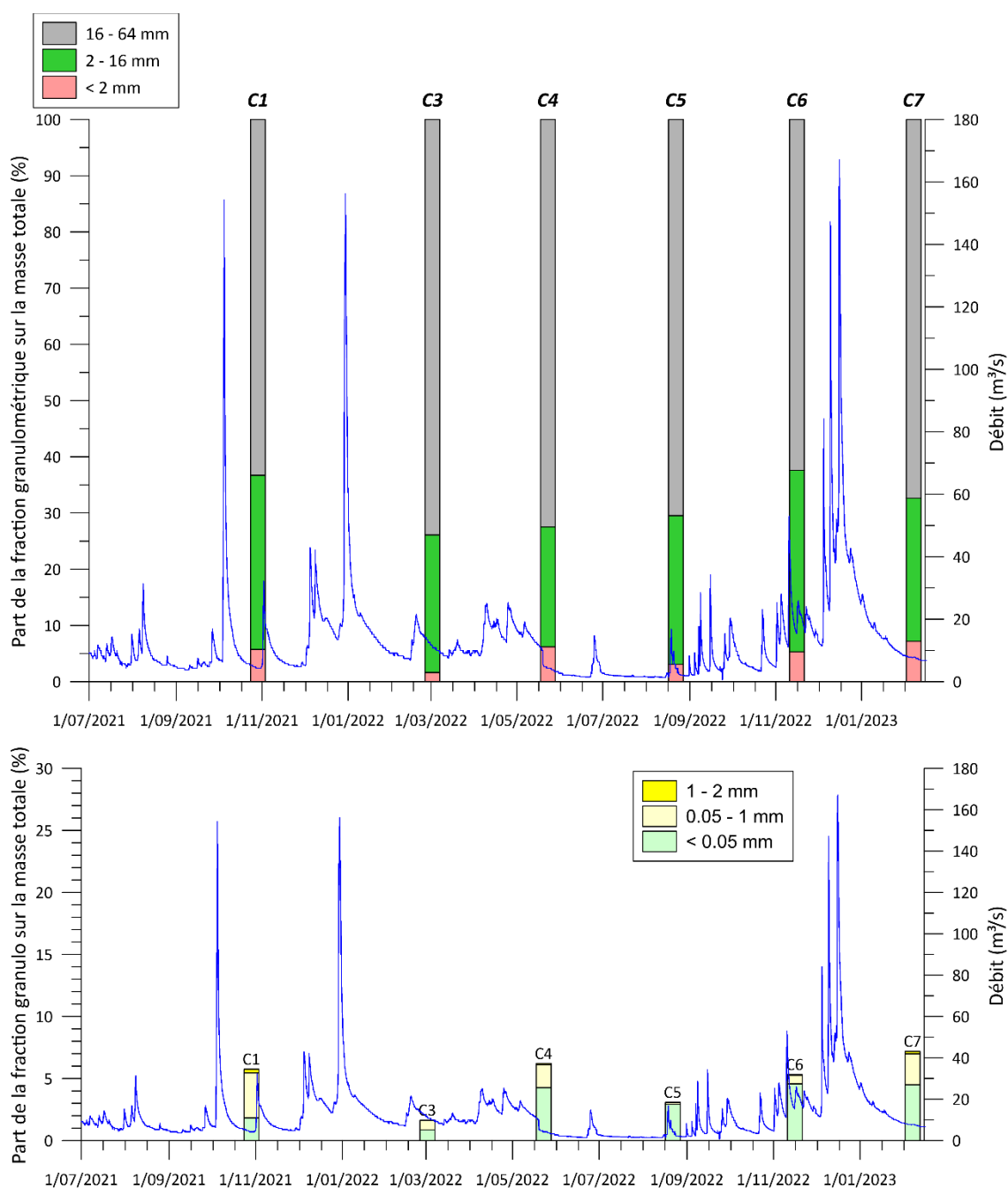


Figure 22. La Drôme à Livron-sur-Drôme : hydrogramme et composition granulométrique des échantillons prélevés lors des campagnes C1 à C7. Haut : ensemble du cortège granulométrique. Bas : composition détaillée des fines. Débits horaires bruts et non validés fournis par la CNR (station limnigraphique de Livron-sur-Drôme)

4.7 Le Vieux Rhône de Baix-le-Logis-Neuf

4.7.1 Localisation des stations et des prélèvements

La station échantillonnée sur le Vieux Rhône de Baix-le-Logis-Neuf se trouve à 1 km en aval du barrage du Pouzin, ce dernier étant situé 4 km en aval de la confluence avec la Drôme (Figure 20). La station se trouve en aval direct du lieu de recharge sédimentaire (12000 m³) en novembre 2021. Elle est localisée sur la partie amont d'un radier, en bordure d'un grand banc latéral (Figure 23). Compte tenu des profondeurs trop importantes au droit de la zone de recharge, les mesures ont été réalisées en aval, dans des profondeurs plus faibles.



Figure 23 : Le vieux Rhône de Baix Le-Logis-Neuf : localisation des stations



Figure 24. Le Vieux Rhône de Baix-le-Logis-Neuf : station étudiée lors de la campagne C6 (17/11/2022), avec une certaine diversité granulométrique en surface (graviers et galets).

4.7.2 Résultats

Bien qu'aucun prélèvement n'ait été réalisé pour la campagne C1, nous disposons néanmoins des données issues d'une granulométrie réalisée par la CNR, sur un échantillon prélevé dans les sédiments à injecter (avant la recharge). Cet échantillon, nommé C1, possède 10,6 % de fines.

La part de fines oscille entre 10,2 et 16,5%, avec un partage plutôt égal entre sables grossiers et fins. La distribution entre les classes est mouvante au cours du temps, sans pouvoir établir de tendance. La Figure 23 illustre la présence d'une diversité granulométrique en surface. C'est probablement le signe que, parmi les particules grossières qui pavent le fond du lit, des particules plus petites, venues de la recharge, se sont logés dans les interstices. En effet, les résultats des 6 campagnes prouvent un relatif équilibre entre les classes 2-16 mm et 16-64 mm.

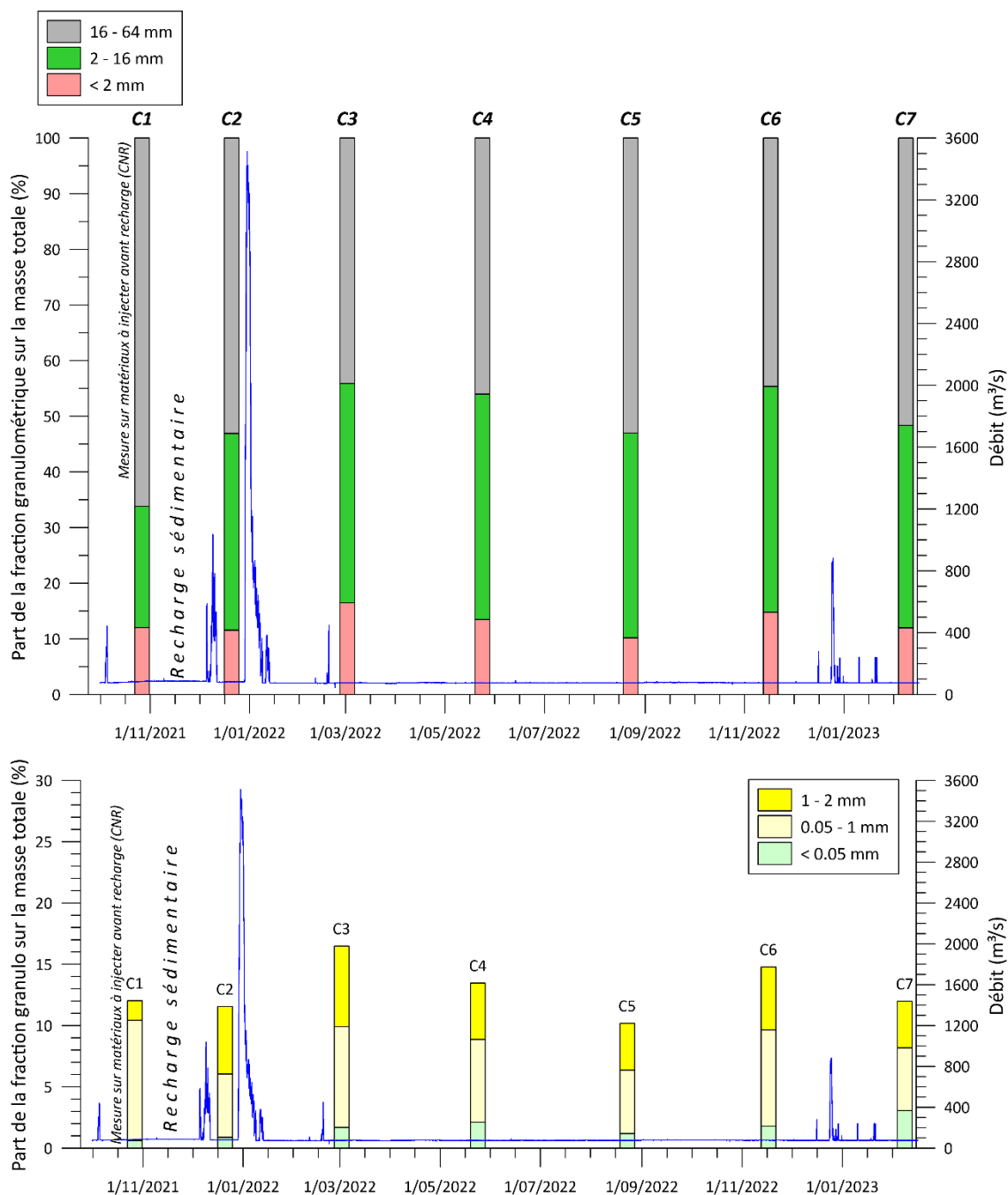


Figure 25. Le Vieux Rhône de Baix-le-Logis-Neuf : hydrogramme et composition granulométrique des échantillons prélevés lors des campagnes C1 à C7. Haut : ensemble du cortège granulométrique. Bas : composition détaillée des fines. Débits horaires bruts et non validés fournis par la CNR (station limnigraphique du barrage du Pouzin).

4.8 Le Vieux Rhône de Donzère-Mondragon

4.8.1 Localisation des stations et des prélèvements

Tout comme le secteur de Pierre-Bénite, le secteur de Donzère-Mondragon est caractérisé par la présence de sédiments grossiers (D50 : 47-52 mm) et un lit pavé (indice de pavage compris

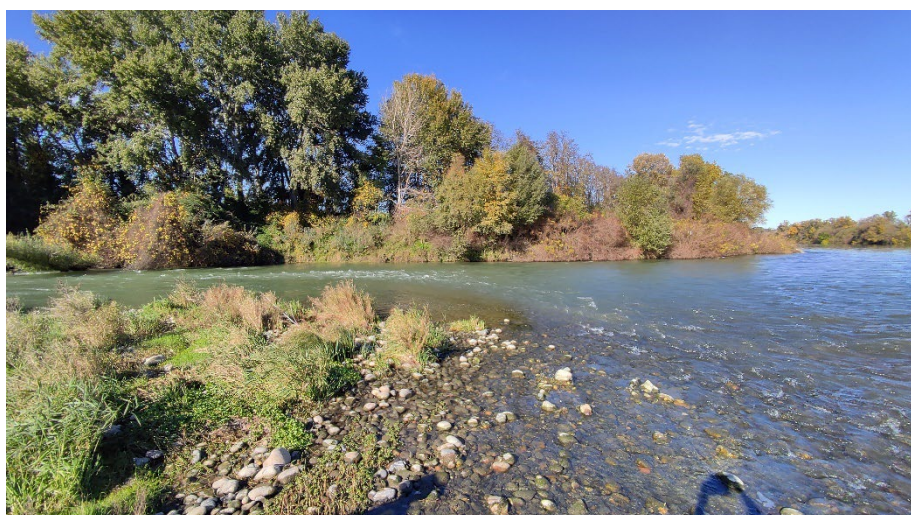
entre 4 et 5 ; Parrot, 2015). Les deux stations échantillonnées le long de ce Vieux Rhône se trouvent à 5 km (PAM) et 14,6 km (PAV) en aval du barrage de Donzère (Figure 25). Elles sont distantes de respectivement 1 km et 10,6 km de la zone de recharge sédimentaire qui avait été réalisée en janvier 2019. Les deux stations sont considérées pavées, mais sur DZM PAM il est possible que des éléments issus de la recharge y soit parvenus (A. Peeters, 2022).

La station amont (PAM) se situe dans la partie amont d'un radier, en bordure d'un grand banc (légèrement en aval de l'entrée de la Lône des Dames). Elle est caractérisée par des vitesses modérées, comprises entre 18 et 52 cm/s.

La station aval (PAV) présente une configuration similaire, bien que le rétrécissement du lit mouillé (pour le Qr) au droit du banc soit plus prononcé (ce qui n'est pas visible sur l'orthophoto de la Figure 25 qui montre une situation de hautes eaux).



A



B

Figure 26. Le Vieux Rhône de Donzère-Mondragon. A : station amont DZM PAM. B : station aval DZM PAV lors de la campagne C6 (16/11/2022).



Figure 27. Le Vieux Rhône de Donzère-Mondragon : localisation des stations et des prélèvements

4.8.2 Résultats

D'une façon générale, ces deux stations présentent des taux de fines particulièrement faibles, surtout la station DZM PAV qui présente des parts de fines comparables à celles des stations de référence. En revanche elle présente une forte dominance des particules 16 - 64 μm , ce qui n'est pas le cas des stations de références, ni de Chautagne, considérée comme dynamique. Les pourcentages de fines montrent également une plus grande variabilité dans le temps, comparés aux autres stations (entre 2,5% et 17,7%, et entre 0,4% et 6,9% pour les stations amont et aval respectivement). A ce stade, cette variabilité ne semble pas être associées aux variables environnementales mesurées.

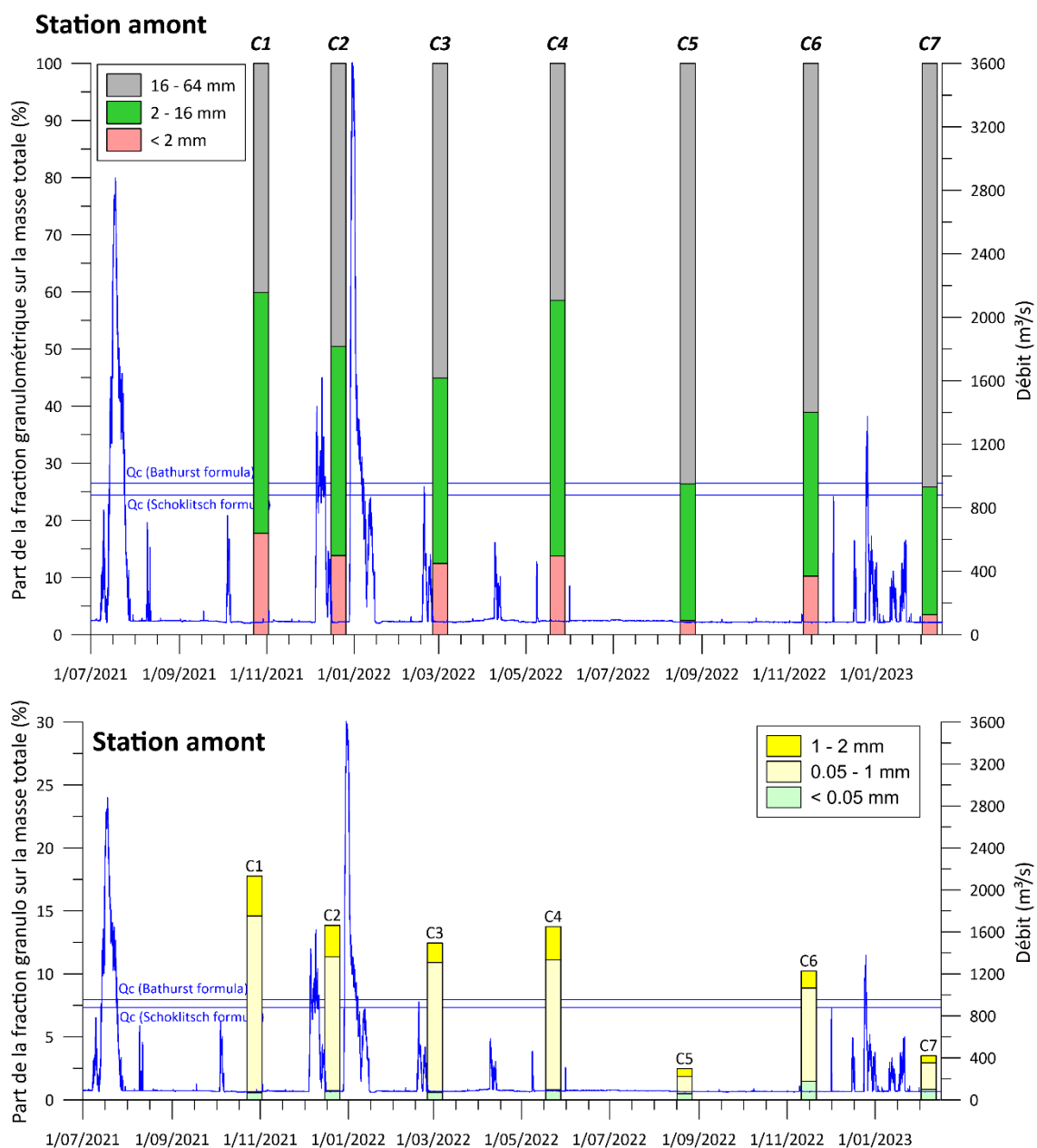


Figure 28. Le Vieux Rhône de Donzère-Mondragon, station DZM PAM : hydrogramme et composition granulométrique des échantillons prélevés lors des campagnes C1 à C7. Haut : ensemble du cortège granulométrique. Bas : composition détaillée des fines. Débits horaires bruts et non validés fournis par la CNR (station limnigraphique de Bourg-Saint-Andéol).

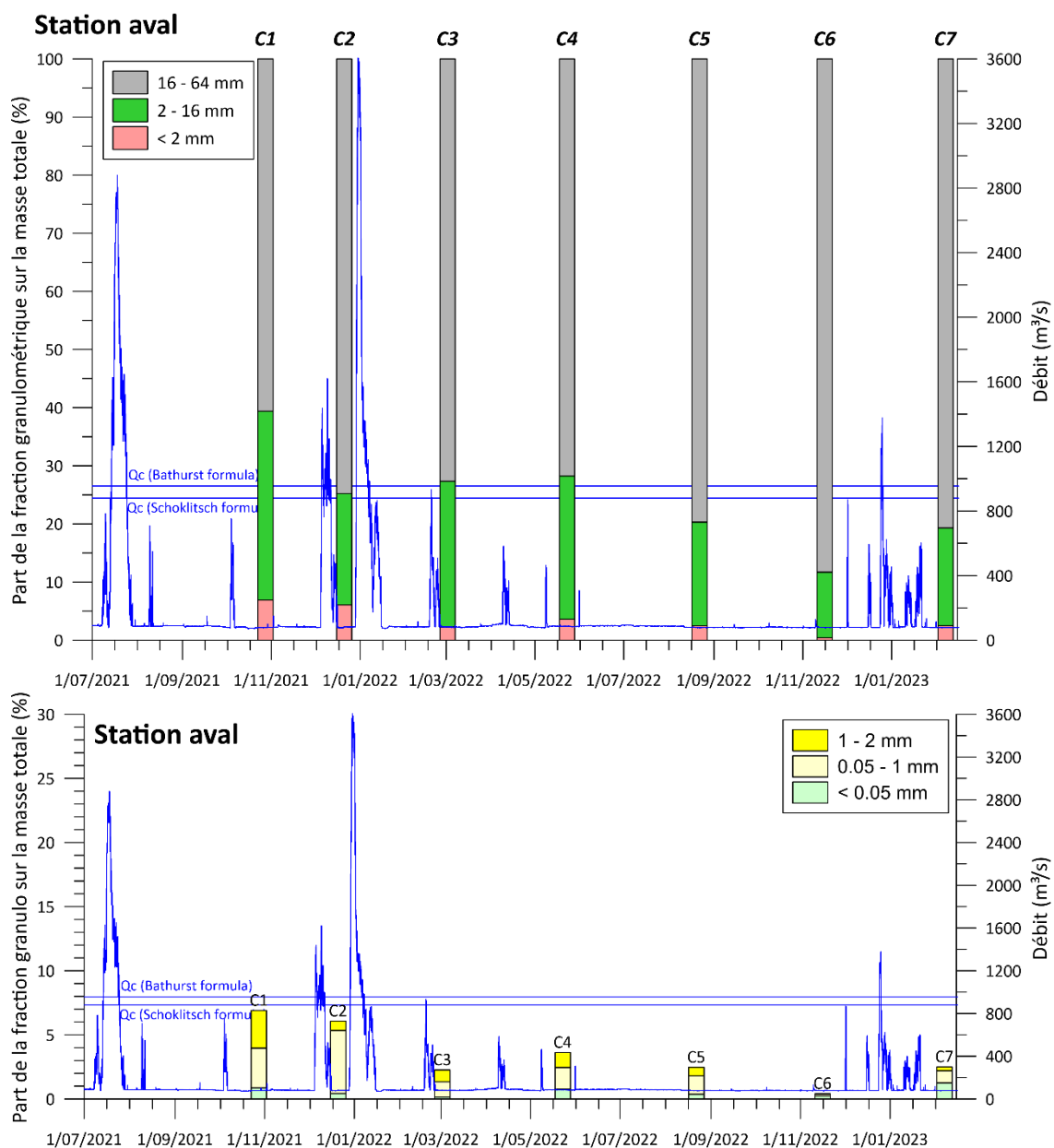


Figure 29 : Le Vieux Rhône de Donzère-Mondragon, station DZM PAV : hydrogramme et composition granulométrique des échantillons prélevés lors des campagnes C1 à C7. Haut : ensemble du cortège granulométrique. Bas : composition détaillée des fines. Débits horaires bruts et non validés fournis par la CNR (station limnigraphique de Bourg-Saint-Andéol).

5. Éléments de synthèse et perspectives

5.1 Echantillonnage et représentativité

Le critère de représentativité, selon lequel la masse du plus gros élément ne doit pas excéder 5% (Church et al., 1987), se révèle être difficile à respecter systématiquement, même lorsque les trois prélèvements d'une station sont regroupés. Ainsi, 41 échantillons sur 62 dépassent ce seuil de 5%. Cependant, le rapport moyen est de 7,1%. Pour des considérations de moyens humains et de disponibilité, il est difficilement envisageable de réaliser plus de trois prélèvements par station.

L'échantillonneur McNeil est intéressant car il est simple à mettre en œuvre et permet de couvrir plusieurs stations régulièrement, sans protocole complexe. En revanche, il demeure un biais opérateur, au moment du prélèvement, qui est à prendre en compte. Notamment le fait qu'il soit difficile de retenir l'entièreté des fines à l'intérieur lors de l'enfoncement du cylindre. Même lorsque les pertes de fines sont limitées, plusieurs auteurs estiment que le pourcentage de fines est tout de même sous-représenté (Young et al., 1991, Bunt et al., 2001). De plus, ce prélèvement induit une destruction verticale de la composition granulométrique.

Pour essayer de quantifier ces biais potentiels, des mesures granulométriques utilisant différentes méthodes (cylindre Mc Neil et granulométrie de surface/subsurface sur banc émergé) ont été menées sur le site test de Neyron (station amont) et plus généralement sur le site de Miribel (Masquelier, 2022). La comparaison des résultats issus de ces mesures ont confirmé le biais potentiel du sous-échantillonnage des fines (en particulier des sables) avec le cylindre Mc Neil pour un échantillonnage subaquatique. Les mesures sur bancs émergés se sont avérées par contre similaires. Une difficulté demeure sur la variabilité verticale du taux de fines et l'impact d'une prise en compte ou non de la couche de surface (armurée voire pavée) dans l'échantillonnage; et si on l'exclut, un biais peut être créé sur le choix de l'épaisseur de cette couche de surface et la difficulté pour extraire l'ensemble des classes de la couche (potentiel biais sur les fines). Quoiqu'il en soit, la comparaison des concentrations de sédiments fins déterminées par cette technique reste pertinente du moment que le protocole d'échantillonnage reste identique pour chaque prélèvement et que l'opérateur soit le même.

En ce sens, effectuer une troncature à une taille de particule permet de réduire l'effet des grosses particules sur le pourcentage de fines, et de rendre comparable les échantillons entre eux. Cela permet aussi de s'affranchir de la couche de surface dans les secteurs pavés, et de formuler l'hypothèse que les plus grosses particules sont essentiellement présentes en surface (Bunt et al., 2001). Ici, la variabilité du D_{50} est nettement réduite avec la troncature des échantillons à 64 mm, et sa valeur médiane baisse d'environ 8mm. C'est principalement la part de fines qui est réévaluée avec la troncature. La Figure 29 illustre une réponse contrastée des stations à la troncature, ce qui confirme la présence sur certains site de particules très grossières qui influencent nettement la distribution granulométrique. Il apparaît que ce sont les stations pavées qui sont les plus sensibles à la troncature.

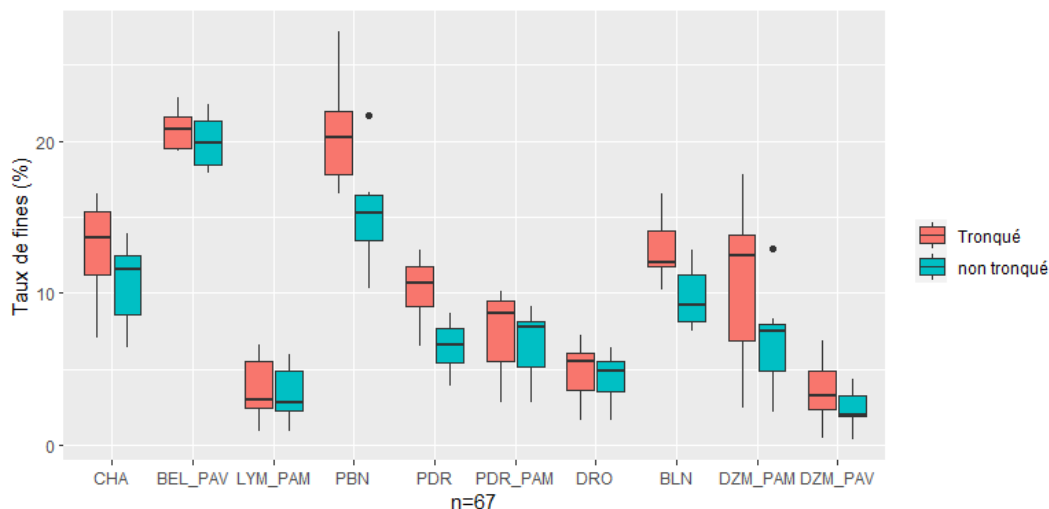


Figure 30 : part de fines avec ou sans troncature des échantillons, par stations.

5.2 Vers une typologie de stations

Pour rappel, deux hypothèses de départ sont considérées :

- Les stations pavées ont une part de fines plus importante que les stations rechargées, qui elles-mêmes ont une part supérieure aux stations de référence ;
- La variabilité intra-situationnelle (au sein d'un même type de station) dans le temps est inférieure à la variabilité inter-stationnelle.

A priori, 4 types de station sont identifiés. Des stations de référence (LYM, Drôme), une station dynamique (CHA), des stations ayant fait l'objet de recharges sédimentaires (PDR marge et BLN), et 5 stations pavées (BEL, PBN, PDR pavé, et DZM amont et aval).

Sur le gradient du pourcentage de fines ($\% < 2\text{mm}$) (Figure 29), on trouve en premier des stations pavées, puis les stations dynamiques et rechargées, et enfin les stations de référence. Une tendance se dessine, même si les stations DZM (amont et aval) ont, elles, des patrons différents des autres stations pavées. C'est la part de graviers (2-16 mm) qui induit le plus de variabilité dans l'ensemble des prélèvements (proportions entre 10 et 60% environ).

Ainsi, après 7 campagnes de terrains sur 18 mois, des patrons se dessinent et confirment une typologie de stations. La distribution granulométrique d'une station est peu variable au cours du temps. A ce stade, les deux hypothèses de départ semblent se confirmer. Il faut toutefois préciser que la période hydrologique étudiée est caractérisée par des crues de faibles et moyennes intensités, la crue décennale n'est jamais atteinte sur la période (d'après les données de E. Parrot, 2015) L'effet de crues de plus forte intensité (Q_{10} , Q_{50}) sur l'évolution de la part de fines n'est pas encore connu. Des prélèvements complémentaires associés à ce type de crues permettraient de déterminer leurs effets sur le colmatage/décolmatage du lit mineur.

D'une manière générale, la part de sédiments fins oscille de moins de 1% à plus de 27% sur les vieux Rhône étudiés (Figure 30). Ce pourcentage de fines peut être mis en relation avec la porosité du substrat, cette dernière exerçant un contrôle sur l'importance des courants interstitiels. Maridet et al. (1992, 1995) ont ainsi montré que plus de 30 % de sédiments fins

par rapport au volume total de sédiment induit une porosité quasiment nulle. Elle est limitée à quelques pourcents lorsque les fines représentent 20 à 30 %. Parmi les stations étudiées dans ce travail, seules les stations pavées de Belley et de Pierre-Bénite dépassent, régulièrement, le seuil de 20 % de fines (Figure 30).

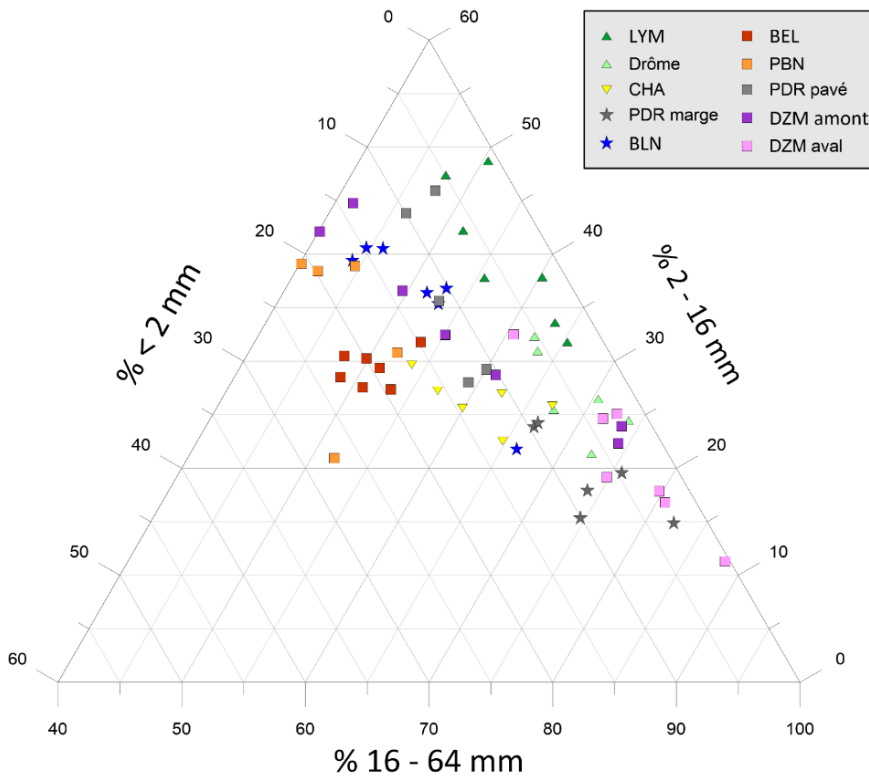


Figure 31. Représentation ternaire des 7 campagnes d'échantillonnage. (Vert : site de référence ; jaune : site dynamique ; étoile : site rechargé ; carré : site pavé).

Les autres stations possèdent un pourcentage de sédiments fins inférieur à cette valeur seuil. Les stations dites de référence (Neyron et Drôme) observent des parts de fines nettement inférieures à celles des autres stations, si ce n'est DZM PAV dont les parts sont très basses, à l'instar de celles des sites de référence. La station sur la Drôme enregistre, quant à elle, une part de limons et argiles particulièrement élevée par rapport à la part de sables. De manière générale, à l'échelle de la station, la part de fines est relativement stable dans le temps, et les schémas se confirment de campagne en campagne. En revanche, pour DZM PAM, et dans une moindre mesure DZM PAV, la part de fines est décroissante dans le temps. Les campagnes suivantes confirmeront ou non ces tendances.



Figure 32 : Evolution de la proportion et de la composition des fines au cours des sept campagnes. (Jaune : limons et argiles, vert : sables)

5.3 Prévisionnel pour l'OSR6

3 nouvelles campagnes de prélèvements sont prévues en 2023 : avril, juillet puis octobre. Elles permettront de renforcer les données collectées, avec 10 campagnes sur plus de 2 ans.

Cette année 3 de l'OSR6 fera l'objet d'un travail renforcé sur la recherche de facteurs explicatifs des dynamiques de colmatage. Des rapprochements des résultats de recherche avec des études menés par l'INRAE Lyon auront lieu (mesure des vitesses d'infiltration et quantification des MES lors d'évènements hydrologiques).

Une mesure par granulométrie laser des échantillons de MES doit également être effectuée afin de confirmer ou d'infirmer le choix d'ajouter la masse calculée de MES à la classe la plus petite (<0,05mm).

5.4 Perspectives et implications

La poursuite de l'étude permettra d'établir un référentiel sur la composition de la subsurface dans les vieux Rhône. La création de ces données peut déboucher par la suite sur des études de suivis de l'évolution de la part de fines pré- / post-projet de restauration (notamment par recharge sédimentaire) ou pré- / post-événements (type APAVER ou chasse par exemple).

En ce sens, une approche à échelle spatiale plus fine en multipliant les stations de mesure sur un vieux Rhône, sur quelques campagnes, suivant le même protocole, est envisagé. Ainsi, le vieux Rhône de Chautagne, avant et après un APAVER pourrait faire l'objet d'un suivi du remplissage interstitiel en fines, en différents endroits, forme fluviale et chenaux. Le fait d'avoir un référentiel permet d'émettre des hypothèses et de comparer les effets potentiels d'un événement hydrologique.

Un tel référentiel de la composition de la subsurface présentent également un intérêt à être couplé avec un inventaire et une analyse des macro-invertébrés benthiques. Selon l'objectif d'évaluation des habitats benthiques du vieux Rhône, une méthodologie sera à déployer. Pour ce faire, un travail avec des hydroécologues et hydrobiologistes sera nécessaire, afin de poser des hypothèses et un protocole adapté et pertinent (e.g., prélèvement au droit des sites, freeze-coring, score d'habitabilité).

6. Bibliographie

- Acornley R.M., Sear D.A. (1999). Sediment transport and siltation of brown trout (*Salmo trutta* L.) spawning gravels in chalk streams. *Hydrological Processes*, 13(3), 447-458.
- Bunte K. (2004). *Gravel mitigation and augmentation below hydroelectric dams: a geomorphological perspective*. State of the Science Review.
- Bunte K., Abt S. (2001). *Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics and streambed monitoring*. General Technical Report, United States Department of Agriculture, Forest Service, 428 p.
- Church, M., McLean D.G., Walcott J.F. (1987). River bed gravels: sampling and analysis. In: *Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers*, Thorne C.R., Bathurst J.C., Hey R.D. (eds.), John Wiley and Sons, Chichester, p. 43 – 88.
- Descloux S., Detry T., Philippe M., Marmonier P. (2010). Comparison of different techniques to assess surface and subsurface streambed colmation with fine sediments. *International Review of Hydrobiology*, 95, 520-540.
- Greig S.M., Sear D.A., Carling P.A. (2005). The impact of fine sediment accumulation on the survival of incubating salmon progeny: Implications for sediment management. *Science of the Total Environment*, 344(1-3), 241-258.
- Greig S.M., Sear D.A., Carling P.A. (2007). A review of factors influencing the availability of dissolved oxygen to incubating salmonid embryos. *Hydrological Processes*, 21(3), 323-334.
- Lambert C.P., Walling D.E. (1988). Measurement of channel storage of suspended sediment in a gravel-bed river. *Catena*, 15 (1), 65-80.
- Lisle T.E. (1989). Sediment transport and resulting deposition in spawning gravels, north coastal California. *Water Resources Research*, 25(6), 1303-1319.
- Mac Neil W.J., Ahnell W.H. (1964). Success of pink salmon spawning relative to size of spawning bed materials. U.S. Fish and Wildlife Service Special Scientific Report. *Fisheries* 469.
- Maridet L., Wasson J., Philippe M. (1992). Vertical distribution of fauna in the bed sediment of three running water sites: influence of physical and trophic factors. *Regulated Rivers*, 7: 45-55. <https://doi.org/10.1002/rrr.3450070107>
- Maridet L., Wasson J.G., Philippe M., Amoros C. (1995). Benthic organic matter dynamics in three streams: riparian vegetation or bed morphology control? *Archiv für Hydrobiologie*, 132: 415-425. DOI: 10.1127/archiv-hydrobiol/132/1995/415
- Masquelier, F. (2022). *Évaluation des stocks de sable dans le Rhône en amont de Lyon*. Rapport de master INRAE, 77 p.

- Parrot E. (2015). *Analyse spatio-temporelle de la morphologie du chenal du Rhône du Léman à la Méditerranée*. Thèse de Doctorat, Géomorphologie fluviale, Université Jean Moulin (Lyon 3), 2015. <http://www.theses.fr/2015LYO30054/document>
- Peeters A., Houbrechts G., de le Court B., Hallot E., Van Campenhout J., Petit F. (2021). Suitability and sustainability of spawning gravel placement in degraded river reaches, Belgium. *Catena*, 201, 105217. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105217>
- Peeters A., Cassel M., Navratil O., Vázquez-Tarrío D., et al. (2022). *Suivis des enregistrements RFID et géophones. Synthèse des campagnes de terrain*. Rapport scientifique intermédiaire. Observatoire des Sédiments du Rhône - 6e programme d'action. 34p. <https://hal.science/OSR/hal-03750532v1>
- Petit F. (1988). Phénomènes influençant la mise en mouvement et le transport des particules en rivières naturelles. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 32, 299-310.
- 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*, 209-226. [doi:10.1016/0341-8162\(95\)00047-X](https://doi.org/10.1016/0341-8162(95)00047-X)
- Rex J.F., Petticrew E.L. (2011). Fine Sediment Deposition at Forest Road Crossings: An Overview and Effective Monitoring Protocol. In *Sediment Transport in Aquatic Environments*, edited by Andrew Manning. London: IntechOpen, 2011. 10.5772/24275
- Rice S.P., Church M., 1998. Grain size along two gravel-bed rivers: statistical variation, spatial pattern and sedimentary links. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 345-363.
- Surian N., 1999. Channel changes due to river regulation: the case of the Piave River, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24: 1135-1151.
- Vázquez-Tarrío D., Cassel M., Piégay H., Depret T., Arnaud F., et al. (2021). *Suivi de l'effet morphologique du démantèlement des marges : validation des estimations de charriage par des observations in situ*. Rapport Final. Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR), 5^{ème} Programme d'Actions. <https://hal.science/OSR/hal-03291004/>
- Wood P.J., Armitage P.D. (1997). Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental Management*, 21(2), 203-217.
- Young M.K., Hubert W.A., Wesche T.A. (1991). Biases associated with four stream substrate samplers. *Can J Fish Aquat Sci* 48:1882-1886. DOI: 10.1139/f91-223

7. Annexes

Annexe I : données environnementales et de prélèvement (C1 à C7)

Camp.	Date	Site	Station	Prélèvem.	heau CE (cm)	v10cm (cm/s)	Masse (kg)	Masse (kg)	% + gros élément		
C1	07/10/2021	Chautagne	CHA	1	-	-	5,14	18,29	7,87		
C1	07/10/2021			2	-	-	6,15				
C1	07/10/2021			3	-	-	7,00				
C2	01/12/2021			1	24	35	6,97	17,76	5,42		
C2	01/12/2021			2	27	45	4,62				
C2	01/12/2021			3	19	50	6,17				
C3	28/02/2022			1	38	80	5,69	22,04	5,58		
C3	28/02/2022			2	41	52	7,48				
C3	28/02/2022			3	31	75	8,87				
C4	19/05/2022			1	33	96	6,66	17,77	5,35		
C4	19/05/2022			2	45	100	5,68				
C4	19/05/2022			3	46	77	5,43				
C6	28/11/2022			1	18	52	5,34	17,07	17,14		
C6	28/11/2022			2	16	65	5,59				
C6	28/11/2022			3	18	35	6,14				
C7	23/01/2023			1	13	46	4,63	15,73	2,80		
C7	23/01/2023			2	14	-	5,18				
C7	23/01/2023			3	12	48	5,92				
C1	24/09/2021			Belley amont	BEL PAM	1	-	-	7,46	24,85	-
C1	24/09/2021					2	-	-	7,61		
C1	24/09/2021					3	-	-	9,78		
C1	24/09/2021	Belley aval	BEL PAV	1	-	-	7,32	21,23	-		
C1	24/09/2021			2	-	-	7,37				
C1	24/09/2021			3	-	-	6,55				
C2	01/12/2021			1	18	30	6,93	22,91	2,25		
C2	01/12/2021			2	15	35	8,69				
C2	01/12/2021			3	13	40	7,29				
C3	28/02/2022			1	17	55	8,65	23,95	2,55		
C3	28/02/2022			2	17	40	8,11				
C3	28/02/2022			3	17	30	7,18				
C4	19/05/2022			1	23	56	7,32	21,29	3,36		
C4	19/05/2022			2	23	60	7,38				
C4	19/05/2022			3	26	56	6,59				
C5	18/08/2022			1	23	-	6,33	19,16	3,94		
C5	18/08/2022			2	15	-	6,74				
C5	18/08/2022			3	12	-	6,08				
C6	29/11/2022			1	9	17	7,33	21,04	2,28		

C6	29/11/2022			2	12	57	7,07		
C6	29/11/2022			3	16	34	6,65		
C2	02/12/2021	Neyron amont	LYM_PAM	1	16	95	6,48	17,73	1,55
C2	02/12/2021			2	15	95	5,37		
C2	02/12/2021			3	11	90	5,88		
C3	04/03/2022			1	17	30	9,33	22,64	9,50
C3	04/03/2022			2	30	45	6,89		
C3	04/03/2022			3	35	40	6,42		
C4	25/05/2022			1	18	12	6,74	19,61	3,19
C4	25/05/2022			2	30	13	6,69		
C4	25/05/2022			3	40	16	6,18		
C5	24/08/2022			1	13	-	6,70	20,63	8,17
C5	24/08/2022			2	26	-	6,84		
C5	24/08/2022			3	33	-	7,09		
C6	30/11/2022			1	13	45	5,42	17,52	5,02
C6	30/11/2022			2	3	55	5,99		
C6	30/11/2022			3	26	62	6,11		
C7	24/01/2023			1	33	53	6,15	18,17	2,41
C7	24/01/2023			2	36	56	5,84		
C7	24/01/2023			3	31	70	6,18		
C1	22/09/2021			1	-	-	8,63	23,59	-
C1	22/09/2021			2	-	-	7,88		
C1	22/09/2021			3	-	-	7,07		
C1	22/09/2021	Neyron aval	LYM_PAV	1	-	-	7,88	24,12	-
C1	22/09/2021			2	-	-	6,48		
C1	22/09/2021			3	-	-	9,77		
C2	02/12/2021	Pierre-Bénite	PBN	1	32	10	6,88	21,71	12,81
C2	02/12/2021			2	28	9	6,27		
C2	02/12/2021			3	15	5	8,55		
C3	01/03/2022			1	29	10	4,23	18,37	8,14
C3	01/03/2022			2	44	11	6,73		
C3	01/03/2022			3	40	10	7,42		
C4	20/05/2022			1	24	3	8,18	22,58	19,25
C4	20/05/2022			2	26	5	6,36		
C4	20/05/2022			3	31	3	8,04		
C5	18/08/2022			1	28	-	6,30	17,94	9,42
C5	18/08/2022			2	15	-	5,01		
C5	18/08/2022			3	9	-	6,63		
C6	30/11/2022			1	20	-	7,56	21,91	4,36
C6	30/11/2022			2	27	9	6,51		
C6	30/11/2022			3	36	13	7,84		
C7	24/01/2023			1	36	11	4,02	14,68	9,88
C7	24/01/2023			2	31	8	6,45		

C7	24/01/2023			3	25	8	4,21		
C4	20/05/2022	Péage de Roussillon	PDR	1	24	25	7,36	20,38	10,04
C4	20/05/2022			2	26	20	6,89		
C4	20/05/2022			3	28	16	6,13		
C5	19/08/2022			1	47	-	7,31	18,84	18,34
C5	19/08/2022			2	38	-	5,58		
C5	18/08/2022			3	40	-	5,95		
C6	17/11/2022			1	42	27	5,50	15,62	11,67
C6	17/11/2022			2	38	21	4,76		
C6	17/11/2022			3	37	23	5,36		
C7	25/01/2023			1	33	31	6,88	18,16	9,42
C7	25/01/2023			2	28	22	5,59		
C7	25/01/2023			3	23	6	5,69		
C1	15/10/2021	Péage de Roussillon Amont pavée	PDR PAMp	1	-	-	4,27	14,55	-
C1	15/10/2021			2	-	-	5,72		
C1	15/10/2021			3	-	-	4,55		
C2	03/12/2021	Péage de Roussillon amont	PDR PAM	1	24	2	7,48	20,80	5,55
C2	03/12/2021			2	21	3	5,36		
C2	03/12/2021			3	20	2	7,95		
C3	01/03/2022			1	10	69	8,08	20,61	2,72
C3	01/03/2022			2	24	97	5,13		
C3	01/03/2022			3	20	67	7,40		
C4	20/05/2022			1	34	74	7,71	21,60	3,03
C4	20/05/2022			2	25	63	7,02		
C4	20/05/2022			3	14	58	6,87		
C5	19/08/2022			1	43	-	5,71	16,76	2,21
C5	19/08/2022			2	40	-	5,00		
C5	19/08/2022			3	44	-	6,05		
C6	17/11/2022			1	9	20	6,85	13,66	8,40
C6	17/11/2022			2	5	18	6,81		
C6	17/11/2022			3	12	14	6,28		
C7	25/01/2023			2	17	66	7,37	19,03	5,17
C7	25/01/2023			3	13	52	5,39		
C1	15/10/2021			Péage de Roussillon aval	PDR PAV	1	-	-	6,44
C1	15/10/2021	2	-			-	6,48		
C1	15/10/2021	3	-			-	9,11		
C2	03/12/2021	1	24			30	9,04	27,79	8,58
C2	03/12/2021	2	25			52	9,50		
C2	03/12/2021	3	19			39	9,26		
C1	29/10/2021	Drôme	DRO	1	-	-	6,71	21,37	5,24
C1	29/10/2021			2	-	-	8,36		

C1	29/10/2021			3	-	-	6,30		
C3	02/03/2022			1	34	83	5,07		
C3	02/03/2022			2	14	69	6,48	17,95	2,82
C3	02/03/2022			3	18	-	6,40		
C4	24/05/2022			1	11	54	6,74		
C4	24/05/2022			2	23	58	5,18	18,64	3,14
C4	24/05/2022			3	16	38	6,72		
C5	22/08/2022			1	6	-	5,66		
C5	22/08/2022			2	10	-	6,15	17,58	2,47
C5	22/08/2022			3	5	-	5,76		
C6	16/11/2022			1	42	20	4,83		
C6	16/11/2022			2	34	32	5,53	16,64	2,79
C6	16/11/2022			3	41	43	6,28		
C7	07/02/2023			1	7	33	5,82		
C7	07/02/2023			2	8	45	7,92	20,77	4,56
C7	07/02/2023			3	8	62	7,02		
C2	21/12/2021			1	36	70	6,45		
C2	21/12/2021			2	41	67	7,02	20,65	9,41
C2	21/12/2021			3	43	92	7,19		
C3	02/03/2022			1	32	33	6,11		
C3	02/03/2022			2	41	25	6,92	20,44	13,67
C3	02/03/2022			3	30	55	7,41		
C4	24/05/2022			1	28	75	7,90		
C4	24/05/2022			2	28	64	6,26	21,75	7,43
C4	24/05/2022	Baix-le-Logis-Neuf	BLN	3	23	44	7,59		
C5	23/08/2022			1	39	-	5,80		
C5	23/08/2022			2	41	-	4,41	16,50	7,30
C5	23/08/2022			3	26	-	6,29		
C6	17/11/2022			1	38	51	5,11		
C6	17/11/2022			2	32	52	7,59	19,29	5,37
C6	17/11/2022			3	23	35	6,59		
C7	08/02/2023			1	39	61	5,90		
C7	08/02/2023			2	36	59	5,97	18,70	9,22
C7	08/02/2023			3	40	74	6,83		
C1	28/10/2021			1	-	-	7,94		
C1	28/10/2021			2	-	-	6,95	20,47	4,54
C1	28/10/2021			3	-	-	5,58		
C2	21/12/2021			1	32	18	8,73		
C2	21/12/2021	Donzère-Mondragon Amont	DZM PAM	2	22	27	9,39	25,53	6,84
C2	21/12/2021			3	38	52	7,40		
C3	02/03/2022			1	35	45	7,78		
C3	02/03/2022			2	34	32	6,55	19,87	9,47
C3	02/03/2022			3	26	25	5,55		
C4	23/05/2022			1	33	89	7,50	23,05	9,99

C4	23/05/2022			2	35	145	8,20				
C4	23/05/2022			3	26	113	7,35				
C5	22/08/2022			1	23	-	6,26	18,88	6,06		
C5	22/08/2022			2	25	-	5,74				
C5	22/08/2022			3	25	-	6,87				
C6	16/10/2022			1	34	-	6,47	17,81	10,11		
C6	16/10/2022			2	31	46	5,76				
C6	16/10/2022			3	30	44	5,58				
C7	07/02/2023			1	35	35	4,82	13,23	6,27		
C7	07/02/2023			2	29	36	3,60				
C7	07/02/2023			3	36	33	4,81				
C1	28/10/2021	<i>Donzère- Mondragon aval</i>	DZM PAV	1	-	-	9,36	23,14	5,75		
C1	28/10/2021			2	-	-	7,16				
C1	28/10/2021			3	-	-	6,62				
C2	21/12/2021					1	15	14	6,42	18,35	16,20
C2	21/12/2021					2	19	18	6,58		
C2	21/12/2021					3	22	34	5,36		
C3	02/03/2022					1	27	125	7,15	21,33	3,91
C3	02/03/2022					2	27	160	7,77		
C3	02/03/2022					3	27	75	6,41		
C4	23/05/2022					1	28	48	9,02	23,73	8,96
C4	23/05/2022					2	39	64	7,05		
C4	23/05/2022					3	33	26	7,65		
C5	22/08/2022					1	33	-	7,26	17,74	7,97
C5	22/08/2022					2	38	-	5,60		
C5	22/08/2022					3	25	-	4,87		
C6	16/10/2022					1	22	66	5,85	16,22	14,21
C6	16/10/2022					2	21	98	5,21		
C6	16/10/2022					3	23	100	5,16		
C7	07/02/2023					1	19	82	6,47	16,67	9,72
C7	07/02/2023					2	19	94	5,11		
C7	07/02/2023					3	23	96	5,08		



Observatoire des Sédiments du Rhône

Dispositifs scientifiques cadres



Partenaires scientifiques



Partenaires techniques et financiers

