

Suivi des enregistrements géophone et RFID. Synthèse des campagnes de terrain. OSR6 | Axe C - Action C3 | Rapport scientifique intermédiaire

Alexandre Peeters, Mathieu Cassel, O. Navratil, Daniel Vazquez-tarrio, Franck Perret, Bastien Bourjaillat, Kristell Michel, Nicolas Tissot, Hervé Parmentier, Hervé Piégay, et al.

▶ **To cite this version:**

Alexandre Peeters, Mathieu Cassel, O. Navratil, Daniel Vazquez-tarrio, Franck Perret, et al.. Suivi des enregistrements géophone et RFID. Synthèse des campagnes de terrain. OSR6 | Axe C - Action C3 | Rapport scientifique intermédiaire. [Rapport de recherche] CNRS; CNR; Réserve Naturelle Nationale de l'île de la Platière. 2022. hal-03750532v1

HAL Id: hal-03750532

https://hal.science/hal-03750532v1

Submitted on 12 Aug 2022 (v1), last revised 4 Oct 2023 (v2)

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



Suivi des enregistrements géophone et RFID. Synthèse des campagnes de terrain

OSR6 | Axe C - Action C3 | Rapport scientifique intermédiaire

27/04/2022

Suivi des enregistrements géophone et RFID. Synthèse des campagnes de terrain

Rapport scientifique intermédiaire

Version du 27 avril 2022

Observatoire des Sédiments du Rhône – 6ème programme d'action
Axe C – Développer des méthodes pour restaurer la qualité physique et chimique et évaluer les effets des actions
Action C3 – Evaluation de la durabilité et de la continuité sédimentaire à la suite d'opérations de recharge sédimentaire

Personnes impliquées

Alexandre Peeters (CNRS, UMR5600, EVS) ; Mathieu Cassel (CNRS, UMR5600, EVS) ; Oldrich Navratil (CNRS, UMR5600, EVS) ; Daniel Vázquez-Tarrío (CNRS, UMR5600, EVS) ; Franck Perret (CNRS, UMR5600, EVS) ; Bastien Bourjaillat (CNRS, UMR5600, EVS) ; Kristell Michel (CNRS, UMR5600, EVS) ; Nicolas Tissot (CNRS, UMR5600, EVS) ; Hervé Parmentier (CNRS, UMR5600, EVS) ; Hervé Piégay (CNRS, UMR5600, EVS)

Christophe Mora (CNR, RIDG) ; Alexandre Falgon (CNR, RIDG) ; Manon Bounous (Réserve Naturelle Nationale de l'île de la Platière) ; Bernard Pont (Réserve Naturelle Nationale de l'île de la Platière)

Pour citer ce rapport

Peeters A., Cassel M., Navratil O., Vázquez-Tarrío D. et al., (2022). *Suivi des enregistrements géophone et RFID. Synthèse des campagnes de terrain*. Rapport scientifique intermédiaire. Observatoire des Sédiments du Rhône – 6ème programme d'action. 34 p.

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

Résumé

L'objectif de cette action est de mieux évaluer la durabilité des opérations de recharge sédimentaire et la longueur du linéaire fluvial qui peut potentiellement en bénéficier. Les deux approches qui sont couplées pour répondre à cet objectif sont : (i) le monitoring du flux sédimentaire par l'utilisation des traceurs RFID et des géophones « low cost », et (ii) la modélisation morphodynamique. Ce rapport concerne la première approche. Durant cette première année, cinq relevés RFID ont été réalisés et deux stations géophone ont été installées.

Les relevés RFID ont fourni de nouvelles données de distance de transport de la charge de fond. Ces dernières seront par la suite utilisées pour affiner le modèle hydro-sédimentaire qui fournira des éléments de réponse aux questions relatives à la durabilité des actions de recharge sédimentaire. Le relevé réalisé à Péage-de-Roussillon a fourni quant à lui des données de distances de transport pour une opération de démantèlement de casiers (réactivation de la dynamique sédimentaire par érosion de berge). Il montre que les traceurs ont parcouru une distance moyenne de 40 m et une distance maximale de 475 m sur une période de 3 ans, ce qui est beaucoup moins que pour les actions de recharge sédimentaire réalisées dans le chenal principal.

Quant aux géophones, deux dispositifs ont été installés à Jons sur le canal de Miribel. Les premières données sismiques enregistrées font état de difficultés métrologiques et techniques inhérentes aux approches de terrain. Elles montrent notamment une variabilité du signal liée non seulement au débit mais aussi au fonctionnement des vannes du barrage. Trois dispositifs seront mis en place en mai 2022 à Baix sur le Vieux Rhône de Baix-le-Logis-Neuf, au droit de trois zones de recharge sédimentaire récente.

Mots-clés

Observatoire ; Sédiments ; Rhône ; Charriage ; Recharge sédimentaire ; Géophone ; RFID

Table des matières

1. Introduction 5

2. Suivi des RFID : présentation et synthèse des dernières campagnes de terrain 7

2.1 Le Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon : l'île des Graviers 7

2.1.1 Action de restauration et premiers suivis RFID 7

2.1.2 Nouveau relevé RFID 10

2.2 Le Vieux Rhône de Donzère-Mondragon : l'île des Dames 18

2.2.1 Action de restauration et premiers suivis RFID 18

2.2.2 Nouveau relevé RFID 21

2.3 Autres sites suivis 25

3. Suivi par géophone : mise en place des dispositifs 27

3.1 Le canal de Miribel et le barrage de Jons 27

3.2 Le Vieux Rhône de Baix-le-Logis-Neuf 28

4. Travail en cours et perspectives 31

5. Bibliographie 32

1. Introduction

Le présent rapport fait état des travaux menés entre avril 2021 et mars 2022 dans le cadre de l'action C3 du programme OSR6. L'objectif de cette action est de mieux évaluer la durabilité des actions de recharge sédimentaire et la longueur du linéaire fluvial qui peut potentiellement bénéficier de ces actions.

Pour répondre à cet objectif, deux approches sont couplées : (i) le monitoring du flux sédimentaire par l'utilisation des traceurs RFID et des géophones « low cost », et (ii) la modélisation morphodynamique. L'intérêt de ce couplage est de valider les prédictions de charriage (en termes de distances et de transport solide par classe granulométrique) par un suivi du transport solide *in situ*, et ce afin de pouvoir utiliser ces modèles pour établir des scénarios de restauration. En plus de l'objectif général de cette action qui concerne la durabilité des actions de recharge, plusieurs questions de recherche sont également sous-tendues par cette double approche :

- Comment fonctionne le transport de la charge de fond au niveau des retenues ? Quelle est le degré de transparence sédimentaire des retenues ? Pour répondre à ces questions, une étude plus fine du transport solide au niveau de la retenue de Jons devrait permettre de valider les modèles (échelle locale) et de mieux évaluer le niveau de fragmentation du Rhône en termes de transit sédimentaire (échelle du cours d'eau) ;
- Est-il possible de prédire l'évolution à moyen et à long terme de la continuité sédimentaire du Rhône suite à différents scénarios d'injection ou de gestion des ouvrages dans un continuum affluent-fleuve-embouchure ? Dans ce cas, les suivis opérés sur les 5 Rhône court-circuités de ce travail apporteront des éléments de réponse.

Un autre objectif de ce travail est de coupler le suivi par traçage sédimentaires RFID avec le suivi par géophone ; ceci afin de déterminer les conditions de transfert des sédiments réinjectés (soit par érosion latérale soit par injection mécanique) le long des tronçons court-circuités et au travers des retenues. Grâce à sa capacité de déterminer le déplacement de particules individuelles le long du cours d'eau, le suivi RFID devrait permettre d'évaluer (i) les distances de transport en fonction de l'intensité des événements de crue, (ii) le temps nécessaire à l'évacuation complète de la charge injectée en dehors du tronçon court-circuité et (iii) la possibilité de transit dans les réservoirs aval. D'autre part, les chroniques sismiques obtenues par les géophones fournissent un proxy du flux sédimentaire qui devrait permettre (i) de détecter les périodes avec un transport solide actif et les périodes sans transport solide (vidange du système) et (ii) de quantifier la dynamique de charriage (e.g. estimation du seuil de mise en mouvement, des flux charriés et leur variabilité). Si ce couplage s'avère être concluant, l'utilisation des géophones devrait à terme remplacer le suivi RFID pour les monitorings au long cours car elle est beaucoup moins coûteuse et chronophage que le suivi RFID. Les différents sites d'étude concernés par cette approche sont détaillés au

Tableau 1.

L'action s'appuie également sur une modélisation morphodynamique (2ème approche utilisée pour évaluer la durabilité des actions de recharge sédimentaire). Elle est conduite par le CEREGE et fait l'objet d'un rapport spécifique (Serlet et al., 2022).

Tableau 1. Sites d'étude et caractéristiques des actions de restauration et des suivis

RCC	*Site*	*Action de restauration*	Enjeux	Date d'intervention	Volume de la recharge (m^3)	Suivi RFID (+ nombre de relevés prévus dans OSR6)	Date injection RFID (+ nombre de traceurs)	Suivi géophone (+ nombre de dispositifs)
CHA	*Motz*	*Recharge sédimentaire*	*Efficacité de la recharge sédimentaire*	*nov. - déc. 2016*	*15000*	*oui (2)*	*21/12/2016 (991)*	
LYM	*Jons*	*NA*	*Quantification du charriage, évaluation de la transparence sédimentaire du réservoir*	*NA*	*NA*	*oui (2)*	*Oct. 2016 (200) & août 2020 (199)*	*oui (2 en place)*
	Neyron	*NA*	*Quantification du charriage (+ répartition entre Canal de Miribel et Vieux Rhône de Neyron)*	*NA*	*NA*	*oui (0)*	*Janvier 2017 (100)*	
PDR	*La Platière*	*Recharge sédimentaire*	*Efficacité de la recharge sédimentaire*	*déc. 2016 - mars 2017*	*7000*	*oui (1)*	*14/03/2017 (991)*	
	île des Graviers	*Démantèlement des casiers*	*Réactivation de la dynamique sédimentaire*	*déc. 2016 - mars 2017 (+ déc. 2018)*	*NA*	*oui (1)*	*05/02/2019 (999)*	
BLN	Baix	*Recharge sédimentaire*	*Efficacité de la recharge sédimentaire*	*nov. 2021*	*12000*	*planifié par la CNR*		*oui (3 prévus)*
DZM	*île des Dames*	*Recharge sédimentaire*	*Efficacité de la recharge sédimentaire*	*jan. 2019*	*30000*	*oui (1)*	*Avril 2019 (1199)*	

2. Suivi des RFID : présentation et synthèse des dernières campagnes de terrain

2.1 Le Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon : l'île des Graviers

2.1.1 Action de restauration et premiers suivis RFID

Dans le Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon, un linéaire de 1200 m de berge a été désartificialisé à l'intérieur du périmètre de la Réserve Naturelle de la Platière (en rive gauche du Vieux Rhône, au niveau de l'île des Graviers). Le démantèlement des casiers de la berge entrepris par la CNR entre décembre 2016 et mars 2017 avait pour objectif de réactiver la dynamique sédimentaire par érosion de berge, ce qui devrait avoir pour effet d'améliorer les habitats aquatiques dans le Vieux Rhône. Il faut également noter que, suite aux premières crues post-travaux (hiver 2017-2018), de nouveaux blocs d'enrochement ont été exhumés, ce qui a nécessité une nouvelle intervention en décembre 2018 destinée à rompre la carapace en formation et à réactiver davantage les processus de remise en mouvement des particules.

Afin de mieux comprendre et évaluer la réactivation du transport sédimentaire et l'érosion de la berge après le démantèlement des casiers, un suivi RFID avait été mis en place en 2019 dans le cadre de l'action A.2.4 du programme OSR5 ; ceci en étroite collaboration avec les gestionnaires de la Réserve Naturelle (Vázquez-Tarrío et al., 2021). Ainsi, 999 traceurs équirépartis entre quatre classes granulométriques (Tableau 2) ont été déployés le 5 février 2019 (S0) sur cinq zones réparties d'amont en aval le long de la zone de réactivation de la berge restaurée en rive gauche du chenal (Figure 1).

Tableau 2. L'Île des Graviers : répartition par classes granulométriques des traceurs injectés

Classes granulométriques (mm)	16 - 32	32 - 45	45 - 64	64 - 90	Total
Nb de traceurs	250	250	249	250	999
Part des traceurs	25%	25%	25%	25%	
Fréquences cumulées	0.25	0.50	0.75	1	



Figure 1. L'Île des Graviers : (A) localisation des sites d'injection des traceurs RFID ; (B) répartition par classes granulométriques

Par la suite, deux relevés de la position des traceurs (S1 et S2) ont été effectués (Figure 2 et Tableau 3).

Un premier suivi (S1) a été réalisé le 29 janvier 2020, à la suite d'une activité hydrologique caractérisée par 3 petites crues (Q < Qc) et une crue plus importante dont le débit maximal (1458 m²/s) a légèrement dépassé le Qc. La mobilisation engendrée par ces crues a été relativement modeste, avec 40 traceurs mobilisés (sur 789) et une distance moyenne de 8,8 m. Quelques particules, essentiellement dans la classe granulométrique 18-32 mm, ont néanmoins parcouru des distances plus importantes, jusqu'à 129 m (distance maximale). Cette faible mobilisation conforte les estimations de débit critique de mise en mouvement calculées à partir des formules de Schoklitsch adimensionnel (Qc= 1343 m³/s) et Bathurst (Qc = 1453 m³/s) (Vázquez Tarrío et al., 2021). En outre, ce relevé a permis de mener une analyse de l'incertitude de positionnement des particules (basée sur la position des doublons) et de déterminer une valeur seuil de mobilisation. Ainsi, un déplacement d'une particule doit être supérieur à 17,6 m pour considérer sa distance comme résultant effectivement d'un transport (Cassel et al., 2019).

Un deuxième suivi (S2) a été réalisé les 14 et 15 octobre 2020, après une période marquée par une seule crue mobilisatrice dont le débit a atteint 2117 m³/s. Malgré ce débit plus important, les déplacements mesurés lors de ce deuxième suivi sont légèrement plus faibles que pour le

suivi S1, avec des distances moyenne et maximale de respectivement 5,6 m et 93 m. Seulement 6 % des particules retrouvées se sont déplacées de 17,6 m ou plus. Comparé au relevé S1, cette faible mobilisation pourrait s'expliquer par un degré d'imbrication plus important des traceurs au sein des sédiments autochtones du bras restauré.

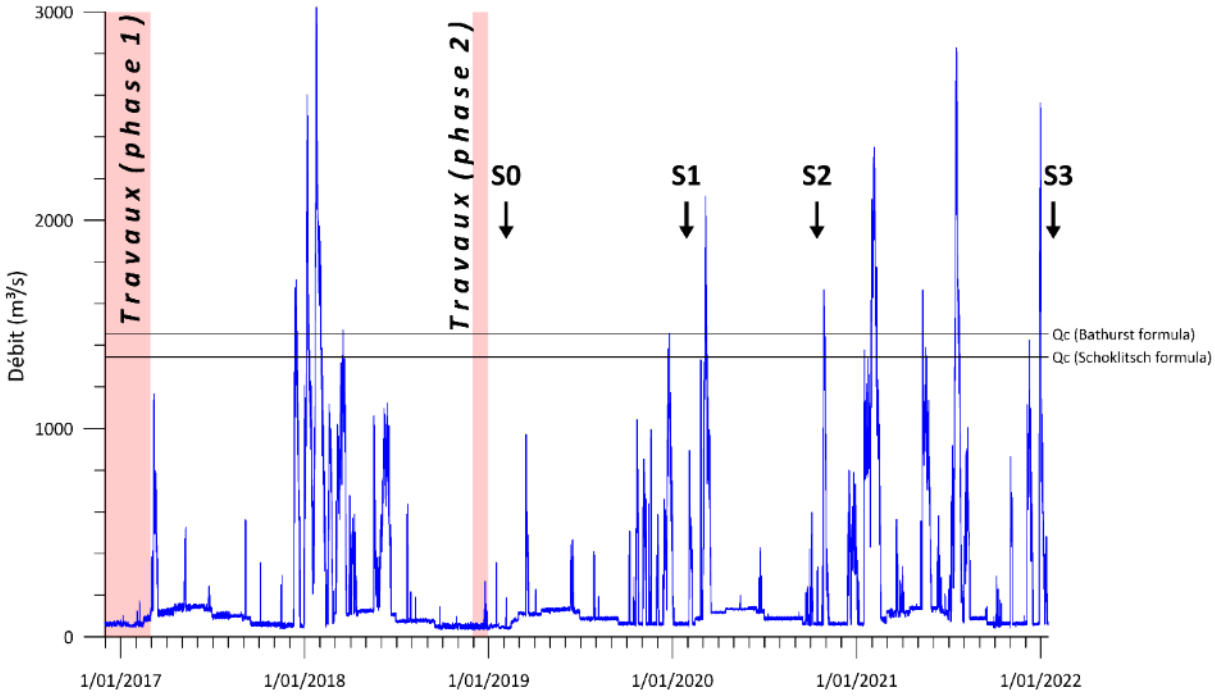


Figure 2. L'Île des Graviers : hydrogramme et relevés RFID. Débits horaires fournis par la CNR (station limnigraphique située en aval du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf)

Tableau 3. L'Île des Graviers : caractéristiques des prospections et des périodes hydrologiques associées aux relevés RFID

n°	Date	Temps de prospection (h)	Surface prospectée (ha)	Nbre d'éléments retrouvés	% de retour	Nbre d'événements > Qc	Q_{max} (m³/s) + date du Q_{max}	ω pour Q_{max} (W/m²)
S1	29/01/2020	15	1,8	655	65	1	1458 (25/12/2019)	59
S2	14-15/10/2020	9	1,8	254	25	1	2117 (6/03/2020)	86
S3	26 et 31/01/2022	12.5	3,4	631	63	5	2828 (17/07/2021)	115

2.1.2 Nouveau relevé RFID

Prospection

Un nouveau relevé (S2) a été réalisé les 26 et 31 janvier 2022 à la suite d'une période hydrologique caractérisée par 5 crues mobilisatrices, la plus importante d'entre-elles ayant atteint un débit de 2828 m^3/s (Figure 2 et Tableau 3). Le relevé a été réalisé en collaboration avec le personnel de la Réserve Naturelle de la Platière. Il a mobilisé 3 opérateurs durant 2 jours, ce qui correspond approximativement à 12,5 h de temps de prospection. Le matériel utilisé comprend le boitier de lecture RFID, auquel a été couplé un système complémentaire développé par DATAMAX Electronique en partenariat avec la CNR. Ce système permet, non seulement d'identifier les traceurs, mais aussi de les géolocaliser (GPS intégré) et de les inventorier (horodatage des données dans la mémoire intégrée). La prospection a nécessité l'utilisation de 2 antennes :

- une grande antenne, de forme rectangulaire (2,1 m sur 0,5 m), a été utilisée sur la plupart des bancs émergés et dans les zones de faible profondeur ;
- une petite antenne, de forme circulaire (0,5 m de diamètre), s'est avérée plus appropriée lorsque la végétation des bancs était trop contraignante (végétation ligneuse ne permettant pas de tracter la grande antenne).

De la sorte, le secteur restauré a été finement prospecté, fournissant un taux de récupération de 63 %. Seules quelques zones, trop profondes, n'ont pas pu être inspectées (Figure 3). Elles feront l'objet d'une prospection en bateau lorsque le débit réservé sera plus élevé, ce qui facilitera la navigation. En outre, la prospection s'est également étendue aux dépôts récents de galets localisés en aval du secteur restauré. Au total, une superficie de 3,4 ha a été couverte.



Figure 3. L'Île des Graviers : zone prospectée

Analyse à l'échelle du secteur

La position des traceurs du relevé S3 est représentée à la Figure 4. L'analyse de la position des traceurs du relevé S3 permet de déduire la position de nombreux traceurs pour les relevés précédents (S1 et S2). Par exemple, si un traceur non identifié en S1 et S2 n'a pas parcouru une distance supérieure au seuil de mobilisation (17,6 m) entre S0 et S3, il sera considéré comme immobile, et sa position en S1 et en S2 sera ainsi déduite. De la sorte, 134 et 303 traceurs ont pu être déduits pour les relevés S1 et S2, respectivement. Ceci permet d'augmenter considérablement le nombre d'éléments pris en compte dans l'analyse, comme l'ont montré précédemment Arnaud et al. (2017) et Peeters et al. (2021).

Le relevé S3 met en évidence une mobilité plus importante que pour les deux relevés précédents (S1 et S2), avec 16 % de traceurs mobiles parmi les traceurs communs avec le relevé S2 (Tableau 4). Les distances moyenne et maximale sont respectivement de 12,7 m et 230 m, ce qui est supérieur aux distances calculées pour les relevés précédents. Ceci est cohérent avec les caractéristiques de la période hydrologique correspondante.

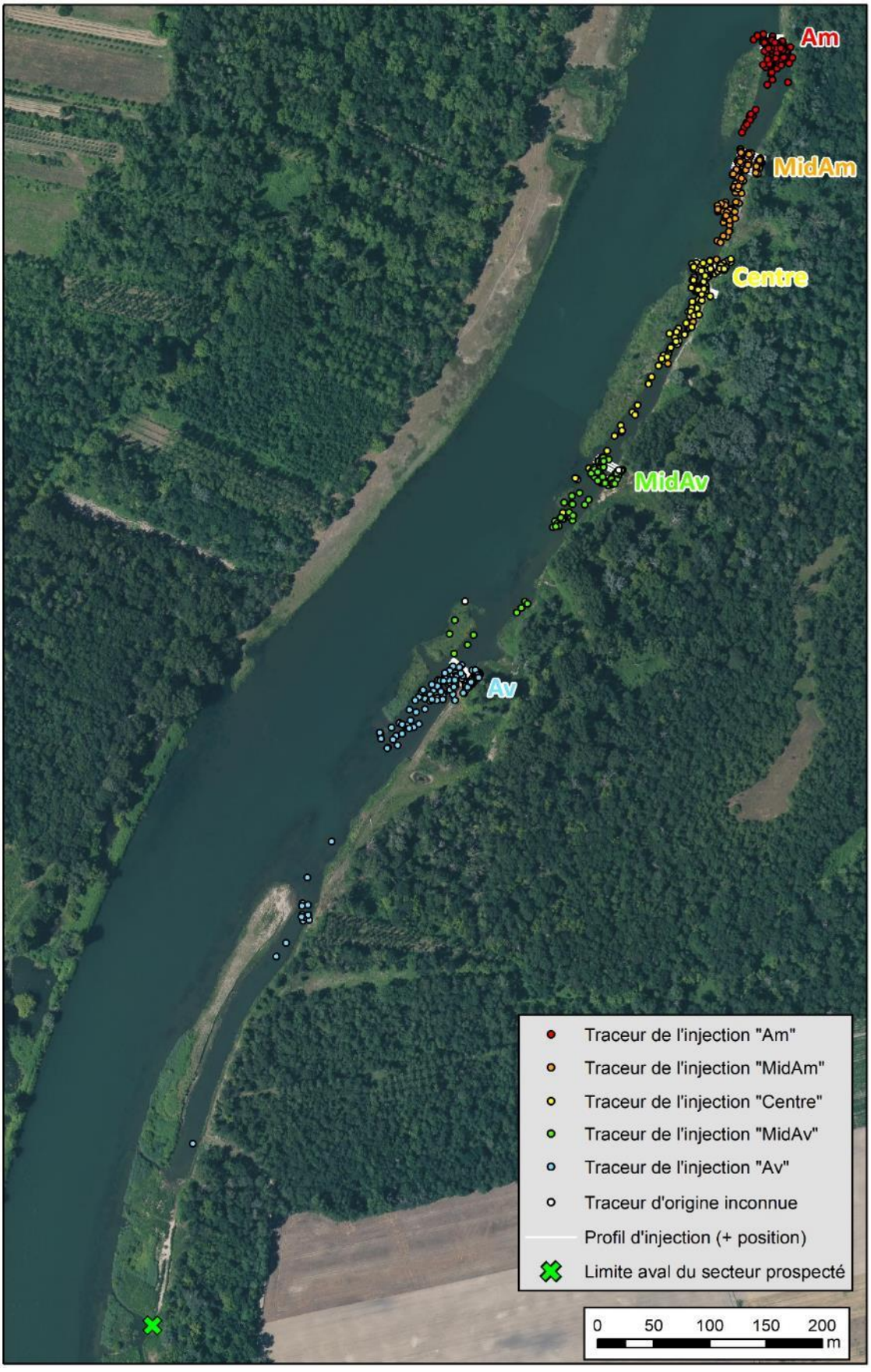


Figure 4. L'Île des Graviers : localisation des traceurs pour le relevé S3

Tableau 4. L'Île des Graviers : synthèse des relevés RFID

n°	Nbre d'élé-ments déduits	Nbre total d'éléments	% de retour (avec éléments déduits)	Nombre d'éléments mobilisés / éléments communs avec levé précédent (%)	Dist. moy. (m)	Dist. max. (m)	$D_{50\ mob.}$ (mm)	$D_{90\ mob.}$ (mm)
S1	134	789	80	40/789 (5)	8.8	129	35	54
S2	303	557	56	31/538 (6)	5.6	93	34	54
S3	NA	631	63	80/500 (16)	12.7	230	41	73

D'une manière générale, ces trois relevés mettent en lumière un transport sédimentaire relativement faible, comparé aux autres secteurs de Rhône court-circuité étudiés, dont celui du même secteur (cf. réinjection de la Platière). Cette différence peut être attribuée à deux facteurs : (i) la position des traceurs en bordure du chenal, où ils sont soumis à des conditions hydrauliques locales probablement atténuées par rapport à celles s'exerçant au centre du chenal (effet de protection possible par les bancs végétalisés), et (ii) la présence d'un nombre inconnu de traceurs initialement injectés sur la berge et au-delà du sommet de la berge. Ces derniers ne semblent pas mobiles, comme l'indiquent les 125 traceurs retrouvés dans cette position en S3, ce qui entraine une sous-estimation de la distance moyenne et, par conséquent, une sous-estimation de la vitesse de transport des sédiments.

Afin de s'affranchir de l'influence des traceurs immobiles situés au-delà du sommet de la berge, le calcul de la distance moyenne a été réitéré sans prendre en compte les 125 traceurs retrouvés sur les berges en S3 (Tableau 5). De la sorte, le relevé S3 présente une mobilité légèrement plus élevée, avec 21 % de particules mobilisées et 15,7 m de distance moyenne. En revanche, ces nouveaux calculs ne modifient presque pas les indicateurs de mobilité pour S1 et S2.

Tableau 5. L'Île des Graviers : synthèse des relevés RFID (en excluant les traceurs situés au-delà du sommet de la berge pour le relevé S3)

n°	Nbre total d'éléments	Nombre d'éléments mobilisés / éléments communs avec levé précédent (%)	Dist. moy. (m)	Dist. max. (m)
S1	665	40/665 (6)	8.8	129
S2	434	31/416 (7)	6.3	93
S3	506	80/377 (21)	15.7	230

Finalement, afin d'avoir une meilleure appréhension de la distance de transport sur le moyen terme (~3 ans), le relevé S3 peut être comparé avec l'injection (S0). Ainsi, sur la base des 506 traceurs retrouvés en S3 (en excluant les traceurs situés au-delà du sommet de la berge), 242 traceurs ont effectué une distance supérieure à 17,6 m, ce qui correspond à 48 % d'éléments

mobilisés. Sur la période de 3 ans, les traceurs ont donc parcouru une distance moyenne de 39,8 m et une distance maximale de 475 m (Tableau 6).

Tableau 6. L'Île des Graviers : comparaison du dernier relevé RFID (S3) avec l'injection (S0) (en excluant les traceurs localisés sur la berge pour le relevé S3)

n°	Nbre total d'éléments	Nombre d'éléments mobilisés / éléments communs avec S0 (%)	Dist. moy. (m)	Dist. max. (m)
S3 vs. S0	506	242/506 (48)	39.8	475

Influence de la taille des particules sur les distances de transport

Cette section vise à (i) déterminer la compétence du Rhône court-circuité et à (ii) évaluer l'influence de la taille des particules sur les distances parcourues.

D'abord, la compétence peut être appréciée en identifiant les plus gros éléments mobilisés. Ainsi, sur la Figure 5, il apparait qu'une particule de 80 mm a été déplacée sur près de 30 m pour le relevé S1 (Q_{max} : 1458 m³/s) et qu'une particule de 90 mm a parcouru 20 m pour le relevé S3 (Q_{max} : 2828 m³/s). En l'absence de traceurs de plus grosse dimension, il n'est pas possible de mieux cerner la compétence du Rhône court-circuité.

Ensuite, il apparait que la taille des particules mobilisées est liée à l'intensité des crues. Ainsi, le relevé S3, consécutif à la crue la plus importante, présente des indices de taille D50 mobilisés et D90 mobilisés plus élevés que pour les relevés S1 et S2 (Tableau 4).

Enfin, ces relevés montrent que les distances de transport sont liées à (i) l'intensité des crues et (ii) à la taille des particules. Sur la Figure 6, le lien avec l'intensité des crues est surtout valable pour les classes granulométriques 18-32 mm et 32-45 mm, et dans une moindre mesure pour la classe granulométrique 64-80 mm. Quant à la relation entre les distances de transport et la taille des particules, elle est bien illustrée par les relevés S1 et S3 sur la Figure 5, où les distances montrent une diminution en fonction de la taille des particules.

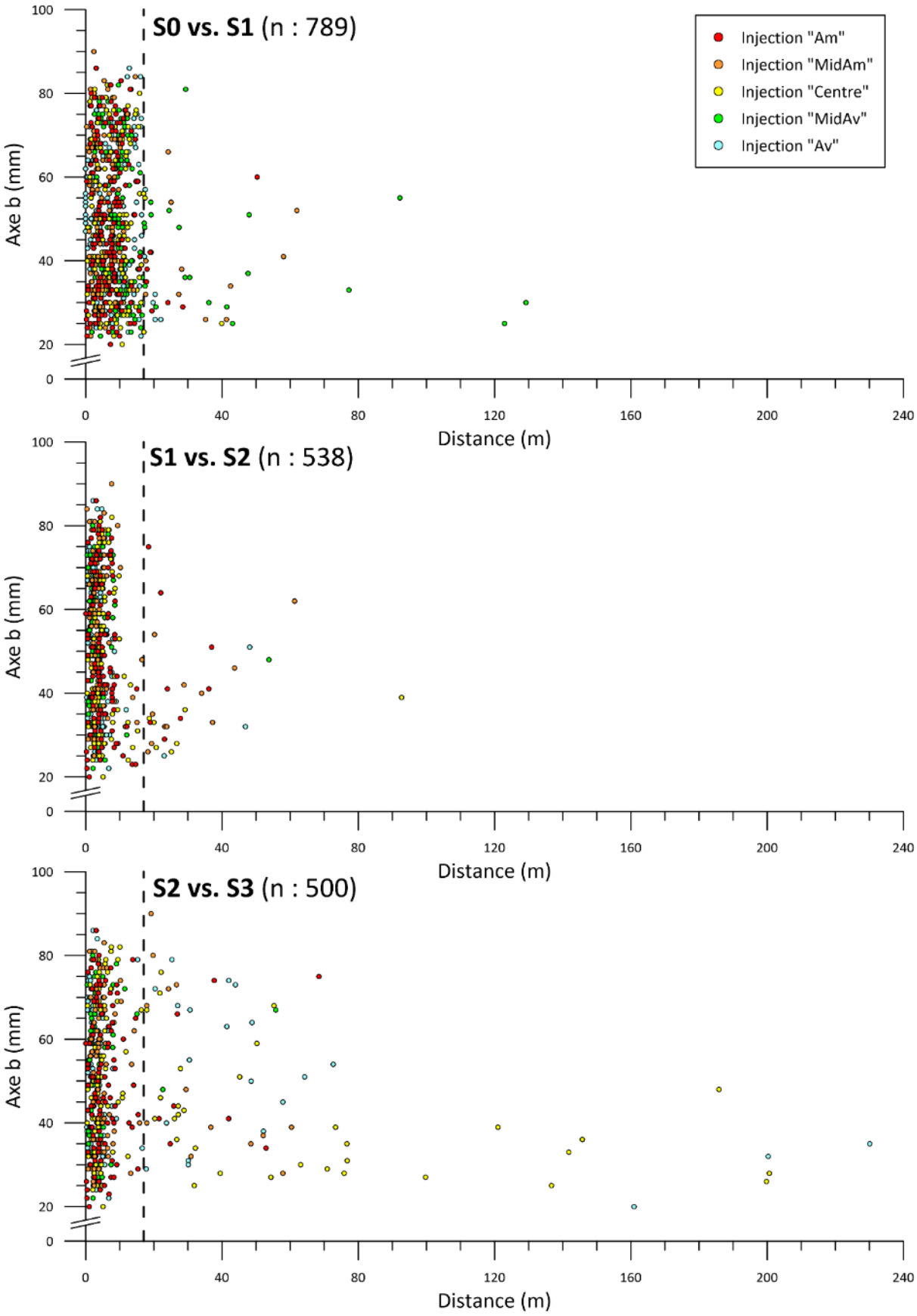


Figure 5. L'Île des Graviers : distances de transport en fonction de la taille des particules

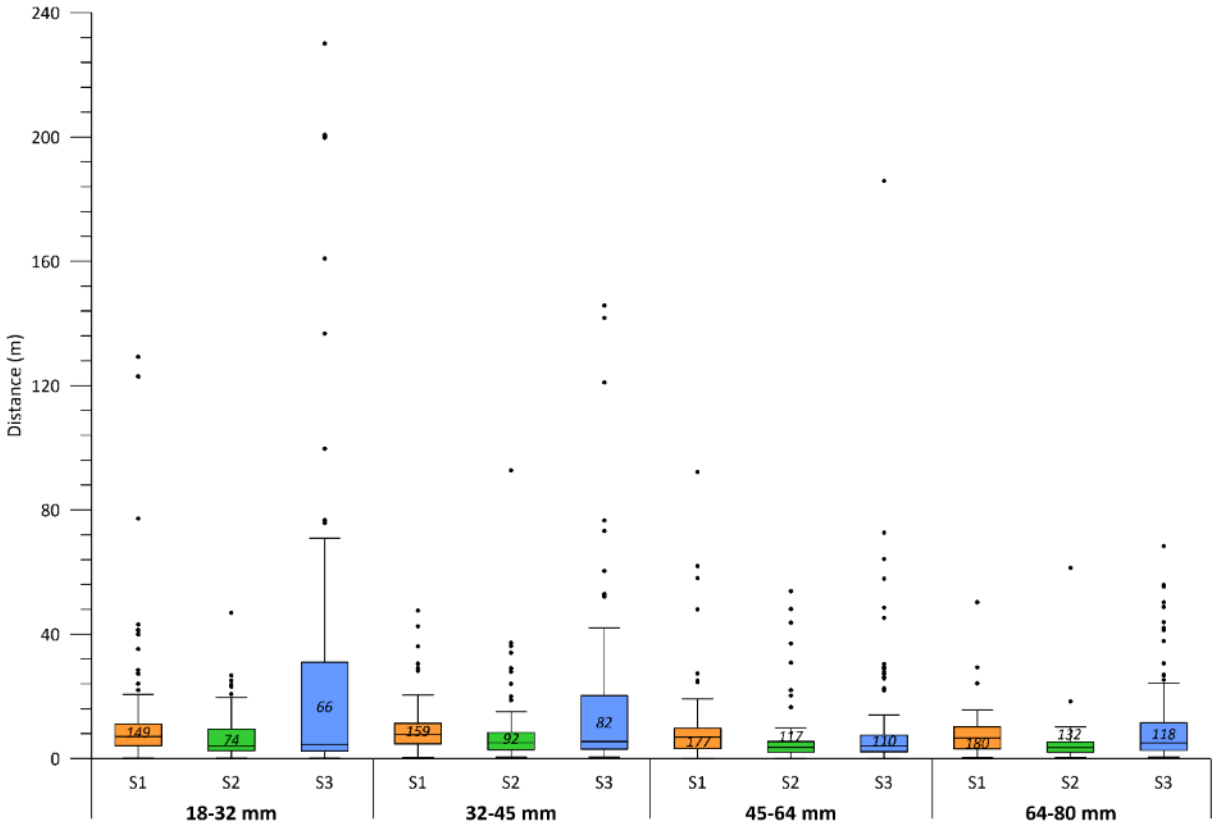


Figure 6. L'Île des Graviers : distances de transport par classes granulométriques

Analyse à l'échelle des profils d'injection

La Figure 5 et la Figure 7 permettent d'observer une relative disparité des distances de transport entre les différentes zones d'injection. Ce sont les zones « Centr » et « MidAv » qui présentent les distances les plus importantes. Ceci est à mettre en relation avec les contextes hydrauliques locaux (zone de rétrécissement du chenal, position dans la courbure du méandre, etc.). Il faut toutefois rester prudent dans l'interprétation car certaines zones, trop profondes, n'ont pas été prospectées.

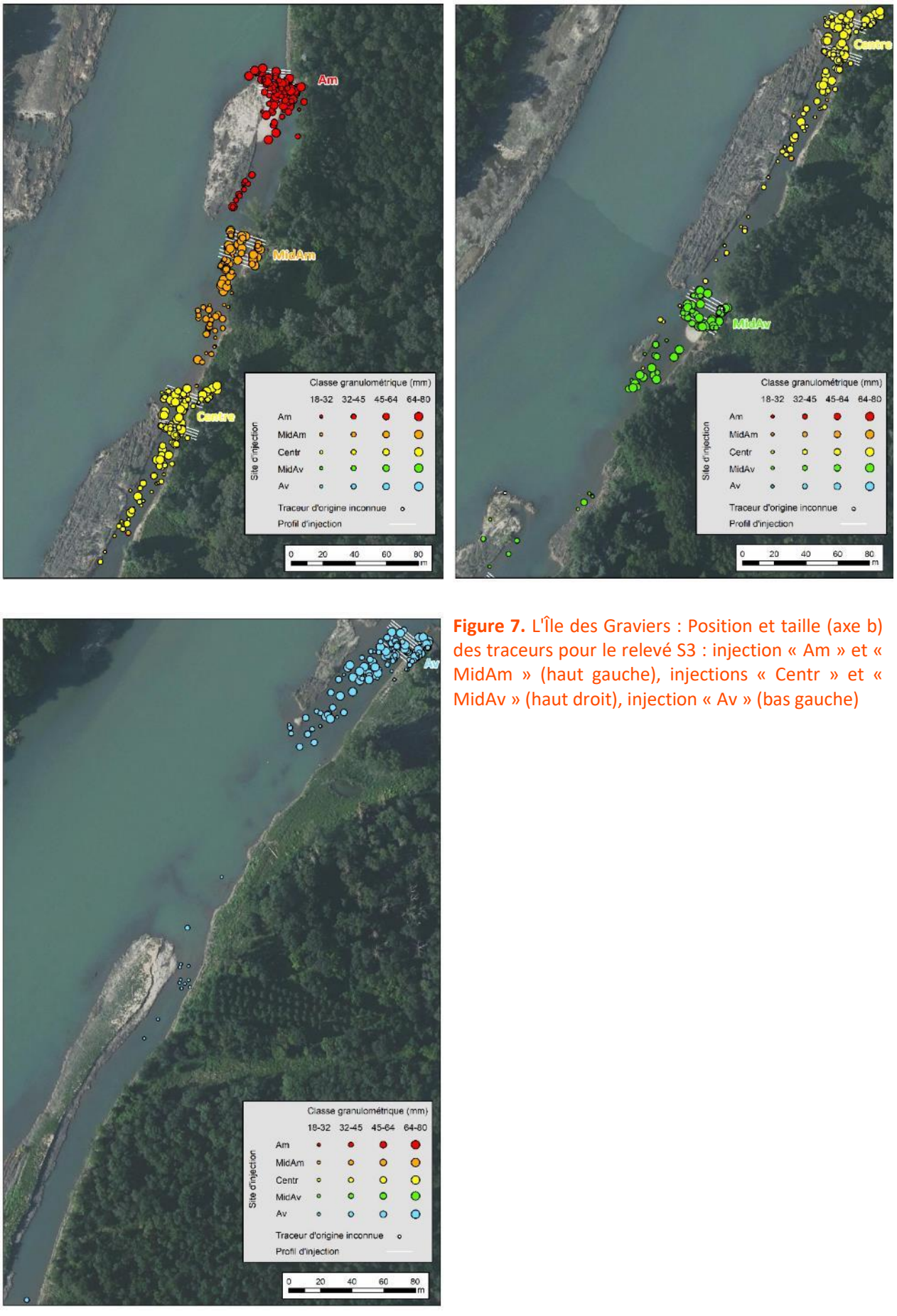


Figure 7. L'Île des Graviers : Position et taille (axe b) des traceurs pour le relevé S3 : injection « Am » et « MidAm » (haut gauche), injections « Centr » et « MidAv » (haut droit), injection « Av » (bas gauche)

2.2 Le Vieux Rhône de Donzère-Mondragon : l'île des Dames

2.2.1 Action de restauration et premiers suivis RFID

Dans le Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon, deux lônes (Grange écrasée et Dames) ont fait l'objet d'un projet de restauration mené par la CNR en janvier 2019. L'objectif était de redynamiser les lônes et de restaurer leur processus d'auto-entretien. En outre, les matériaux issus du curage de ces deux bras secondaires (30000 m³) ont été réinjectés dans le Vieux Rhône et sur le banc situé immédiatement à l'aval de l'entrée de la lône des Dames en rive droite.

Un suivi de ces interventions a été entrepris par la CNR avec l'appui du laboratoire EVS. Il concerne la dynamique sédimentaire du Vieux Rhône et des lônes. Ainsi, pour déterminer les débits seuil de mise en mouvement et évaluer le potentiel d'auto-entretien des lônes, près de 1500 traceurs ont été injectés en avril 2019 comme suit (Tableau 7) :

- 1099 particules dans le chenal principal, réparties le long de 5 profils distants d'environ 200 m et dont le plus aval est localisé en amont de l'entrée de la lône de la Grange écrasée (Figure 8) ;
- 200 particules dans chaque lône, quelques dizaines de mètres à l'aval de leur entrée respective.

Ces traceurs ont été déposés à la main sous la surface de l'eau, un à un, afin d'éviter une injection en amas. Ils sont équirépartis en 4 classes granulométriques (Vázquez Tarrío et al., 2021). La répartition des traceurs dans le Vieux Rhône par classe granulométrique et par profil d'injection est détaillée dans le Tableau 7.

Tableau 7. L'Île des Dames : répartition par classes granulométriques des traceurs injectés

		Classe granulométrique (mm)				Total	%
		16-32	32-45	45-64	64-80		
Profil d'injection	R1	55	55	56	55	221	20
	R2	54	55	55	55	219	20
	R3	55	55	55	56	221	20
	R4	55	55	55	56	221	20
	R5	55	54	54	54	217	20
Total		274	274	275	276	1099	
%		25	25	25	25		100

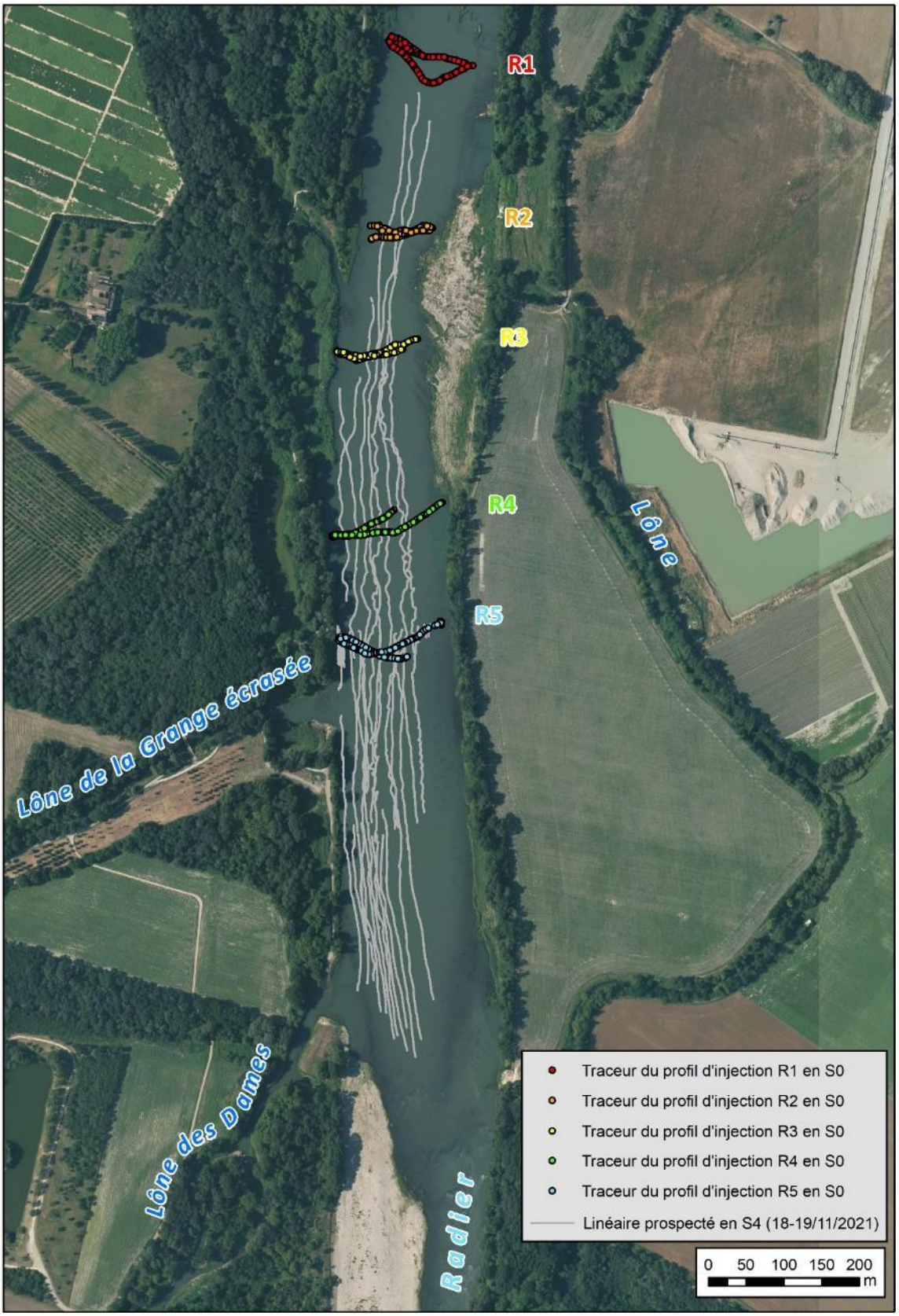


Figure 8. L'Île des Dames : localisation des sites d'injection des traceurs RFID (S0) et linéaire prospecté lors du relevé S4 (18-19/11/2021)

Par la suite, les traceurs ont fait l'objet de plusieurs relevés. Seuls les relevés réalisés dans le Vieux Rhône sont traités dans ce rapport. Les relevés effectués sur les lônes ne font pas partie de ce travail. Certains résultats ont été présentés dans les rapports antérieurs (Cassel et al., 2019 ; Vázquez Tarrío et al., 2021) et leur synthèse sera réalisée dans le cadre de la thèse de Nicolas Tissot (en cours de rédaction).

Le premier suivi (S1), réalisé après un petit évènement hydrologique dont le pic a atteint 548 m³/s (Figure 9 et Tableau 8), fait état d'une absence de mouvement, à l'exception d'une particule sur les 270 traceurs retrouvés (Vázquez Tarrío et al., 2021).

Le deuxième suivi (S2), réalisé quant à lui après trois pics dépassant les Qc initialement estimés, a entrainé un transport partiel dans le chenal principal du Rhône (11 particules mobiles sur les 75 traceurs communs avec le relevé S1 ; Tableau 9). Malgré le faible nombre de traceurs mobilisés, un léger effet de la taille des traceurs semble contrôler la distance (sans tenir compte de la particule de 65 mm qui a parcouru plus de 250 m ; Figure 10). Néanmoins, il est plus vraisemblable ici que ces déplacements soient le résultat des effets locaux liés à la géométrie du chenal. En effet, plus de la moitié des traceurs mobiles proviennent des profils d'injection R3.

Le troisième suivi (S3) a également fait suite à trois pics de crue > Qc mais dont l'intensité était plus élevée que celle des pics de la période précédente. Il a permis de localiser 194 traceurs dans le vieux Rhône (taux de retour de 18 %). Sur les 41 traceurs communs avec le relevé précédent, 11 d'entre eux ont parcouru une distance égale ou supérieure à 17,6 m (distance seuil de mobilisation). Ils ont parcouru des distances moyenne et maximale de 61 m et 769 m, respectivement.

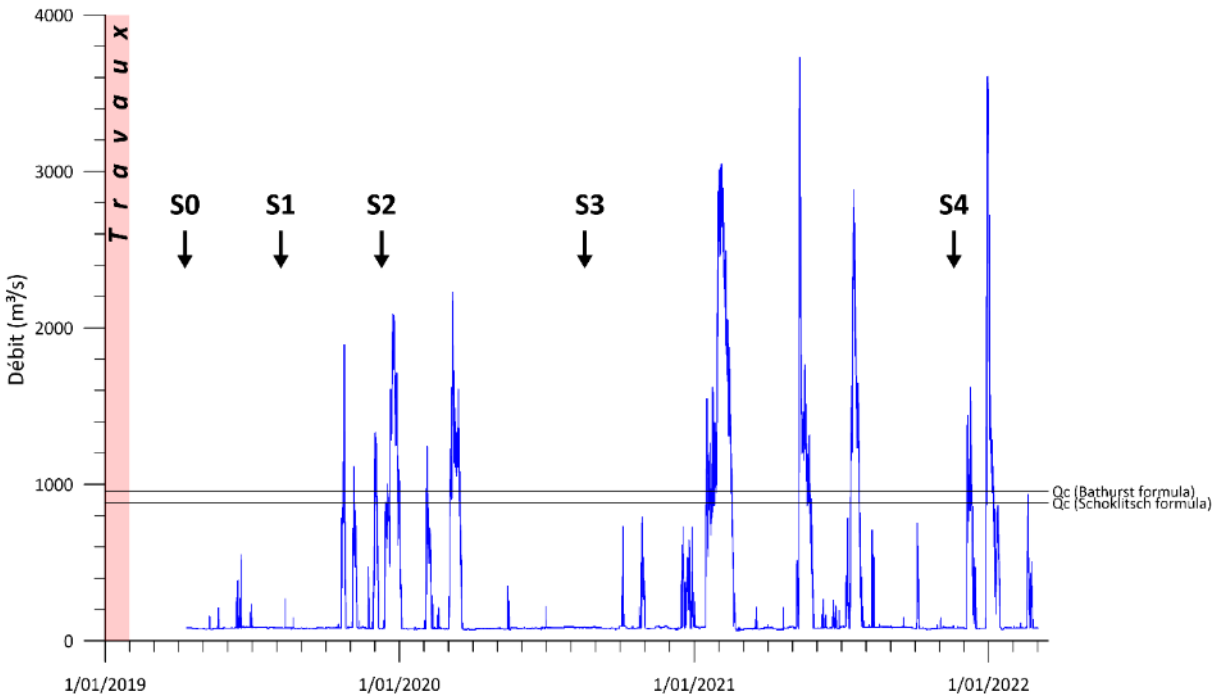


Figure 9. L'Île des Dames : hydrogramme et relevés RFID. Débits horaires bruts et non validés fournis par la CNR (station limnigraphique de Bourg-Saint-Andéol)

Tableau 8. L'Île des Dames : caractéristiques des prospections et des périodes hydrologiques associées aux relevés RFID

n°	Date	Temps de prospection (h)	Surface prospectée (ha)	Nbre d'éléments retrouvés	% de retour	Nbre d'événements > Qc	Q_{max} (m^3/s) + date du Q_{max}	ω pour Q_{max} (W/m^2)
S1	6-7/08/2019	60	12	236	21	0	548 (18/06/2019)	29
S2	10/12/2019	10	12	82	7	3	1894 (24/10/2019)	101
S3	18 & 20/08/2020	12	12	194	18	3	2227 (7/03/2020)	118
S4	18-19/11/2021	12	~12	74	7	3	3728 (11/05/2021)	198

Tableau 9. L'Île des Dames : synthèse des relevés RFID

n°	Nbre d'éléments déduits	Nbre total d'éléments	% de retour (avec éléments déduits)	Nombre d'éléments mobilisés / éléments communs avec levé précédent (%)	Dist. moy. (m)	Dist. max. (m)	$D_{50\ mob.}$ (mm)	$D_{90\ mob.}$ (mm)
S1	34	270	25	1/270 (0.4)	5.9	24	NA	NA
S2	29	111	10	11/75 (15)	18	270	38	65
S3	2	196	18	11/41 (27)	61.4	769	64	70
S4	NA	74	7	14/16 (88)	507	1127	52	76

2.2.2 Nouveau relevé RFID

Prospection

Un nouveau relevé (S4) a été réalisé les 18 et 19 novembre 2022 à la suite d'une période hydrologique caractérisée par 3 crues mobilisatrices, la plus importante d'entre-elles ayant atteint un débit de 3728 m^3/s (Figure 9 et Tableau 8). Le relevé sur le Rhône a été réalisé par deux opérateurs de la CNR, tandis que les lônes ont été prospectées par deux agents EVS. La durée totale de prospection sur le Rhône représente environ 12 h. Le matériel utilisé comprend le système d'identification et de géolocalisation développé par DATAMAX Electronique et la CNR, ainsi que la grande antenne de forme rectangulaire (2,1 m sur 0,5 m). La petite antenne n'a pas été utilisée lors de ce relevé.

La zone prospectée (~12 ha) s'étend depuis l'aval de l'injection R1, en amont, jusqu'au grand banc de rive droite, en aval (près de l'entrée de la lône des Dames). Ce grand banc n'a pas été prospecté, faute de temps. Il en est de même pour le radier qui le jouxte car la navigation y est compliquée.

Au final, seuls 74 traceurs ont été retrouvés, ce qui représente un faible taux de retour (7 %). Parmi ceux-ci, seuls 16 éléments sont communs avec le relevé précédent.

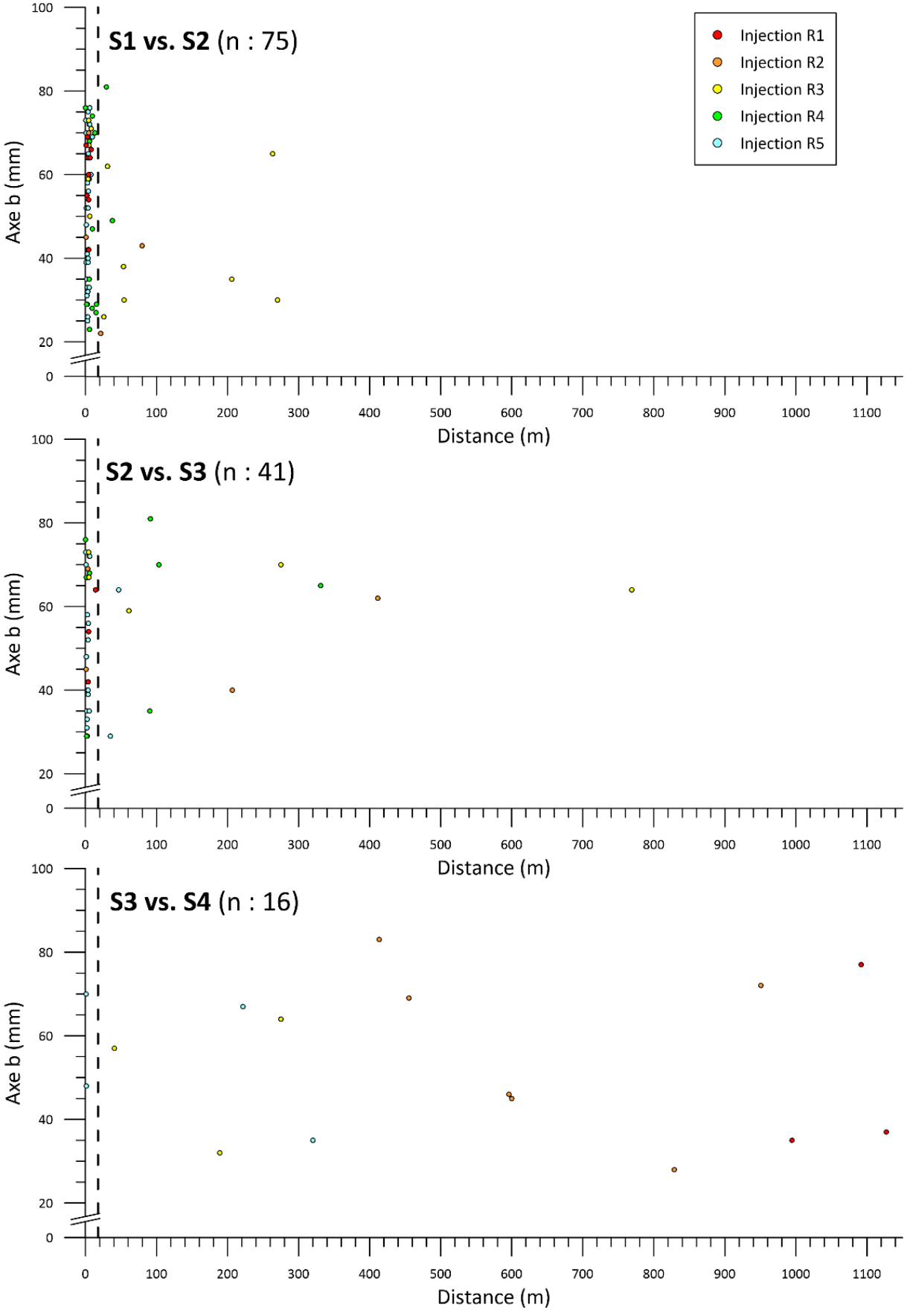


Figure 10. L'Île des Dames : distances de transport en fonction de la taille des particules

Analyse à l'échelle du secteur

D'emblée, il faut préciser que toute analyse est rendue délicate sur ce secteur car (i) les pourcentages de récupération sont relativement faibles, en particulier pour le dernier relevé, et (ii) la prospection n'est pas exhaustive. C'est surtout le cas pour le dernier relevé. Malgré 2 jours de prospection et environ 12 ha couverts, seuls 7 % des traceurs ont pu être localisés.

La position des 74 traceurs du relevé S4 est représentée à la Figure 11. Malgré les précautions évoquées ci-dessus, il apparait que les traceurs les plus grossiers sont les mieux représentés (10 % de récupération pour la classe 64-80 mm ; Tableau 11). Bien que les autres classes granulométriques de traceurs soient également présentes dans des proportions inférieures, ces résultats suggèrent une relation entre les distances de transport et la taille des particules. Toutefois, seules une prospection du secteur aval et une localisation des traceurs manquants permettraient de déterminer le caractère du transport sédimentaire.

A contrario, L'analyse des distances de transport entre S3 et S4 (Figure 10) indique un transport généralisé sur des distances importantes, quelle que soit la taille des particules. Il en est de même pour les distances calculées entre les relevés S2 et S3 mais dans une moindre mesure (du fait des crues de moindre intensité). Comme toutes les fractions granulométriques se sont avérées être mobiles pour les 3 périodes hydrologiques étudiées (Figure 10), il n'est pas possible de déterminer la limite de compétence de ce secteur. Un marquage de particules plus grossières permettrait de mieux cibler la compétence de ce secteur.

Tableau 10. L'Île des Dames : répartition des traceurs retrouvés en S4 selon leur classe granulométrique et leur profil d'injection

		Classe granulométrique (mm)					Total	% de retour
		16-32	32-45	45-64	64-80			
Profil d'injection	R1	2	7	3	5		17 (/221)	8
	R2	4	1	4	5		14 (/219)	6
	R3	6	2	4	8		20 (/221)	9
	R4	1	3	4	1		9 (/221)	4
	R5	2	3	1	8		14 (/217)	6
Total		15 (/274)	16 (/274)	16 (/275)	27 (/276)		74 (/1099)	
% de retour		5	6	6	10			7

Enfin, le relevé S4 peut être comparé avec l'injection (S0) pour avoir une estimation de la distance de transport sur le moyen terme (~2,5 ans). Ainsi, l'analyse de la position des 74 traceurs retrouvés montre qu'ils ont parcouru une distance de 547 m en moyenne (Tableau 11). La distance maximale est, quant à elle, de 1257 m. Il faut toutefois rester prudent face à ces résultats pour les raisons évoquées ci-dessus (prospection limitée et faible pourcentage de retour).

Tableau 11. L'Île des Dames : comparaison du dernier relevé RFID (S4) avec l'injection (S0)

n°	Nbre total d'éléments	Nombre d'éléments mobilisés / éléments communs avec S0 (%)	Dist. moy. (m)	Dist. max. (m)
S4 vs. S0	74	72/74 (97)	547	1257

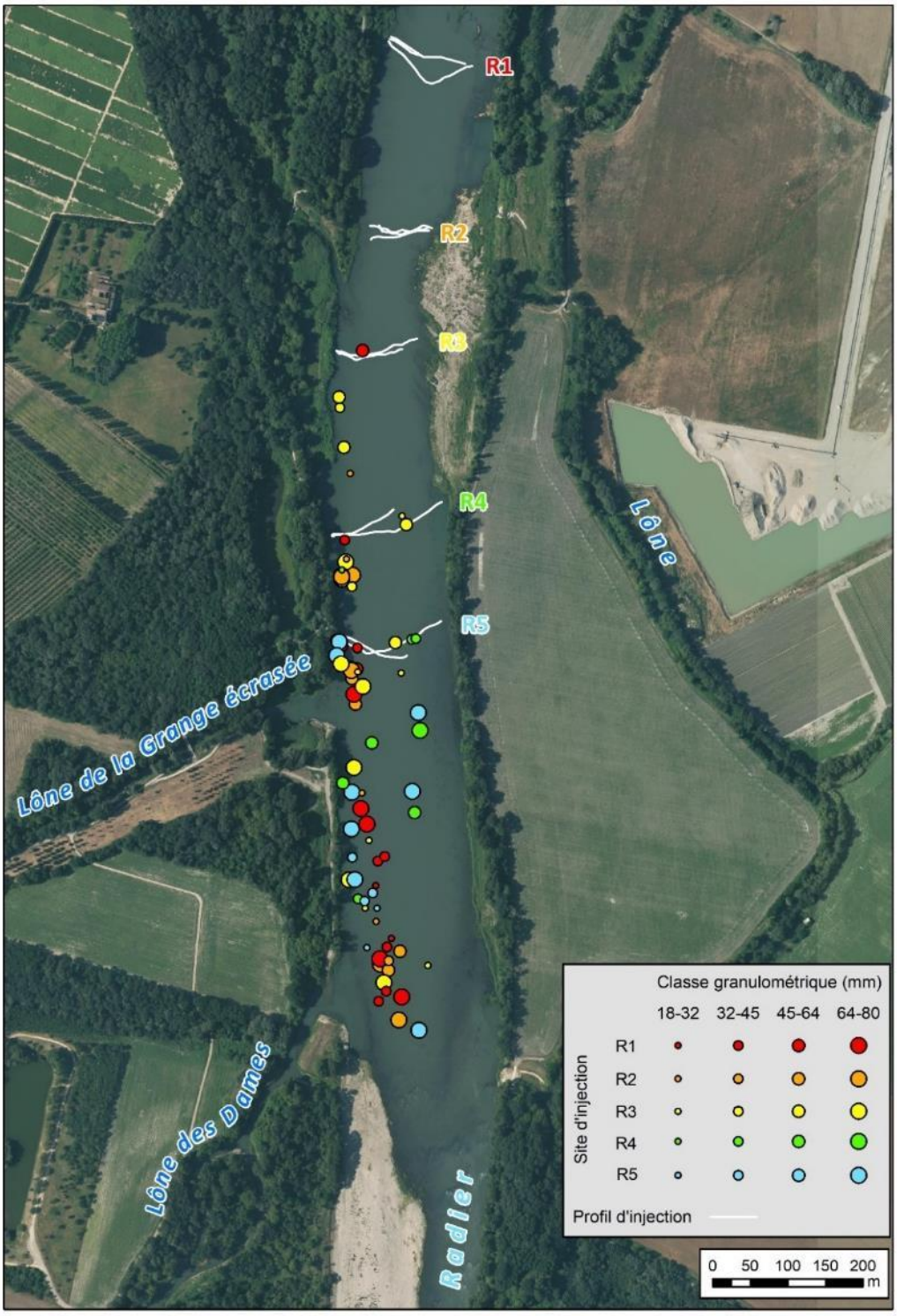


Figure 11. L'Île des Dames : Position et taille (axe b) des traceurs pour le relevé S4

2.3 Autres sites suivis

Trois autres relevés RFID ont été réalisés en 2021.

Un relevé a été réalisé sur le **Vieux Rhône de Chautagne à Motz** en juin 2021 par la CNR, avec l'appui d'une stagiaire, Florine Merelle, qui a analysé les données dans le cadre de son mémoire de Master (M2 en Sciences de l'Eau – Université Lumière Lyon 2 ; Merelle, 2021). L'enjeu de ce suivi concerne la durabilité des actions de recharge sédimentaire (15 000 m³ de sédiments injectés en novembre-décembre 2016). Pour quantifier la mobilité des sédiments rechargés, 888 traceurs avaient été injectés le 21 décembre 2016 par le bureau d'étude GeoPeka (Figure 12). Le relevé réalisé en juin 2021 représente le 4ème relevé depuis l'injection. Il possède un pourcentage de retour de 13 % et semble montrer les mêmes limites que pour le site de l'Île des Dames (DZM), à savoir (i) une prospection de plus en plus chronophage et compliquée (du point de vue de la navigation), et (ii) des pourcentages de récupération de plus en plus faibles, ce qui rend les calculs statistiques délicats. Néanmoins, l'analyse des distances de transport issues de ce travail sera prochainement intégrée dans la synthèse prévue dans le programme OSR6.



Figure 12. Le Vieux Rhône à Motz : localisation des injections des traceurs et bathymétrie initiale (GeoPeka, 2018)

Aussi, deux relevés ont été effectués sur le **canal de Miribel à Jons** en avril et en septembre 2021 par le laboratoire EVS. Ce secteur présente deux particularités : (i) il possède un barrage dans sa partie amont (barrage de Jons) qui gère la répartition des débits entre le canal de Miribel et le canal de Jonage, et (ii) il possède un transport solide par charriage relativement

préservé en raison des apports sédimentaires (30 à 40 000 m³/an) de la rivière d'Ain (confluence située environ 7 km en amont du barrage) et aux modalités de gestion du barrage de Jons. Les objectifs du suivi RFID sont (i) analyser en détails la transparence sédimentaire au niveau du barrage et de son réservoir, et (ii) quantifier le transport par charriage dans le canal de Miribel. Pour répondre à ces objectifs, 199 traceurs sédimentaires composés de galets artificiels synthétiques équipés de transpondeurs a-UHF (Cassel et al., 2017) ont été injectés en août 2020 de part et d'autre du barrage (une moitié en amont et une moitié en aval, le long de profil en travers ; Figure 13).

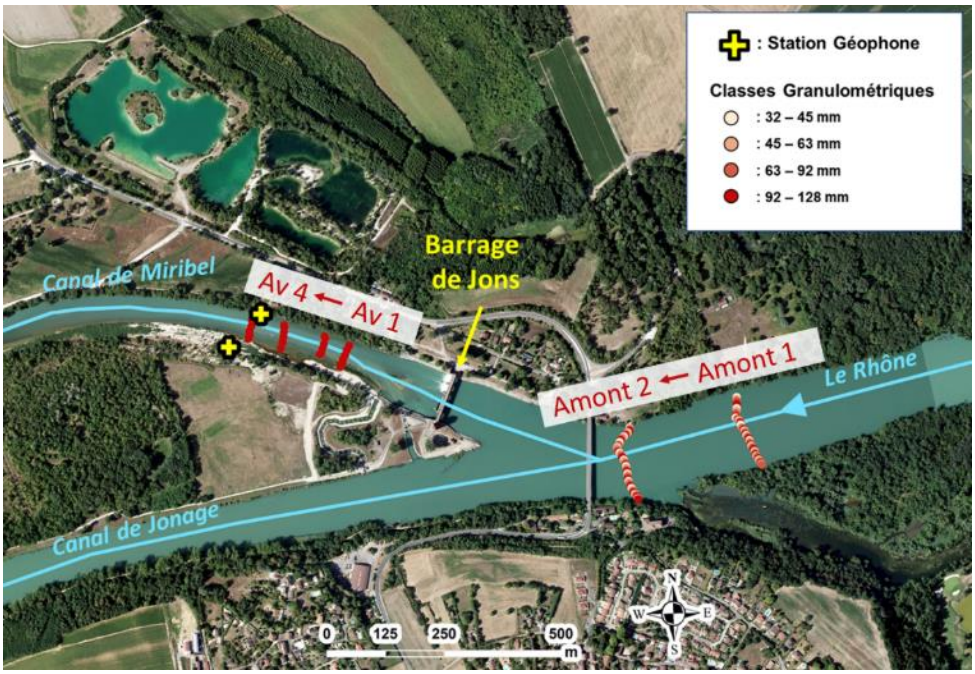


Figure 13. Le canal de Miribel : localisation des sites de marquage RFID et des géophones (Cassel et al., 2022)

Ces traceurs ont été relevés à deux reprises, en avril et en septembre 2021, avec des taux de retour de respectivement 54 et 52 % (Cassel et al., 2022). L'analyse de leurs positions a permis (i) de mettre en lumière les conditions de transfert de la charge de fond au travers du barrage et de sa retenue ; et (ii) de quantifier le flux du charriage dans le canal de Miribel. Ces résultats sont en cours d'analyse (projet GreenDam ; Cassel et al., 2022) et seront intégrés dans les prochains rapports du programme OSR6.

Bien que ces relevés aient été analysés par ailleurs, ils seront intégrés dans la synthèse relative aux distances parcourues de la charge de fond. Ils fourniront ainsi des données utiles pour calibrer le modèle hydro-sédimentaire élaboré dans le cadre de l'OSR5 (Vázquez Tarrío et al., 2021).

3. Suivi par géophone : mise en place des dispositifs

Les suivis sismiques par géophone permettent de mesurer le transport solide par charriage en continu en un point donné (Bakker et al., 2020). De la sorte, ils peuvent fournir une estimation de la valeur seuil de transport par charriage et de sa variabilité.

Les stations de mesure géophone installées dans le cadre de cette étude sont celles qui sont utilisées par la plateforme OMEAA. Initialement développées pour suivre la propagation des laves torrentielles (en partenariat avec l'Inrae de Grenoble ; *cf.* Navratil et al., 2013 ; Bel et al., 2017), ces stations ont ensuite été déployées dans d'autres contextes hydro-sédimentaires (e.g. la Séveraisse, la Fontaulière, la Bienne). L'objectif était double : (i) valider leur capacité à mesurer du charriage en dehors des systèmes torrentiels à lave, et (ii) adapter leur fonctionnement pour simplifier l'analyse des données, assurer leur communication, renforcer la robustesse des systèmes et viser une autonomie énergétique (alimentation électrique par petite batterie et panneau solaire) (Misset et al., 2020). Plus récemment, de nouveaux développements ont été apportés au niveau de la synthèse de la mesure (Cassel et al., 2022) :

- une simplification des signaux sismiques en les filtrant dans la gamme de fréquences reconnue actuellement comme reflétant les processus de charriage, soit 10-75Hz ;
- une simplification de toute la chaine d'acquisition du signal à 10 minutes en utilisant une métrologie « low-cost », « open-source » et connectée (IoT) en utilisant la plateforme de prototypage Arduino® ;
- le développement de ces signaux sismiques dans le cadre de l'IoT (Internet of Things). Ainsi, les technologies de communication utilisées, Lora® ou Sigfox®, sont des protocoles de télécommunication qui permettent la communication à bas débit, par radio, d'objets à faible consommation électrique communiquants et connectés à l'Internet via des passerelles, participant ainsi à l'Internet des objets (IoT). De plus, les données enregistrées sur carte SD sont envoyées sur une plateforme permettant ainsi de surveiller en quasi-temps réel (i) l'état de la station de mesure (niveau de batterie, vandalisme) et (ii) le signal enregistré (en lien avec les évènements de crue, le fonctionnement des ouvrages hydro-électriques, …). De la sorte, ces technologies permettent de vérifier le bon fonctionnement des systèmes à distance, ce qui minimise les coûts liés à leur gestion (déplacements de maintenance/récupération des données, diminution du temps d'analyse).

Ces géophones dits « low-cost » n'ont toutefois jamais été déployés sur des rivières plus larges, à pente et à granulométrie plus faible, comme le Rhône. C'est pourquoi il a été prévu d'en installer cinq sur le Rhône dans le cadre de l'OSR6 (

Tableau 1).

3.1 Le canal de Miribel et le barrage de Jons

Deux géophones « low-cost » ont été installés en novembre 2020 sur le canal de Miribel en aval du barrage de Jons (Figure 13 et Figure 14) ; ceci dans le but de réaliser des premiers essais d'enregistrement des signaux sismiques du charriage du Rhône avec ce type de dispositif. Aussi, l'intérêt du site est qu'il permet de coupler les données enregistrées avec les résultats des traceurs RFID. En outre, un couplage est également possible avec les données

enregistrées par d'autres géophones (de type classique) installés par Burgeap. Les résultats issus de ces premières installations sont décrits et analysés dans le cadre du projet GreenDam (Cassel et al., 2022). Bien qu'ils fassent état de difficultés métrologiques et techniques inhérentes aux approches de terrain, ces résultats mettent en lumière des éléments intéressants. D'abord, le signal sismique n'est pas systématiquement lié au débit enregistré dans le canal de Miribel, alors que le débit semble *a priori* être la variable majeure qui contrôle le charriage. D'autres paramètres sont à prendre en compte, en particulier les conditions hydrologiques liées au fonctionnement du barrage de Jons. Ce dernier exerce probablement un contrôle sur le charriage en fonction de l'ouverture des différentes vannes. Ensuite, les difficultés métrologiques et techniques rencontrées ont permis d'améliorer considérablement les systèmes de mesure, de les fiabiliser et d'optimiser leur fonctionnement (Cassel et al., 2022).



Figure 14. Le canal de Miribel : détails des composants de la station géophone (à gauche), son installation en rive gauche (au centre) et en rive droite (à droite) (Cassel et al., 2022)

A partir de cette première expérience, il est prévu de poursuivre ce suivi sur le canal de Miribel dans le cadre du programme OSR6. Les résultats issus des premières expérimentations, ainsi que les données plus récemment acquises, seront synthétisés dans les prochains rapports de l'OSR6.

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

Un second site a été équipé de trois géophones en mai 2022. Il s'agit du site de Baix situé sur le Vieux Rhône de Baix-le-Logis-Neuf. Des travaux de restauration y ont été menés en novembre 2021 par la CNR. Ils consistent en un démantèlement des digues sur un linéaire total de 880 m et en la reconnexion d'une lône de 1800 m de long. Une partie des matériaux excavés a été réinjectée dans le Vieux Rhône. Ainsi, 12000 m³ de gravier ont été placés dans le secteur situé en aval du barrage du Pouzin (Figure 15 et Figure 16). Deux autres injections d'environ 4000-5000 m³ ont été réalisées à proximité de l'entrée et de la sortie de la lône réhabilitée.

Ce secteur convient bien pour le suivi par géophone car (i) il ne semble pas comporter d'éléments susceptibles de perturber le signal à proximité du chenal (e.g. bruits liés aux

transports terrestres et à la navigation, activités humaines, hydraulique de la rivière), et (ii) les travaux de recharge sédimentaire y ont été réalisés très récemment. Ceci augmente les chances d'enregistrer le signal du charriage lié au passage des matériaux réinjectés, ce qui n'aurait peut-être pas été le cas pour les autres sites présentés dans ce travail, où les matériaux ont été injectés il y a plusieurs années et se sont dispersés en aval depuis lors. Ces éléments nous ont conduit à installer trois géophones sur ce secteur, à savoir un géophone pour chacune des injections sédimentaires (Figure 16).



Figure 15. Le Vieux Rhône à Baix : travaux de recharge sédimentaire sur le site amont en novembre 2021 (photo de Nedjma Salhi, CNR)

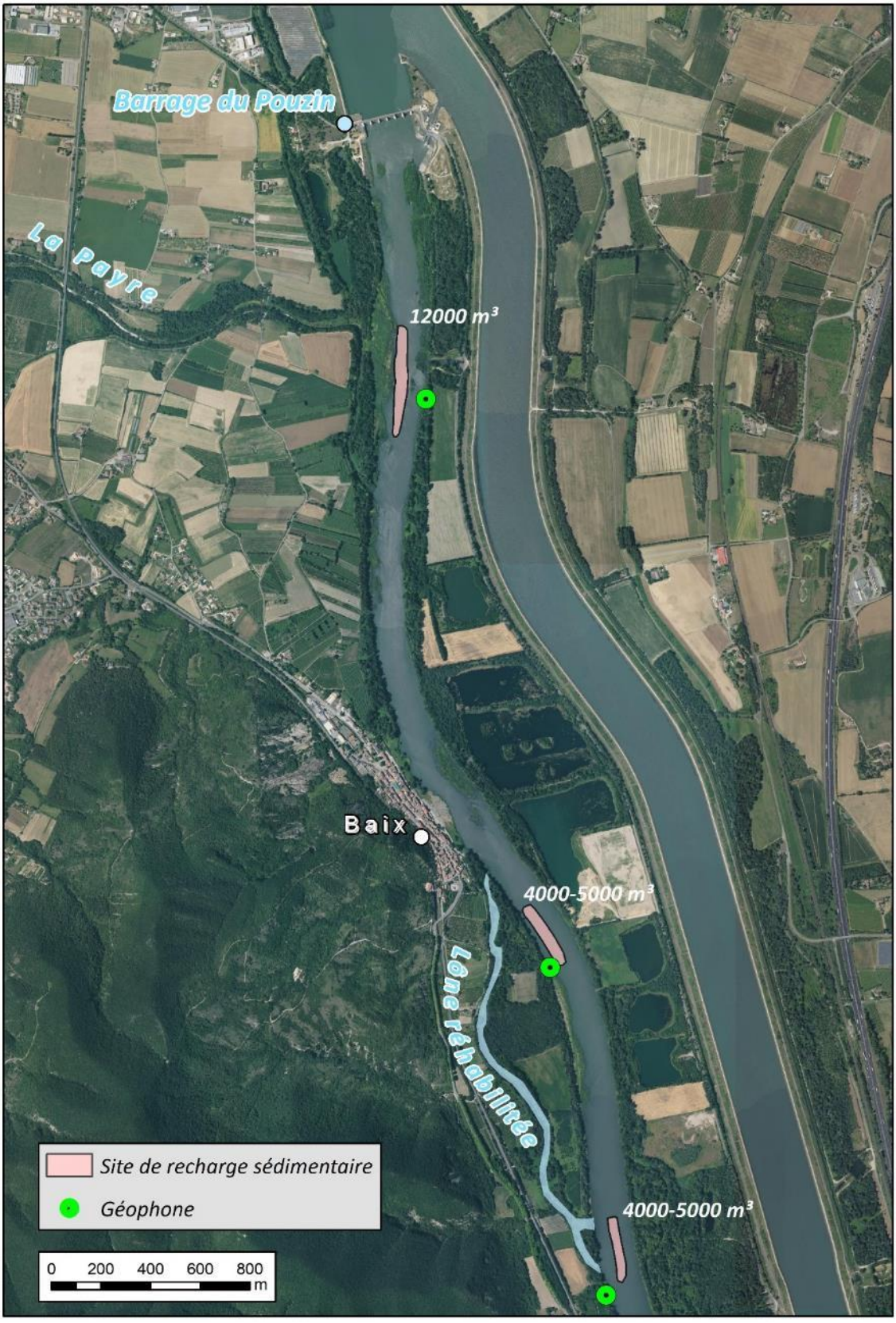


Figure 16. Le Vieux Rhône à Baix : localisation des sites de recharge sédimentaire et des stations géophone

4. Travail en cours et perspectives

Le présent rapport a permis de faire le point sur les travaux accomplis durant cette première année du programme OSR6 (action C3). Cinq relevés RFID ont été réalisés et 2 stations géophone ont été installées. Les prochaines étapes de ce travail seront dans un premier temps d'installer les derniers géophones et de poursuivre les relevés RFID. Pour ces derniers, ce seront les sites de la Platière (recharge sédimentaire dans le Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon) et de Motz (recharge sédimentaire dans le Vieux Rhône de Chautagne) qui seront prospectés en 2022. Ces nouvelles données de distance et de vitesse de transport de la charge de fond seront par la suite utilisées pour poursuivre le travail sur la modélisation hydro-sédimentaire élaborée dans le cadre de l'OSR5 (Vázquez Tarrío et al., 2021). Les nouvelles valeurs devraient ainsi permettre d'affiner le modèle hydro-sédimentaire. Ce dernier fournira des éléments de réponse aux questions relatives à la durabilité des actions de recharge sédimentaire. En outre, il pourra être utilisé à des fins opérationnelles, notamment pour établir des scénarios de restauration.

Pour les géophones, les dispositifs installés devraient nous permettre d'obtenir des chroniques sismiques sur de longues durées pour des environnements variés (secteur rechargé, secteur pavé et secteur en aval d'un barrage). Ces résultats pourront de surcroit être couplés avec les données RFID. De plus, d'un point de vue méthodologique, ces nouvelles données aideront à faire le point sur l'applicabilité de cette méthode dans des contextes similaires à celui des Rhône court-circuités (analyse des avantages et des limites de cette méthode en grandes rivières). *In fine*, si les conditions de déploiement du géophone sont maîtrisées sur le Rhône, cette méthode devrait à terme remplacer le suivi RFID pour un monitoring au long cours. Les stations ainsi développées dans le cadre de ce programme de recherche ouvrent la voie à une acquisition sismique dédiée au suivi opérationnel du transport solide par charriage à la fois peu coûteuse, robuste, facile d'utilisation et connectée. Nous espérons que ces nouvelles stations permettront à terme de produire des séries de données plus longues, en limitant les lacunes sur différents sites avec des morphologies contrastées.

5. Bibliographie

Arnaud F., Piégay H., Béal D., Collery P., Vaudor L., Rollet A.J. (2017). Monitoring gravel augmentation in a large regulated river and implications for process-based restoration. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42, 2147-2166. https://doi.org/10.1002/esp.4161

Bakker M., Gimbert F., Geay T., Misset C., Zanker S., Recking A. (2020). Field Application and Validation of a Seismic Bedload Transport Model. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 125 DOI: 10.1029/2019JF005416

Bel C., Liébault F., Navratil O., Eckert N., Bellot H., Fontaine F., Laigle D. (2017). Rainfall control of debris-flow triggering in the Réal Torrent, Southern French Prealps. *Geomorphology* 291 : 17–32. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.04.004

Cassel M, Dépret T, Piégay H. (2017). Assessment of a new solution for tracking pebbles in rivers based on active RFID: a new solution for tracking pebbles in rivers based on active RFID. *Earth Surface Processes and Landforms* 42 : 1938–1951. DOI: 10.1002/esp.4152

Cassel M., Navratil O., Perret F., Piégay H. (2022). Évaluation de la transparence sédimentaire des ouvrages hydro-électriques : Éléments opérationnels pour promouvoir une énergie hydraulique vertueuse. *Rapport Final*. GreenDam.

Cassel M., Piégay H., Dépret T., Arnaud F., Mouquet-Noppe C., Michel K., Noirot B., Vaudor L., Mora C. et Meric L. (2019). *Suivi de l'effet morphologique du démantèlement des marges: Validation des estimations de charriage par des observations in situ. Rapport intermédiaire, Action 2.4.* Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR), 5ème Programme d'Actions.

GeoPeka. (2018). Suivi d'une injection sédimentaire : Vieux-Rhône de Chautagne. *Rapport de mesure*, version 3.2.

Merelle F. (2021). *Evolution morpho-sédimentaire du Vieux-Rhône de Chautagne. Analyses LIDAR, bathymétriques et traçage des particules par RFID passifs*. Mémoire de master, Université Lumière Lyon 2.

Misset C., Recking A., Legout C., Bakker M., Bodereau N., Borgniet L., Cassel M., Geay T., Gimbert F., Navratil O., Piegay H., Valsangkar N., Cazilhac M., Poirel A., Zanker S. (2020). Combining multi-physical measurements to quantify bedload transport and morphodynamics interactions in an Alpine braiding river reach. *Geomorphology* 351 : 106877. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.106877

Navratil O., Liébault F., Bellot H., Travaglini E., Theule J., Chambon G., Laigle D. (2013). High-frequency monitoring of debris-flow propagation along the Réal Torrent, Southern French Prealps. *Geomorphology* 201 : 157–171. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.06.017

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

Serlet A., Tal M., Viparelli E. (2022). *Étude du fonctionnement historique et actuel à partir des modèles morphodynamique 1D : retour d'expérience et résultats sur les tronçons PDR et DZM. Rapport Final.* Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR), 6ème Programme d'Actions.

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), 5ème Programme d'Actions. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03291004/

OSR

Observatoire
des Sédiments
du Rhône

Dispositifs scientifiques cadres

OHM VALLÉE DU RHÔNE

ZA Zone Atelier LTSER FRANCE BASSIN DU RHÔNE

Partenaires scientifiques

cnrs

EVS

cerege

UNIVERSITÉ DE LYON

ENTPE

INRAE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Ifremer

mio Mediterranean Institute of Oceanography

Partenaires techniques et financiers

Plan Rhône Saône

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

agence de l'eau RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE

RÉGION SUD PROVENCE ALPES CÔTE D'AZUR

CNR

La Région Auvergne-Rhône-Alpes

EDF

La Région Occitanie

AVEC LE SOUTIEN DE L'UNION EUROPÉENNE

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

UNION EUROPÉENNE