



Réserve Naturelle
ILE DE LA PLATIERE



Suivi de la morphologie du lit du vieux Rhône au niveau du merlon de réinjection de graviers en 2017 et 2018

Suivi de la morphologie du lit du
vieux Rhône au niveau
du merlon de réinjection de
graviers en 2017 et 2018

Bernard PONT
Yves PRAT MAIRET

Mars 2019

Introduction

A la fin des travaux de restauration des casiers de l'île des Gravieres, le choix a été fait de réinjecter une partie des galets (de l'ordre de 6 000 m³) extraits pour l'aménagement du chenal de crue de l'amont du banc 3. Ce chantier expérimental sur le RCC de Péage de Roussillon visait à préciser les capacités de charriage du RCC, notamment à déterminer le débit morphogène local, mais aussi à combler partiellement le déficit sédimentaire du vieux Rhône. Ces travaux ont été effectués à la fin du mois de mars 2017. Le point de réinjection retenu est situé à l'amont du vieux Rhône de Péage de Roussillon, à 1,2 km en aval du barrage de St Pierre de Bœuf, au niveau du PK 52,5 environ. Le dépôt, initialement prévu en rive droite pour être dans l'axe des écoulements principaux, a finalement été placé en rive gauche du fait des difficultés d'accès en rive droite. Le dépôt a été modelé pour que sa surface soit 50 cm sous le niveau minimal de l'eau (débit réservé à 50 m³/s).



Vue du site de réinjection pendant le modelage de la masse de graviers

Le présent rapport fait état des suivis et observations bathymétriques réalisés par l'Antenne Platière du CEN Isère suite à la réinjection de graviers issus du chantier de restauration des casiers de l'île des Gravieres dans le vieux Rhône de Péage de Roussillon. Ce rapport complète celui produit par GeoPeka qui a suivi des galets équipés de transpondeurs placés sur le même point d'injection.

Matériel et méthodes

Le besoin de mise en œuvre rapide d'un suivi de la réinjection a été en partie freiné par des moyens techniques limités et le manque d'expérience de l'équipe sur les suivis bathymétriques. Néanmoins, la documentation de l'évolution du dépôt réinjecté a pu être effectuée afin de compléter et alerter le bureau d'étude GeoPeka pour la mise en œuvre des suivis des galets équipés de transpondeurs.

Hydrologie

L'hydrologie durant cette période a été déterminante pour la mise en route de ces suivis. Voici les éléments marquant de l'hydrologie du site à la suite de la réinjection de graviers.

- Mars 2017 : injection des galets,
- Mai 2017 : déversement dans le vieux Rhône (3 jours avec un débit moyen de 400 m³/s),
- Décembre 2017 -> février 2018 : épisode de hautes eaux significatif découpé en trois phases :
 - o Crue du 11 au 18 décembre avec un débit maximal de 1600 m³/s dans le vieux Rhône,
 - o Crue du 1^{er} au 14 janvier avec un débit maximal de 2500 m³/s dans le vieux Rhône,
 - o Crue du 21 janvier au 3 février avec un débit maximal de 2900 m³/s dans le vieux Rhône. Ce dernier pic de crue est assimilable à une crue quinquennale.
- Mai - juin 2018 : déversement modéré mais durable avec des débits jusqu'à 1 000 m³/s dans le vieux Rhône.
- Depuis juin 2018 : hydrologie calme sans déversements majeurs dans le vieux Rhône.

Méthodes de suivi

Le suivi complet du site de dépôt de galets a été réalisé à deux reprises à l'aide de moyens variés :

- Le premier suivi, réalisé juste après la fin de la réinjection (avril 2017), visait à caractériser les dimensions initiales du dépôt pour pouvoir en suivre l'évolution. Des transects amont-aval ont été réalisés à l'aide d'une embarcation et les opérateurs ont renseigné le plus régulièrement possible la profondeur du vieux Rhône à l'aide d'une perche graduée. Chaque point de mesure a été géoréférencé à l'aide d'un GPS Garmin Map 64. 166 points de mesures documentent cet état initial. Les échelles limnimétriques calées en mètres NGF ont été relevées afin de convertir les profondeurs mesurées en altitude du fond du vieux Rhône.
- Le second suivi a été réalisé en mars 2019 afin de documenter les effets des épisodes de hautes eaux qui sont survenus en début d'année 2018. Aucun déversement marquant n'est intervenu entre la fin de l'épisode de hautes eaux et le suivi. Ce suivi a été réalisé à l'aide d'un échosondeur Garmin EchoMap 64. Cet échosondeur dédié au nautisme de loisirs et à la pêche amateur permet une cartographie rapide de la profondeur par la fonction « Quick draw » mais présente des possibilités d'export des données très limitées. Les données ont pu être récupérées avec une précision correcte mais non optimale.

Entre ces deux suivis complets, le dépôt de graviers a été visité à deux reprises :

- Le 21 juin 2017 le site de réinjection a été visité en barque et 11 sondages à la perche ont été réalisés.
- Le 27 décembre 2017 une visite rapide à pied a été réalisée en profitant d'un court épisode de retour au débit réservé suite à la crue et aux hautes eaux de décembre. Un suivi bathymétrique complet était prévu sur le début janvier 2018, mais l'occurrence d'un nouvel épisode de crue ne l'a pas permis.

A chacune des visites, le niveau NGF de la ligne d'eau du vieux Rhône est relevé sur l'échelle limnimétrique située en face du merlon de réinjection (PK 52,59 RD). Ainsi, les valeurs de profondeur relevées sur le terrain sont converties en altitude NGF de manière à permettre la comparaison entre les différentes visites. Les outils utilisés sont assez frustes et ne donnent pas une grande précision à ces données : on peut estimer que les côtes NGF indiquées ont une précision décimétrique en altitude et métrique en latitude/longitude. Elles ne peuvent donc mettre en évidence que des changements importants, d'ordre métrique.

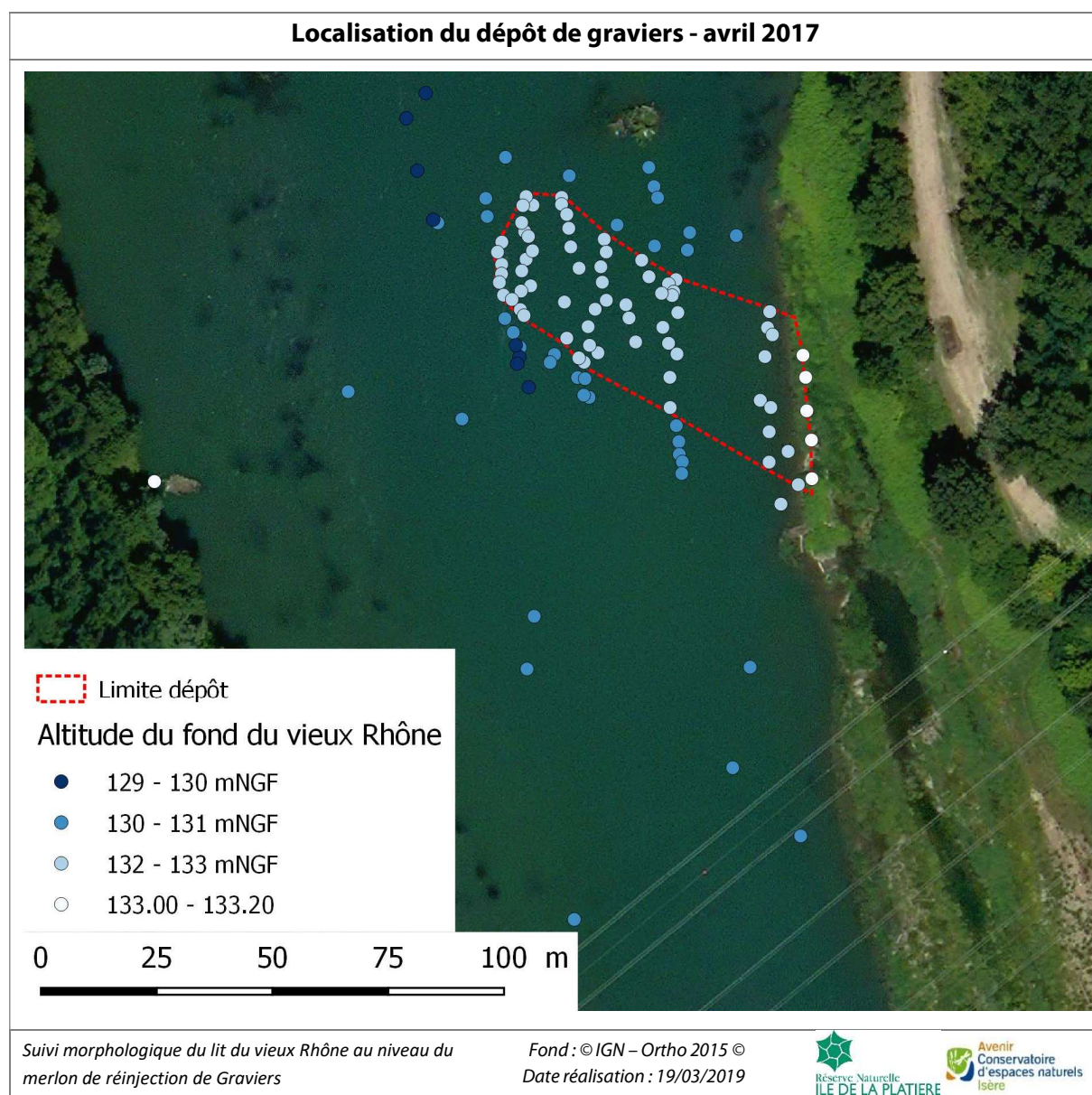
La restitution de ces deux suivis se fera de manière cartographique.

Résultats

Etat initial du merlon de réinjection

La carte ci-après présente la localisation et les dimensions initiales du dépôt de graviers tel qu'il a été cartographié en avril 2017.

Le sommet du merlon de réinjection se situe autour de la cote 132 m NGF (entre 131,9 et 132,2). Les pentes du merlon sont très raides et en quelques mètres, à l'amont, à l'aval et en direction du centre du chenal le fond se situe entre les côtes 131 et 130 m NGF. Les points les plus profonds sont à la cote 129,8 m NGF.



La zone de dépôt correspond grossièrement à rectangle de 75 m × 25 m, situé à environ 50 cm sous le niveau du vieux Rhône, conformément à la demande formulée.

Etat du merlon après l'épisode de déversement de mai 2017

A la suite de petits déversements liés à des arrêts de groupes à l'usine-écluse de Sablons (mai 2017), le site a fait l'objet d'une visite en barque le 21 juin. La profondeur a été mesurée sur un transect amont aval implanté au centre du banc. Il montre que la surface du dépôt reste à la côte 132 m NGF, alors qu'à l'aval immédiat le fond se situe toujours entre 131 et 130 m NGF. Le contour de la plateforme du merlon pointée au GPS s'avère identique à la forme dessinée sur la base de l'état initial. Aucune évolution significative de la morphologie du merlon n'est donc mise en évidence. Par contre, la surface du dépôt semble avoir fait l'objet d'un "lissage" : les formes laissées par les chenilles des engins sont très atténuées et un tuilage des plus petits graviers est observé localement. Cette observation suggère que cet épisode hydrologique a occasionné des mouvements localisés structurant l'organisation des graviers à la surface du dépôt.

Afin de documenter d'éventuels déplacements des graviers, un premier suivi des transpondeurs est alors déclenché.

Etat du merlon après la crue de décembre 2017

La visite du 27 décembre 2017 a consisté en une simple exploration pédestre dès le retour au débit réservé, de manière à organiser un suivi complet ultérieur. La surface du merlon a conservé la forme d'un vaste replat, mais la cassure des talus amont et aval est atténuée et leurs pentes amont et aval paraissent moins raide. Ceci suggère des glissements des talus. La surface du replat présente un tuilage assez généralisé des petits graviers. L'extrémité du merlon en direction du chenal n'a pas été atteinte pour des raisons de sécurité.

Il ressort de ces observations que le merlon conserve globalement sa morphologie initiale sur au moins les deux tiers de sa longueur à partir de la berge, tout en enregistrant un "tassement" ou des glissements des talus. L'épisode avec un débit de pointe de 1 600 m³/s n'a donc pas provoqué de remobilisation massive sur la partie visitée du merlon.

Le suivi bathymétrique complet n'a pas pu être mis en œuvre du fait de l'arrivée d'une nouvelle onde de crue dès le 31 décembre. Aucune information n'est donc disponible sur l'état de l'extrémité du merlon suite à cet épisode hydrologique.

A noter qu'un dépôt de petits graviers de quelques mètres carrés sur 10 à 20 cm d'épaisseur a été observé également le 27 décembre à la jonction du chenal de crue aménagé dans la phase de démontage des casiers de l'île des Graviers avec le chenal de crue plus étroit aménagé lors du démontage des casiers de Serrières rive gauche. Ce dépôt semble provenir d'un tri granulométrique du fond du lit du chenal de crue nouvellement aménagé.

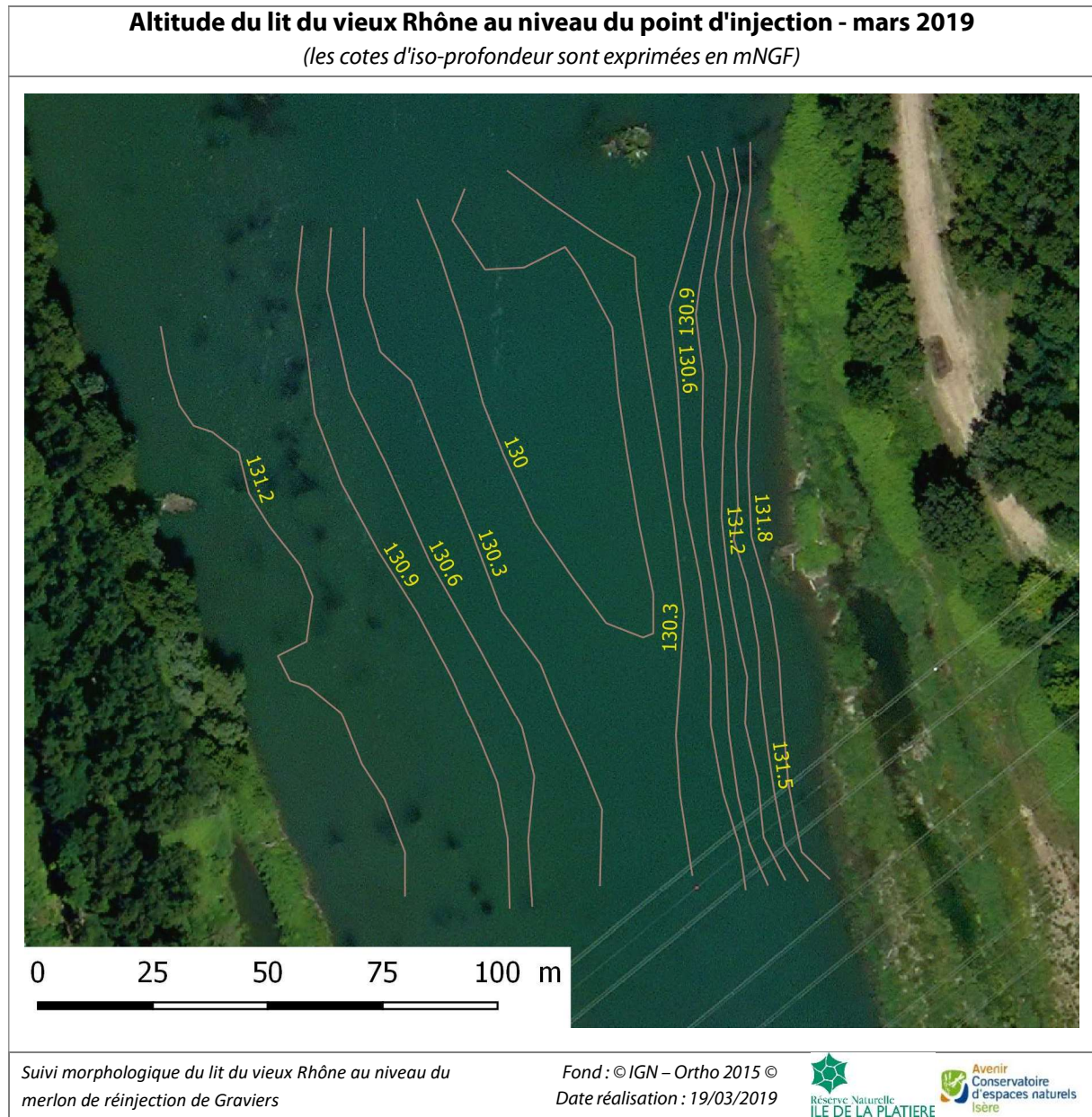
Ces différentes observations de déplacement ou tuilage de petits graviers suggèrent que cet épisode a été en capacité de déplacer localement les graviers de plus petite granulométrie.

Etat du merlon après les épisodes du premier semestre 2018

Compte tenu du plan de charge de l'équipe, du temps nécessaire à la préparation de la mission avec l'échosondeur acquis et de l'hydrologie très faible du second semestre 2018 et de l'hiver 2018-2019, le suivi bathymétrique n'a été réalisé qu'en mars 2019.

La carte ci-après présente la cartographie du fond du vieux Rhône sur le site de réinjection en mars 2019 après les différents épisodes hydrologiques du premier semestre 2018.

Le merlon de réinjection n'est plus du tout détectable sur la bathymétrie : on retrouve à son emplacement des fonds compris entre 130 et 131 m NGF, valeur analogue à celle mesurée lors de l'état initial à proximité du merlon. La berge rive gauche présente une pente régulière conduisant en une quinzaine de mètres à la côte 131 m NGF. Aucun renflement susceptible de témoigner du maintien d'une partie de la racine du merlon n'est mis en évidence.

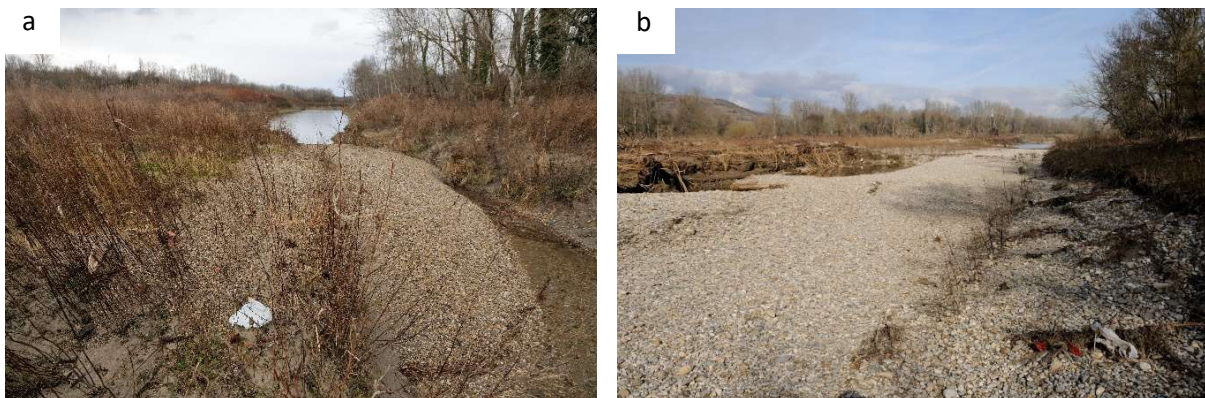


Ces observations semblent indiquer que l'intégralité des matériaux ré-injectés ont été remobilisés et que le site de réinjection a retrouvé sa morphologie d'avant le dépôt. D'après ces données les seuls évènements hydrologiques permettant de mettre en mouvement l'ensemble du merlon sont les deux crues de janvier 2018.

Discussion - Conclusion

Les résultats acquis durant ces suivis confirment que la remobilisation des sédiments a été quasi-complète avec les épisodes de hautes eaux de janvier 2018 et les débits maximums du niveau d'une crue quinquennale (2 900 m³/s). Il est également confirmé que des débits de l'ordre de 1500 m³/s ne sont pas suffisant pour une mise en mouvement massive des alluvions réinjectées. De plus, les possibilités de remobilisation étaient certainement plus forte du fait que les graviers déposés n'étaient pas "imbriqués" dans une matrice déjà en place.

Néanmoins, à la suite de l'épisode à 1 600 m³/s de décembre 2017, quelques arrivées de graviers ont été détectées sur un site restauré du vieux Rhône de Péage de Roussillon, à environ 5 km du site de réinjections. Ce dépôt était de petite taille et a par la suite été "complété" par d'autres dépôts de granulométrie plus forte à la suite des épisodes plus importants de janvier 2018 (cf. photos ci-dessous). Les prospections réalisées par GeoPeka n'ont révélé aucun galet équipé sur ce dépôt dont les alluvions proviennent certainement de l'ajustement à la suite des travaux récents des casiers l'île des Graviers.



Vues du chenal amont des casiers de Serrières rive gauche : a) le 27 déc. 2017 et b) le 22 fév. 2018

Les données collectées dans le cadre du suivi de cette opération de réinjection expérimentale (suivi bathymétrique et suivi RFID) nous ont permis de préciser les débits permettant la remobilisation de ces alluvions grossières déposées dans le vieux Rhône à un endroit particulièrement favorable. Ce débit "morphogène" se situe au-delà de 1 500 m³/s mais en dessous de 2 900 m³/s dans le vieux Rhône. Lorsqu'elles sont atteintes, ces gammes de débits durent seulement quelques jours par an. L'année 2018 a été remarquable pour cela mais elle ne reflète absolument pas la moyenne des débits dans le vieux Rhône.

Le tableau ci-dessous présente une analyse sommaire de la fréquence d'occurrence de trois hypothèses possibles de débit morphogène dans le RCC de 1990 à 2018 :

- Le débit de 1600 m³/s est atteint en moyenne deux années sur trois :
- Le débit de 2 000 m³/s a été dépassé onze fois lors de 9 années sur 29 ;
- Celui de 2 500 m³/s a été dépassé seulement 7 fois lors de 7 années sur 29.

La période 1990-2002 concentre la grande majorité des épisodes supérieur à 2 000 m³/s. L'année 2018 apparaît bien comme exceptionnelle.

**Nombre d'évènements annuels pour trois hypothèses de débit morphogène
dans le RCC de Péage de Roussillon de 1990 à 2018**

Années	> 1 600 m ³ /s	> 2 000 m ³ /s	> 2 500 m ³ /s
1990	1	1	1
1991	1		
1992	1	1	1
1993	1	1	1
1994	1		
1995	2	2	
1996	1		
1997			
1998			
1999	1	1	1
2000			
2001	1	1	1
2002	1	1	1
2003			
2004	1		
2005	1		
2006	1	1	
2007	1		
2008	1		
2009			
2010			
2011			
2012	2		
2013			
2014			
2015	1		
2016	1		
2017			
2018	2	2	1

Cette analyse sommaire présente l'intérêt de poser une première esquisse de la fréquence à laquelle des processus significatifs de remobilisation sont susceptibles de se mettre en place sur les sites où les ouvrages de navigation du XIX^{ème} siècle ont été démontés : s'il se confirme que le débit de 1 500-1 600 m³/s est insuffisant, cette fréquence moyenne serait d'une année sur trois ou quatre mais avec des intervalles entre évènements pouvant dépasser la décennie. Ces intervalles importants laisseront s'exprimer la dynamique de végétalisation des dépôts d'alluvions ou des talus d'érosion par des vivaces herbacées ou ligneuses. Ceux-ci armeront les berges de leur système racinaire ce qui risque de limiter l'efficacité des processus de remobilisation lors de l'évènement suivant. Une réflexion sur l'ajustement de ces fréquences d'occurrence par des lâchers morphogènes semble alors déterminante pour optimiser l'efficacité de l'effort financier consenti pour le démontage des ouvrages Girardon.

Cette étude a bénéficié des partenaires financiers suivant :



CEN Isère - AVENIR

Maison Borel
2 rue des Mails
38120 Saint-Egrève

Antenne de la Platière
Ferme des Oves
38550 LE PEAGE DE ROUSSILLON

Téléphone : 04 74 84 35 01
Mél : platiere@cen-isere.org
Web : www.ile.platiere.reserves-naturelles.org
www.cen-isere.org

Suivi de la charge grossière par traceurs RFID
Suivi d'une réinjection de sédiments
sur le Vieux Rhône de Péage de Roussillon



Rapport de mesure – Installation/Etat Initial

Mai 2017

Version 1.6

GeoPeka

Pôle suivi de terrain et prestation technique

46 allées d'Italie – 69 346 Lyon


			
Référence document	Code document	Code Client	Code Prestation
	R-	RNPlatiere-	Injection_PDR
Version	1.0		
Responsable	Guillaume Fantino		
Rédacteur principal	Guillaume Fantino		
Autres rédacteurs	Ludovic Bultingaire, Elise Catalon		
Destinataire	B. Pont – Conservateur de la Réserve Naturelle de la Platière		

Tableau des révision		
Version	Date	Modification
1.0	27/04/2017	Création Etat initial et suivi 1
1.1->1.4	02/05/2017	Modification/Correction
1.5->1.6	29/05/2017	Relecture/Correction

SOMMAIRE

CONTEXTE DE L'ETUDE	4
Objectifs opérationnels	4
Paramètres suivis	4
Site d'étude	5
INSTALLATION DES TRACEURS	7
Equipement des particules	7
Type de transpondeurs utilisés	7
Choix de la granulométrie à équiper.....	8
Equipement des particules.....	10
Installation des traceurs sur le terrain	12
Stratégie d'installation	12
Date et modalité d'intervention	17
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	19

CONTEXTE DE L'ETUDE

OBJECTIFS OPERATIONNELS

Concessionnaire du Rhône entre la Suisse et la mer Méditerranée, la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) a en charge l'aménagement et l'entretien du lit du fleuve. Dans le cadre de ces missions d'intérêt général, elle entreprend également des opérations de restauration écologique. Parmi elles, des anciens casiers de sédimentation, créés au XIXe s. dans le cadre de l'aménagement de la voie d'eau, sont démantelés. Ces opérations visent à ré-élargir les Vieux-Rhône (tronçons court-circuités par les aménagements hydro-électrique) en vue de restaurer des habitats aquatiques et rivulaires plus fonctionnels.

Une opération de ce type a été menée sur le Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon, sur le territoire de la Réserve Naturelle de la Platière (casiers de l'Île des Gravières). La question du devenir de sédiments ainsi extraits s'est alors posée. Il a été décidé de les ré-injecter dans le Vieux-Rhône, en amont de travaux de restauration et en aval du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf. La Réserve Naturelle a décidé de réaliser un suivi de cette ré-injection, et plus particulièrement un suivi du déplacement des particules les plus grossières. Elle a mandaté la société GeoPeka, spécialiste du traçage sédimentaire de la charge grossière.

L'objectif de cette étude est donc d'équiper des particules sédimentaires avec des transpondeurs afin de suivre leur déplacement dans le chenal au fil des événements hydrologiques.

PARAMETRES SUIVIS

Il existe de nombreuses techniques et méthodes pour effectuer un traçage de la charge grossière. **Compte tenu de la demande initiale et des moyens disponibles nous avons proposé un suivi à l'aide de transpondeur RFID passifs.** Si les transpondeur RFID passifs sont moins performants que les actifs, ils présentent l'avantage d'être nettement moins onéreux. Les distances de détection sont en revanche beaucoup plus faibles, mais la zone de recherche n'est pas, dans le cas de la présente demande, spécifiquement une contrainte pour cette technique. Le RFID actif est difficile à déployer dans le cadre de suivi dans des zones en eau, particulièrement quand les profondeurs peuvent être importantes (>2m).

Les transpondeurs RFID permettent de suivre les sédiments un à un. Une fois équipés d'un transpondeur, ils peuvent être localisés après une mise en mouvement. Cette localisation se fait à l'aide d'une antenne de détection qui active le transpondeur et qui restitue alors un code d'identification (le transpondeur est dit « passif » car il a besoin d'une activation externe, celle de l'antenne pour émettre ces informations). Chaque particule sédimentaire équipée est donc individuellement identifiée.

Cette technique permet donc de connaître les distances de déplacement de chaque particule, ainsi que leur trajectoire. La caractérisation de ces déplacements est analysée aux regards de l'évènement hydrologique à l'origine de la mise en mouvement des

particules. Il est donc possible d'étudier les effets d'une ou plusieurs crues sur la charge grossière.

SITE D'ETUDE

Le site retenu pour cette opération de réinjection de matériaux sédimentaire se localise sur le Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon, à environ 2,5 km des travaux de réouverture du train de casiers de l'Île des Gravieres. Les travaux, comme la réinjection sont sur la rive gauche du Vieux Rhône (cf. Figure 1).



Figure 1 : Présentation générale de l'aménagement hydroélectrique de Péage-de-Roussillon et localisation des travaux de restauration (Source : fond cartographique : SCAN 25 –IGN Geoportail)

La zone de dépôt se trouve donc sur un tronçon court-circuité ayant une hydrologie dépendante du fonctionnement de l'équipement hydroélectrique de Péage-de-Roussillon. Depuis le 1/01/2014, un nouveau débit réservé a été instauré passant ainsi de 10-20 m³/s à 50-125 m³/s. Au-delà 1600 m³/s (capacité d'équipement de l'usine hydroélectrique) les volumes d'eau supplémentaires du Rhône sont déversés dans le Vieux Rhône. Il n'est pas sous influence de la retenue générée par le seuil de Serrière qui s'arrête au niveau de la mise à l'eau (cf. Figure 2).

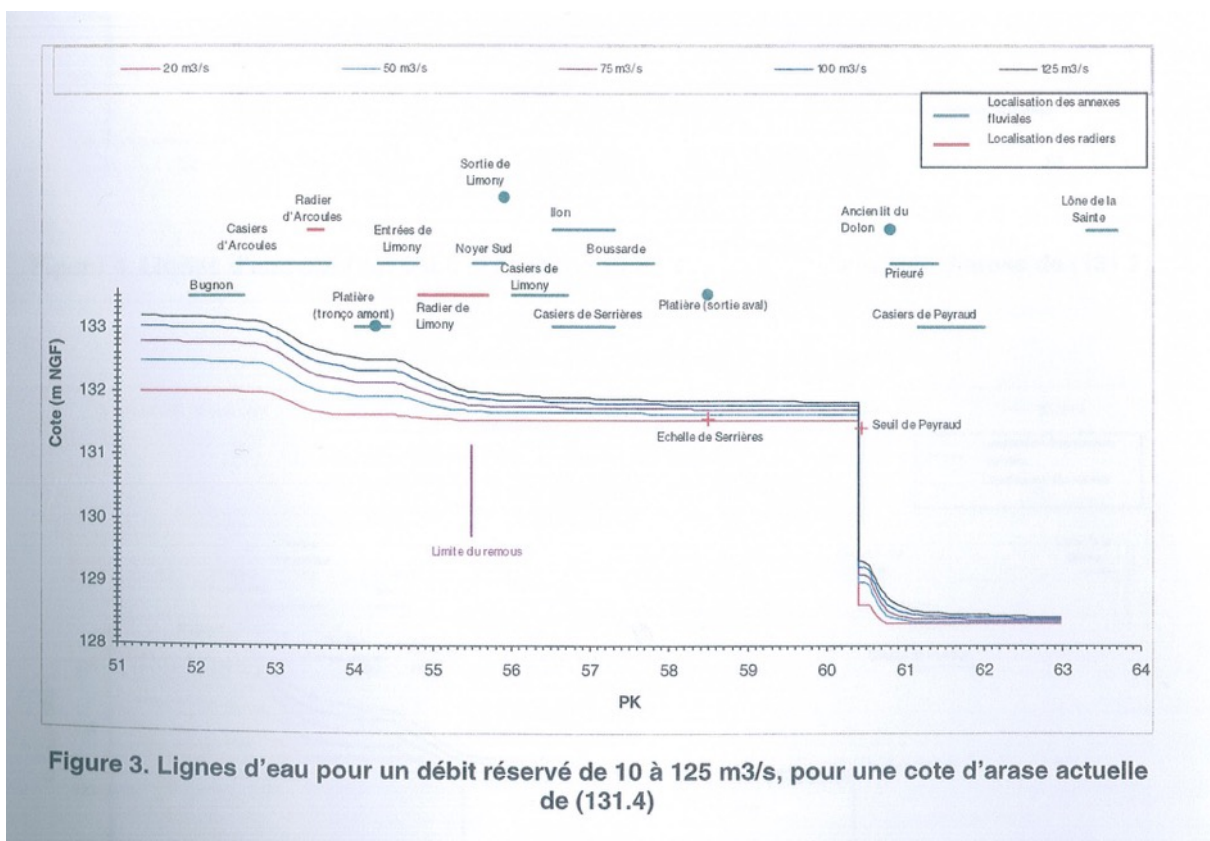


Figure 2 : Ligne d'eau du Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon pour différents débits

Les sédiments issus de l'opération de ré-injection ont été remis dans le chenal du Rhône depuis la berge gauche par la constitution d'une rampe qui s'avance dans le lit perpendiculairement au sens de l'écoulement (cf. Figure 3). Cette rampe a ensuite été arasée sous le niveau de la ligne d'eau.



Figure 3 : Limite approximative du dépôt de sédiments réinjectés

INSTALLATION DES TRACEURS

EQUIPEMENT DES PARTICULES

Dans le cas de cette prestation, compte tenu

- du nombre important de particules à équiper,
- des délais impartis pour cet équipement,

nous n'avons pas retenu la solution d'un équipement sur place. Les particules équipées ont été achetées en carrière et le perçage a été réalisé par un prestataire. Il s'agit de particule d'origine alluviale.

Type de transpondeurs utilisés

Les transpondeurs retenus pour suivre la charge grossière sont donc de type RFID (Radio Frequency Identification) passif. Plusieurs types de formes existent (étiquette, jetons, ...) : ici nous avons retenu ceux usuellement utilisés dans le cadre de suivi sédimentaire, des transpondeurs de forme « ampoule de verre ». Il s'agit de petits tubes de verre dont la longueur peut varier de 8 à 32 mm. Cette taille détermine la taille de l'antenne présente dans le transpondeur et donc influence en partie les distances de détection (les transpondeurs les plus gros offrent de meilleures distances de détection). Généralement, deux tailles de transpondeur ont été utilisées : 23 et 32 mm. Dans le cadre de cette prestation, nous avons également testé l'utilisation de transpondeur du même type mais de 12 mm (cf. Figure 4).



Figure 4 : Photographie des transpondeurs usuellement utilisés

Les transpondeurs de 12 mm sont rarement utilisés pour les suivis sédimentaires (ils le sont plus communément pour les suivis piscicoles) pour deux raisons. D'une part, la création d'une entaille à la disqueuse ou le perçage (les deux techniques habituellement utilisées) de particules naturelles est difficile sur les particules de petites tailles, essentiellement en raison de la fracturation des sédiments ; d'autre part, les faibles distances de détection peuvent poser problème dans le cas où le chenal est constitué d'une couche active épaisse, induisant un remaniement et un enfouissement des particules. Dans le cas du présent équipement, les deux contraintes ont été levées :

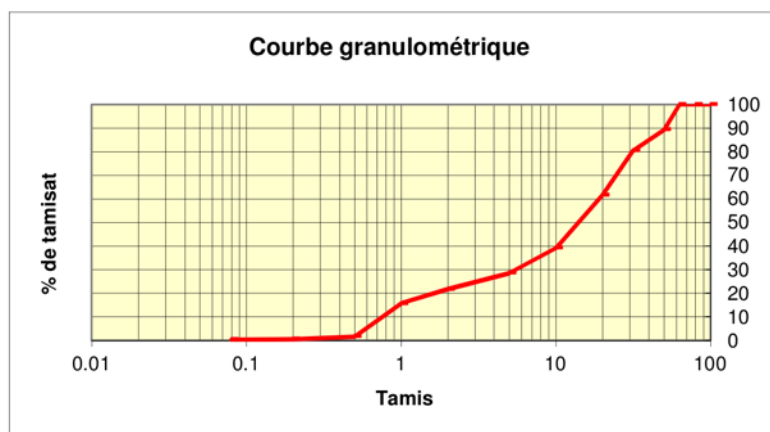
- nous avons utilisé une technique de perçage spécifique (water-drilling) permettant de percer des particules de très petites tailles
- le Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon s'est historiquement incisé et est actuellement relativement pavé. Il est probable qu'il n'y ai pas de couche active. Nous estimons que les sédiments vont être transportés et se déposer sur ce fond pavé, ce qui réduit la problématique de l'enfouissement (sauf dans le cas d'un enfouissement par la masse injectée).

L'option d'utiliser des transpondeurs de 23 et 32 mm et de 12 mm a été guidé également pour essayer de conformer au mieux à la granulométrie des sédiments ré-injectés.

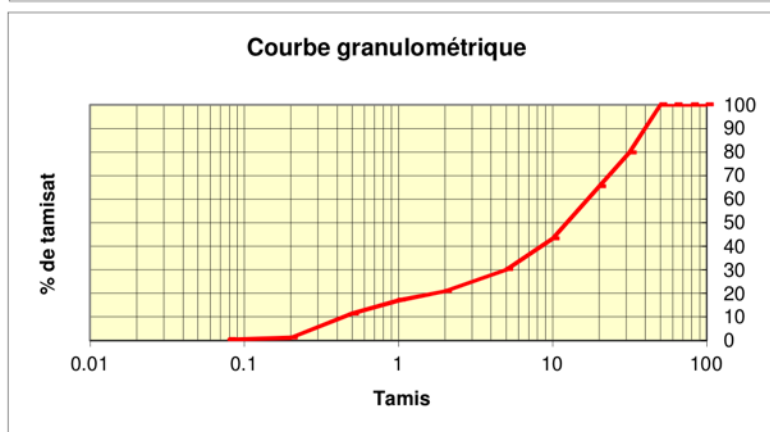
Choix de la granulométrie à équiper

Afin d'évaluer la taille des particules à équiper, nous nous sommes basés sur des mesures réalisées par la CNR pour qualifier les sédiments du chenal de connexion créé dans les casiers de l'Île des Gravieres. Quatre mesures granulométriques ont été réalisées. Les résultats de ces mesures indiquent une granulométrie globalement assez fine pour de la charge grossière : il s'agit de graviers grossiers. Le D₅₀ des quatre échantillons est compris entre 10 et 20 mm (cf. Figure 5).

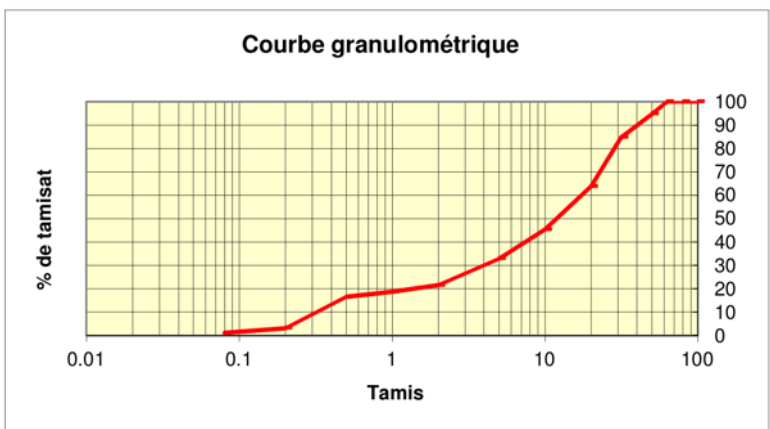
TAMIS (mm)	TAMISAT (%)
100	100.0
80	100.0
63	100.0
50	89.3
31.5	80.4
20	61.6
10	39.3
5	28.6
2	21.7
1	15.7
0.5	1.7
0.2	0.6
0.08	0.3



TAMIS (mm)	TAMISAT (%)
100	100.0
80	100.0
63	100.0
50	100.0
31.5	79.7
20	65.4
10	43.3
5	30.1
2	20.9
1	17.1
0.5	11.3
0.2	1.1
0.08	0.5



TAMIS (mm)	TAMISAT (%)
100	100.0
80	100.0
63	100.0
50	94.7
31.5	84.8
20	63.9
10	45.4
5	32.9
2	21.6
1	18.7
0.5	16.6
0.2	3.2
0.08	1.2



TAMIS (mm)	TAMISAT (%)
100	100.0
80	100.0
63	100.0
50	100.0
31.5	99.2
20	93.7
10	52.7
5	20.9
2	8.9
1	4.6
0.5	2.7
0.2	0.8
0.08	0.3

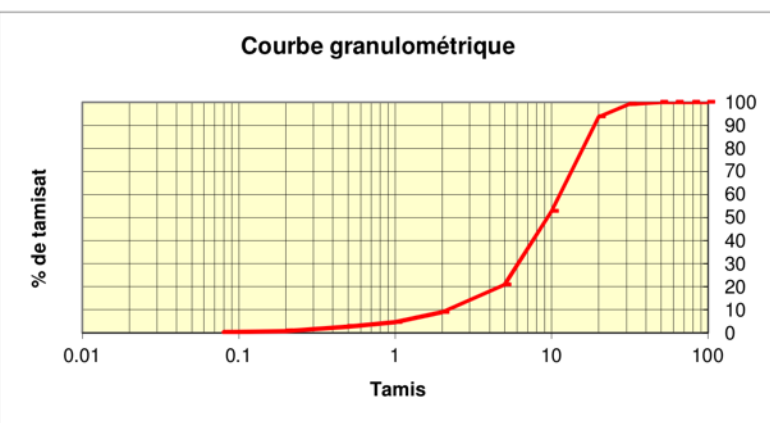


Figure 5 : Résultats des granulométries des sédiments extraits du casier de l'île des Graviers (Source : Qualification des graviers du chenal de connexion, FAMY)

Compte tenu de ces éléments de connaissance nous avons cherché à reproduire cette granulométrie. Toutefois, les contraintes techniques du perçage (trou de 6 mm de diamètre minimum) ne nous a pas permis d'équiper des particules plus fines que la classe 8<->16 mm¹ (graviers grossiers). La répartition granulométrique de projet des particules équipées est donnée dans le tableaux ci-dessous (cf. Figure 6). Le D₅₀ de cette répartition est compris entre les classes 16<->32 mm et 32<->45 mm. Nous n'avons donc pas pu imiter strictement la granulométrie injectée malgré le fait que jamais des particules aussi fines ai été équipée pour un suivi sédimentaire dans un grand milieux comme le Rhône. Notre équipement correspond à la moitié la plus grossière de la ré-injection.

CLASSE GRANULOMETRIQUE	NBR DE PARTICULES	%	% CUMULES
08/16 mm	250	25%	25%
16/32 mm	250	25%	50%
32/45 mm	200	20%	70%
45/64 mm	200	20%	90%
64/80 mm	100	10%	100%
TOTAL	1000	100%	

Figure 6 : Répartition granulométrique prévue avant équipement

Equipement des particules

Pour le perçage, nous avons fait appel à un prestataire spécialisé dans le façonnage de précision de la pierre. Ce prestataire est équipé d'une mini-foreuse, utilisant la technique du water-drilling. Ainsi, les particules ne sont pas réellement percées, il s'agit plus d'un mini carottage. L'avantage de cette technique est de faire subir moins de vibration et de percussion sur le sédiment, qui moins fragilisé casse moins facilement. Les particules ont été essentiellement équipées dans l'axe C des particules sauf pour les plus petites d'entre elles. Elles ont alors été forées dans l'axe A.

Une fois les sédiments forés, nous avons procédé à l'insertion des transpondeurs. Ils ont été scellés dans le trou de forage à l'aide d'une résine de type EPOXY (cf. Figure 7).

¹ Les tailles des classes granulométriques correspondent à l'axe B qui est le deuxième plus grand axe. Il est donc potentiellement possible d'insérer dans une particule de 8 ou 9 mm (axe B) un transpondeur de 12 mm dans l'axe A.



Figure 7 : Photographies : a) extraction de la mini-carotte après perçage en water-drilling ; b) exemple de petites particules forées (le transpondeur mesure 12 mm) ; c) particules forées et particules équipées de transpondeurs, scellés par de la résine ; d) exemple de traceurs prêts à être injectés (Sources : a)b)c) GeoPeka, d)Réserve de la Platière)

La répartition finale des particules équipées par classe granulométrique est la suivante (cf. Figure 8 & Figure 9) :

CLASSE GRANULOMETRIQUE	TYPE TRANSPONDEUR	NBR DE PARTICULES	%/TYPE	%/CLASSE
8/16MM	12mm	239	23,8	23,8
16/32MM	12mm	137	13,6	26,8
16/32MM	23mm	133	13,2	
32/45MM	23mm	200	19,9	19,9
45/64MM	32mm	201	20	20
64/80MM	32mm	96	9,5	9,5
		1006	100	100

Figure 8 : Répartition granulométrique des particules effectivement équipées

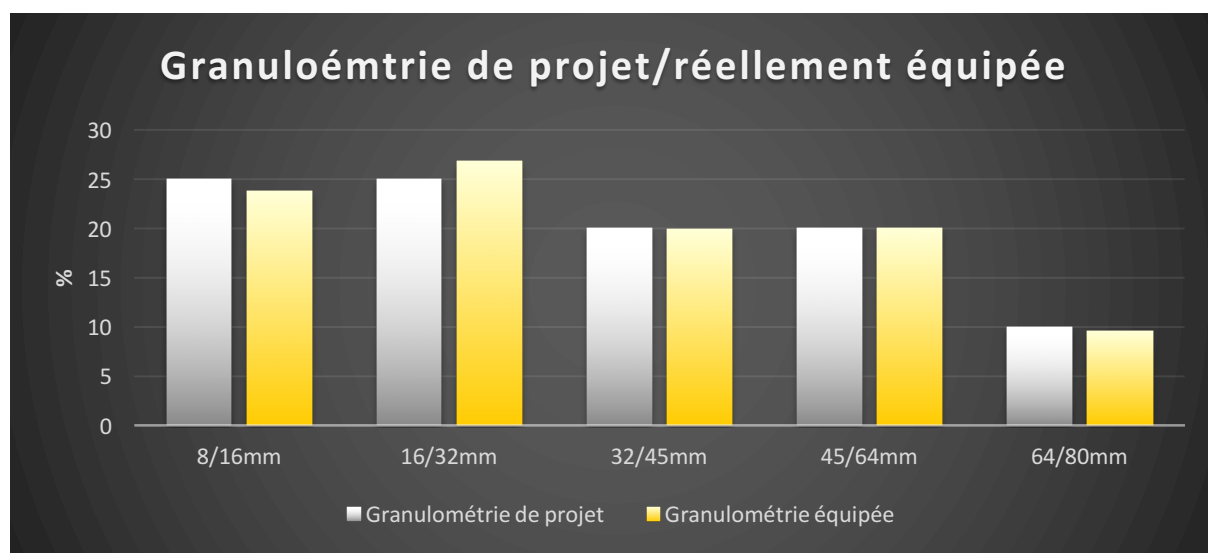


Figure 9 : Comparaison de la répartition granulométrique équipée avec celle prévue initialement

INSTALLATION DES TRACEURS SUR LE TERRAIN

Stratégie d'installation

Il a été décidé de déposer l'essentiel des traceurs par groupe ou point d'injection, équi-répartis sur le merlon d'injection. Nous avons donc fait le choix de faire 15 groupes d'une soixantaine de traceurs (type A). En plus de ces 15 groupes, nous avons également installés 5 groupes (type B), répartis sur une section en travers du chenal, de la rive gauche à la rive droite, au droit du merlon d'injection. Ces tas servent à comparer les différences potentielles de déplacement entre les sédiments réinjectés et ceux qui se trouveraient naturellement dans le chenal (cf. Figure 10).



Figure 10 : Localisation prévisionnelle des points d'injection

La répartition granulométrique des tas vise à correspondre à la répartition granulométrique globale de l'équipement. Le détails (identifiant du point d'injection, classe granulométrique, type de transpondeurs, nombre de particules) est donné dans le tableau ci-dessous (cf. Figure 11).

ID point d'injection	Classe granulométrique	Type transpondeur	Nb de particule	TOTAL / point d'injection
A1	16/32 mm	12mm	8	61
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	14	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	13	
A2	16/32 mm	12mm	8	62
	16/32 mm	23mm	9	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	15	
A3	16/32 mm	12mm	8	63
	16/32 mm	23mm	9	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	16	
A4	16/32 mm	12mm	8	61
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	15	
A5	16/32 mm	12mm	8	62
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	13	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	15	
A6	16/32 mm	12mm	8	59
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	11	
	45/64mm	32mm	11	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	15	
A7	16/32 mm	12mm	8	61
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	15	
A8	16/32 mm	12mm	8	60
	16/32 mm	23mm	9	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	5	

	8/16 mm	12mm	14	
A9	16/32 mm	12mm	8	60
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	14	
A10	16/32 mm	12mm	8	62
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	14	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	14	
A11	16/32 mm	12mm	8	60
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	14	
A12	16/32 mm	12mm	8	61
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	15	
A13	16/32 mm	12mm	8	60
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	5	
	8/16 mm	12mm	15	
A14	16/32 mm	12mm	8	59
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	5	
	8/16 mm	12mm	14	
A15	16/32 mm	12mm	8	58
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	10	
	64/80mm	32mm	5	
	8/16 mm	12mm	15	
B1	8/16mm	12mm	4	19
	16/32mm	12mm	3	
	16/32mm	23mm	2	
	32/45mm	23mm	4	
	45/64mm	32mm	4	

ID point d'injection	Classe granulométrique	Type transpondeur	Nb de particule	TOTAL / point d'injection
A1	16/32 mm	12mm	8	61
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	14	
	64/80mm	32mm	6	
A2	8/16 mm	12mm	13	62
	16/32 mm	12mm	8	
	16/32 mm	23mm	9	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
A3	64/80mm	32mm	6	63
	8/16 mm	12mm	16	
	16/32 mm	12mm	8	
	16/32 mm	23mm	9	
	32/45mm	23mm	12	
A4	45/64mm	32mm	12	61
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	15	
	16/32 mm	12mm	8	
	16/32 mm	23mm	8	
A5	32/45mm	23mm	12	62
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	15	
	16/32 mm	12mm	8	
A6	16/32 mm	23mm	8	59
	32/45mm	23mm	11	
	45/64mm	32mm	11	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16 mm	12mm	15	
A7	16/32 mm	12mm	8	61
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
A8	8/16 mm	12mm	15	60
	16/32 mm	12mm	8	
	16/32 mm	23mm	9	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	5	

Figure 11 : Détails des points d'injection de type A et B

Date et modalité d'intervention

L'installation des traceurs s'est déroulée le 14/04/2017.

L'installation sur site a été réalisée à l'aide d'une embarcation motorisée. Après vérification de l'extension du merlon d'injection à l'aide d'un sondeur, nous avons déposé les traceurs par groupe (ils avaient été préalablement triés par groupe dans des sacs). Les traceurs ont été déposés depuis l'embarcation. Pour chaque dépôt, un point au GPS a été pris (cf. Figure 12 & Figure 13). Le respect du plan de localisation prévisionnelle est globalement bon sauf pour les points d'injection 4 et 5, ainsi que les 6 et 10. Ces deux paires de point d'injection sont pas assez distantes, la première en raison des difficultés de manier l'embarcation dans le courant et de maintenir une position exacte, la seconde par erreur des opérateurs. Ce non-respect de la localisation prévisionnelle n'a pas d'incidence sur le suivi.



Figure 12 : Localisation finale des points d'injection



Figure 13 : Photographies des traceurs déposées à la surface du merlon d'injection

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La phase d'équipement et d'installation des traceurs est donc achevée. La poursuite de ce suivi est désormais attachée à la survenue d'un épisode hydrologique correspondant à des déversées dans le Vieux Rhône. Ces dernières peuvent être liées à un épisode de crue naturelle ou à l'arrêt du fonctionnement d'un ou plusieurs groupes sur l'aménagement hydroélectrique de Péage-de-Roussillon. La veille hydrologique est assurée par la Réserve Naturelle de l'Île de la Platière. Il est important de bien suivre tous événements susceptibles de commencer à mettre en mouvement la masse sédimentaire injectée afin de comprendre la dispersion progressive des traceurs. Il est préférable d'effectuer plusieurs petites prospections, quitte à démontrer que le merlon d'injection n'a pas connu de déplacement significatif plutôt que d'effectuer une recherche après plusieurs crues de moyenne importance : dans ce cas, d'une part les recherches donneront des taux de retour moins bons car ces derniers diminuent en fonction de la taille de la zone de prospection ; d'autre part dans le cas de l'intégration de plusieurs épisodes hydrologiques, nous ne pourrions pas faire la part des choses entre eux.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : PRESENTATION GENERALE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE PEAGE-DE-ROUSSILLON ET LOCALISATION DES TRAVAUX DE RESTAURATION (SOURCE : FOND CARTOGRAPHIQUE : SCAN 25 –IGN GEOPORTAIL)	5
FIGURE 2 : LIGNE D'EAU DU VIEUX RHONE DE PEAGE-DE-ROUSSILLON POUR DIFFERENTS DEBITS	6
FIGURE 3 : LIMITE APPROXIMATIVE DU DEPOT DE SEDIMENTS REINJECTES	6
FIGURE 4 : PHOTOGRAPHIE DES TRANSPONDEURS USUELLEMENT UTILISE	7
FIGURE 5 : RESULTATS DES GRANULOMETRIES DES SEDIMENTS EXTRAITS DU CASIER DE L'ÎLE DES GRAVIERS (SOURCE : QUALIFICATION DES GRAVIERS DU CHENAL DE CONNEXION, FAMY)	9
FIGURE 6 : REPARTITION GRANULOMETRIQUE PREVUE AVANT EQUIPEMENT	10
FIGURE 7 : PHOTOGRAPHIES : A) EXTRACTION DE LA MINI-CAROTTE APRES PERÇAGE EN WATER-DRILLING ; B) EXEMPLE DE PETITES PARTICULES FOREES (LE TRANSPONDEUR MESURE 12 MM) ; C) PARTICULES FOREES ET PARTICULES EQUIPEES DE TRANSPONDEURS, SCELLES PAR DE LA RESINE ; D) EXEMPLE DE TRACEURS PRETS A ETRE INJECTES (SOURCES : A)B)C) GEOPEKA, D)RESERVE DE LA PLATIERE)	11
FIGURE 8 : REPARTITION GRANULOMETRIQUE DES PARTICULES EFFECTIVEMENT EQUIPEES	12
FIGURE 9 : COMPARAISON DE LA REPARTITION GRANULOMETRIQUE EQUIPEE AVEC CELLE PREVUE INITIALEMENT	12
FIGURE 10 : LOCALISATION PREVISIONNELLE DES POINTS D'INJECTION	13
FIGURE 11 : DETAILS DES POINTS D'INJECTION DE TYPE A ET B	16
FIGURE 12 : LOCALISATION FINALE DES POINTS D'INJECTION	17
FIGURE 13 : PHOTOGRAPHIES DES TRACEURS DEPOSEES A LA SURFACE DU MERLON D'INJECTION	18

Fichiers livrés et métadonnées

Les données issues de cet état initial sont décrites dans le fichiers « **RNPlatière-Injection.xlsx** ».

Etude financée par :



Maître d'ouvrage :



Suivi de la mobilité de la charge de fond suite à une ré-injection de sédiments sur le Vieux Rhône de Péage-de-Roussillon



Rapport de mesure – Etat initial, suivi n°1 (juillet-août 2017)

Janvier 2018

Version 2.2.2

GeoPeka

Pôle suivi de terrain et prestation technique

46 allée d'Italie – 69 346 Lyon


			
Référence document	Code document	Code Client	Code Prestation
	R-	RNP-	Injection_PDR
Version	2.2.2		
Responsable	Guillaume Fantino		
Rédacteur principal	Brice Noirot, G.Fantino		
Autres rédacteurs	Ludovic Bultingaire, Guillaume Fantino		
Destinataire	B. Pont – Conservateur de la Réserve Naturelle de la Platière		

Tableau des révision		
Version	Date	Modification
1.0	27/07/2017	Création Etat initial et suivi 1
1.1	02/09/2017	Modification
2.0	10/01/2018	Suivi 1
2.1	15/01/2018	Relecture
2.2.1	26/01/2018	Validation
2.2.2	22/03/2018	Intégration des remarques de la RNP

SOMMAIRE

CONTEXTE DE L'ETUDE	5
Objectifs opérationnels.....	5
Paramètres suivis.....	5
Site d'étude	6
INSTALLATION DES TRACEURS (E0).....	9
SUIVI N°1 (E1).....	10
Evènement à l'origine du déclenchement du suivi	10
Date(s) d'intervention	11
Méthode de travail.....	11
Méthode de prospection	11
Surfaces prospectées	12
Résultats de la prospection (E1)	15
Le taux de retour global	15
Les taux de retour par point d'injection.....	16
Les distances et les orientations du transport	18
Les taux de retour par classe granulométrique (et par type de transpondeur)	21
Les taux de retour par type de transpondeur	21
Interprétation des résultats	22
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES SUITE AU SUIVI N°1.....	25

CONTEXTE DE L'ETUDE

OBJECTIFS OPERATIONNELS

Concessionnaire du Rhône entre la Suisse et la mer Méditerranée, la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) a en charge l'aménagement et l'entretien du lit du fleuve. Dans le cadre de ces missions d'intérêt général, elle entreprend également des opérations de restaurations écologiques. Parmi elles, d'anciens casiers de sédimentation, créés au XIXe s. dans le cadre de l'aménagement de la voie d'eau, sont démantelés. Ces opérations visent à ré-élargir les Vieux-Rhône (tronçons court-circuités par les aménagements hydro-électriques) en vue de restaurer des habitats aquatiques et rivulaires plus fonctionnels.

Une opération de ce type a été menée sur le Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon, sur le territoire de la Réserve Naturelle de la Platière (casiers de l'Île des Gravieres). La question du devenir des sédiments ainsi extraits s'est alors posée. Il a été décidé de les ré-injecter dans le Vieux-Rhône, en amont de travaux de restauration et en aval du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf. La Réserve Naturelle a décidé de réaliser un suivi de cette ré-injection, et plus particulièrement un suivi du déplacement des particules les plus grossières. Elle a mandaté la société GeoPeka, spécialiste du traçage sédimentaire de la charge grossière.

L'objectif de cette étude est donc d'équiper des particules sédimentaires avec des transpondeurs afin de suivre leur déplacement dans le chenal au fil des événements hydrologiques.

PARAMETRES SUIVIS

Il existe de nombreuses techniques et méthodes pour effectuer un traçage de la charge grossière. **Compte tenu de la demande initiale et des moyens disponibles nous avons proposé un suivi à l'aide de transpondeur RFID passifs.** Si les transpondeurs RFID passifs sont moins performants que les actifs, ils présentent l'avantage d'être nettement moins onéreux. Les distances de détection sont en revanche beaucoup plus faibles, mais la zone de recherche n'est pas, dans le cas de la présente demande, spécifiquement une contrainte pour cette technique. Le RFID actif est difficile à déployer dans le cadre de suivi dans des zones en eau, particulièrement quand les profondeurs peuvent être importantes (>2m).

Les transpondeurs RFID permettent de suivre les sédiments un à un. Une fois équipés d'un transpondeur, ils peuvent être localisés après une mise en mouvement. Cette localisation se fait à l'aide d'une antenne de détection qui active le transpondeur et qui restitue alors un code d'identification (le transpondeur est dit « passif » car il a besoin d'une

activation externe, celle de l'antenne) pour émettre ces informations. Chaque particule sédimentaire équipée est donc individuellement identifiée.

Cette technique permet donc de connaître les distances de déplacement de chaque particule, ainsi que leur trajectoire. La caractérisation de ces déplacements est analysée aux regards de l'évènement hydrologique à l'origine de la mise en mouvement des particules. Il est donc possible d'étudier les effets d'une ou plusieurs crues sur la charge grossière.

SITE D'ETUDE

Le site retenu pour cette opération de ré-injection de matériaux sédimentaires se localise sur le Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon, à environ 2,5 km des travaux de ré ouverture du train de casiers de l'Île des Gravieres. Les travaux, comme la ré-injection sont sur la rive gauche du Vieux Rhône (cf. Figure 1).



Figure 1 : Présentation générale de l'aménagement hydroélectrique de la plaine de Chautagne et banc de convexité où le suivi de placettes peintes est réalisé par la CNR

 (Source : fond cartographique : SCAN 25 –IGN Geoportail)

La zone de dépôt se trouve donc sur un tronçon court-circuité ayant une hydrologie dépendante du fonctionnement de l'équipement hydroélectrique de Péage-de-Roussillon. Depuis le 01/01/2014, un nouveau débit/régime réservé a été instauré passant ainsi de 10/20

m³/s à 50/125 m³/s (Figure 2). Au-delà 1600 m³/s (débit d'équipement de l'usine hydroélectrique, qui en réalité est plutôt de l'ordre de 1500 m³/s) les volumes d'eau du Rhône sont déversés dans le Vieux Rhône.

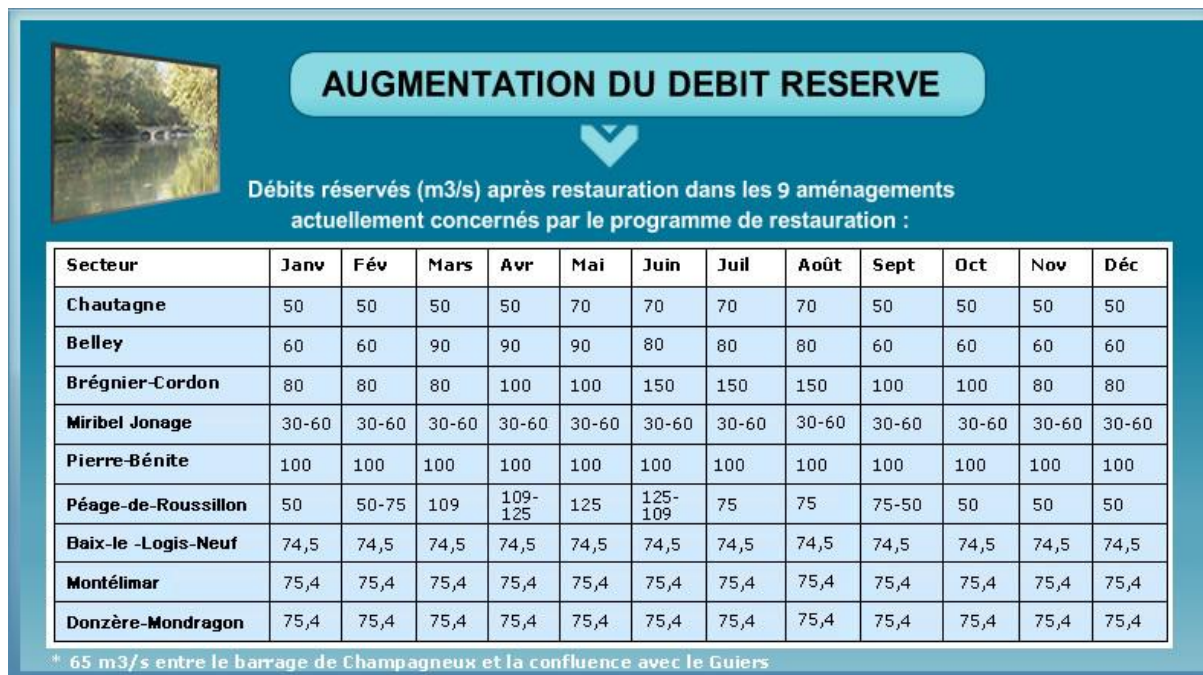


Figure 2 : Augmentation des débits réservés suite au programme de restauration (source : Rhoneco)

La zone de dépôt et de transition immédiates de la charge n'est pas sous influence de la retenue générée par le seuil de Serrière qui s'arrête au niveau de la mise à l'eau (Figure 3).

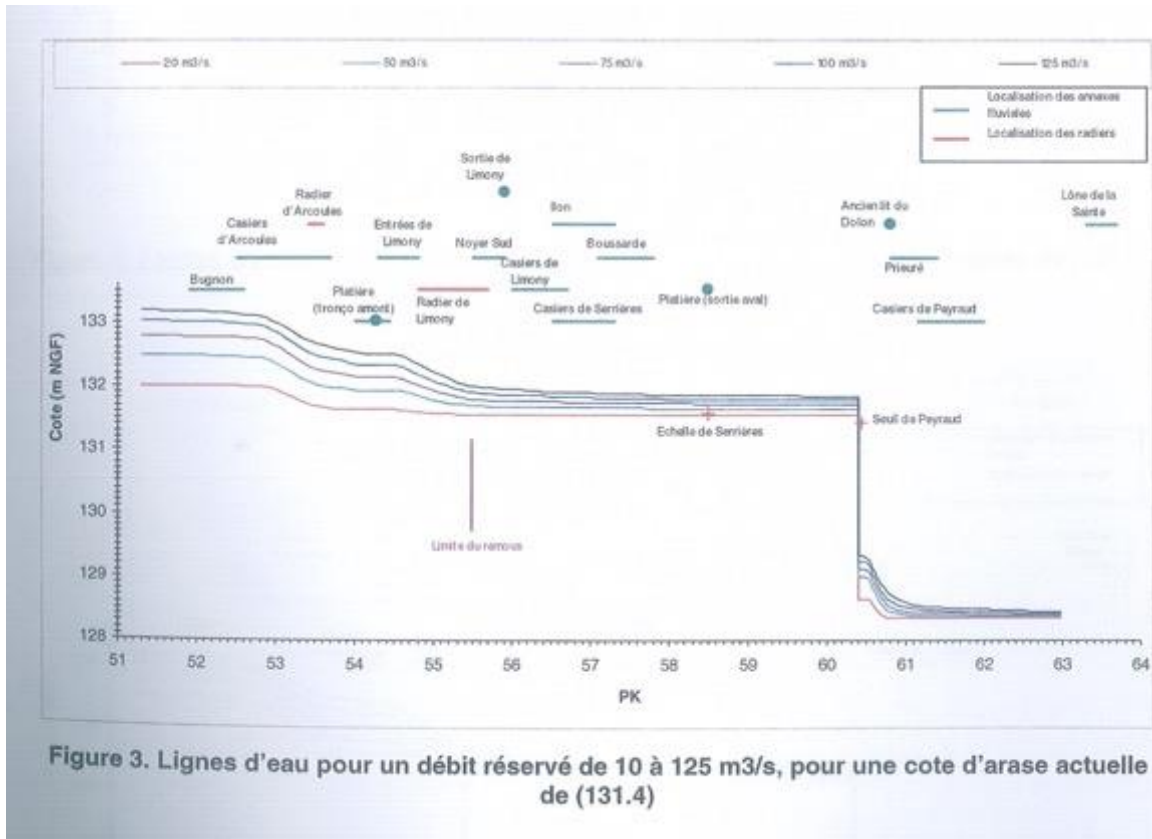


Figure 3 : Lignes d'eau pour un débit réservé de 10 à 125 m³/s, pour une cote d'arase actuelle de (131.4)

Les sédiments issus de l'opération de ré-injection ont été remis dans le chenal du Rhône depuis la berge gauche par la constitution d'une rampe de forme grossièrement rectangulaire, qui s'avance dans le lit perpendiculairement au sens de l'écoulement. Cette rampe a ensuite été arasée sous le niveau de la ligne d'eau (Figure 4).



Figure 4 : Localisation de la ré-injection de sédiments

INSTALLATION DES TRACEURS (Eo)

L'installation des traceurs s'est déroulée le **14/04/2017** à l'aide d'une embarcation motorisée.

L'essentiel des traceurs a été déposé par groupe ou point d'injection, équi-répartis sur le merlon d'injection. Nous avons fait le choix de faire 15 groupes d'une soixantaine de traceurs (type A). En plus de ces 15 groupes, nous avons également installés 5 groupes (type B), répartis sur une section en travers du chenal, de la rive gauche à la rive droite, au droit du merlon d'injection (annexe 1). Ces tas servent à comparer les différences potentielles de déplacement entre les sédiments réinjectés et ceux qui se trouveraient naturellement dans le chenal (cf. Figure 5).



Figure 5 : Localisation des points d'injection

SUIVI N°1 (E1)

EVENEMENT A L'ORIGINE DU DECLENCHEMENT DU SUIVI

Ce premier suivi fait suite à un déversement important dans le RCC, qui a duré près de trois jours, avec un débit maximum déversé proche de 500 m³/s (Figure 6) et un débit moyen de l'ordre de 400 m³/s. Ces déversées ont été provoquées par l'interruption du fonctionnement de certains groupes hydroélectriques (3 ?) sur l'usine de Sablons. Ce sont les seules déversées significatives enregistrées depuis l'installation des traceurs.

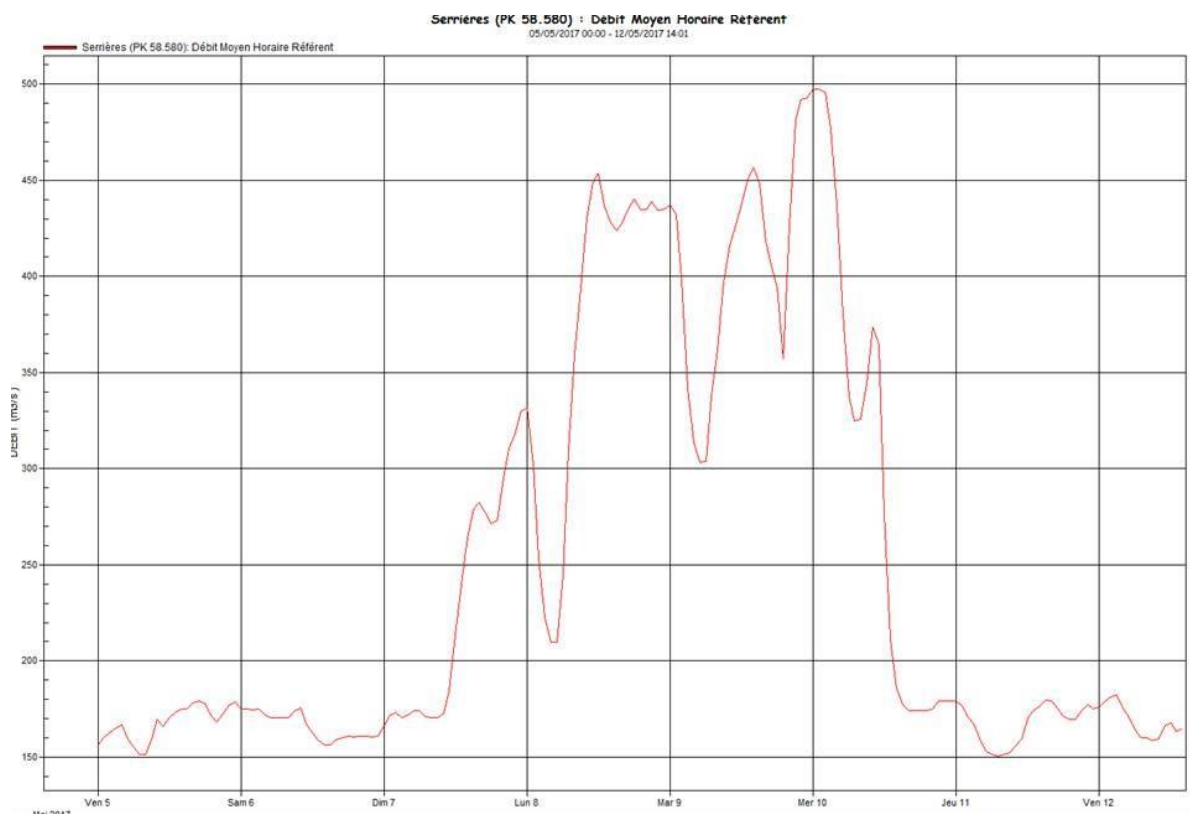


Figure 6 : Hydrogramme de crue du Rhône à Serrières du 9-10 mai 2017.

Suite à cet évènement hydrologique relativement peu important par rapport à une crue du Rhône, nous avons réalisé un premier suivi des traceurs pour évaluer si de tels débits étaient capables de provoquer un déplacement des particules (évaluation des débits critiques de mise en mouvement).

DATE(S) D'INTERVENTION

Ce suivi s'est échelonné sur 2 jours non consécutifs, à savoir les 26 juillet et 16 août 2017. Pendant l'inter-période de ces deux journées aucun épisode hydrologique notable a été relevé.

METHODE DE TRAVAIL

Méthode de prospection

Pour réaliser cette prospection, nous avons tracté par bateau une antenne de prospection rectangulaire sur le fond du lit. Celle-ci mesure 205 cm de long et 50 cm de large. Elle est attachée au niveau de la poupe du bateau par deux cordes de 10 m. L'une se situe sur tribord et l'autre sur bâbord. La prospection a été faite dans le sens de la descente uniquement car, lors de la remontée, la vitesse du courant combinée à celle du bateau fait remonter l'antenne. La notation des identifiants était manuelle, cela signifie que pour chaque détection l'opérateur devait saisir à la fois le point GPS et le code du transpondeur (17 caractères). Cette méthode génère une imprécision spatiale liée :

- au décalage entre l'antenne tractée (env. 10 m en arrière et parfois décalée par rapport à l'axe d'avancement de l'embarcation) et la position du GPS
- au temps nécessaire pour noter le code du transpondeur et la prise de point GPS couplé au déplacement du bateau,
- au risque d'erreur de notation (lors de la saisie de l'identifiant).

L'imprécision spatiale de nos relevés peut être évaluée par le traitement de détections en doublons. La réalisation d'une matrice des distances entre les 56 doublons (pour 17 traceurs) a permis de calculer que la distance moyenne entre les doublons était de **11,74 m**, avec une distance maximale de **31,17 m**. Pour des raisons de difficulté de traitement du fait des vitesses de l'embarcation non constantes nous n'avons pas corrigé, pour ce suivi, le décalage de localisation lié au système de cordage. Nous pouvons alors estimer que les particules qui ont été détectées à moins de 12 m de leur point d'injection n'ont pas bougé.

Surfaces prospectées

Cette prospection a été réalisée à partir des points d'injection les plus amont.

Ces deux jours de travail ont permis de réaliser 13 heures de prospection effective, soit un linéaire de 12 368 m en comptant uniquement les descentes, ce qui représente une surface couverte de 2,4 ha (Figure 7 ; annexe 2).

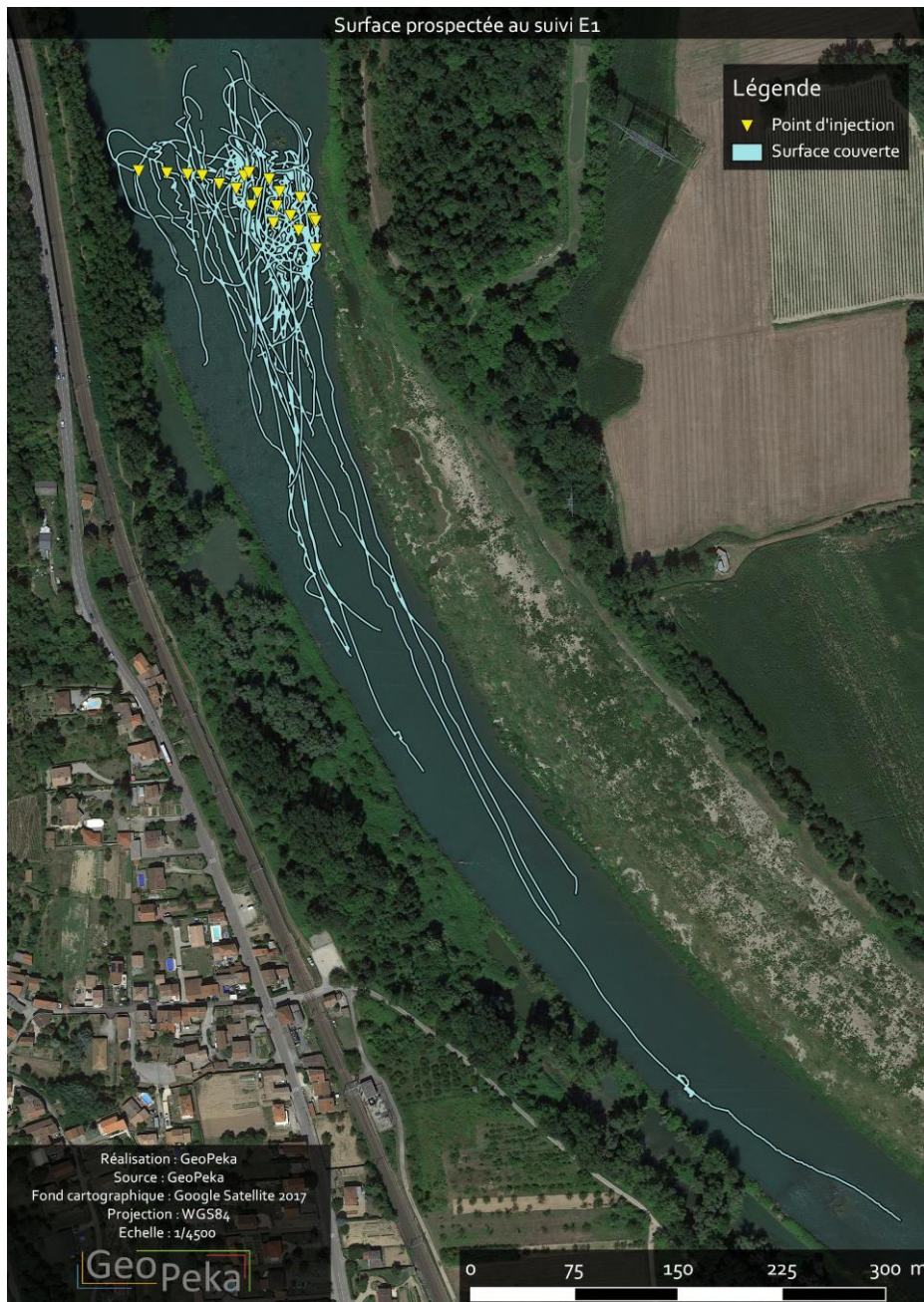


Figure 7 : Traces des prospections et surface prospectée lors du suivi E1

La rive droite a aussi été prospectée. A ce niveau, nous avons d'ailleurs rencontré quelques difficultés de navigation dues à la présence de patches de végétation aquatique (Figure 8) qui venaient se prendre soit dans l'antenne et son système de traction, soit directement dans l'hélice du moteur du bateau.



Figure 8 : Végétation aquatique prise dans l'hélice du moteur

Nous avons évalué la différence d'intensité de prospection en fonction des secteurs en nous basant sur une analyse par maille de 25 m / 25 m (Figure 9). Cette figure permet de rendre compte du cumul de linéaire prospecté en fonction de l'aire de la maille (en cm/m²).

On constate que le secteur des points d'injection a été très prospecté. L'intensité de prospection est comprise entre 100 et 125 cm/m² pour la majorité des points d'injection. Les autres sont comprises entre 50 et 100 cm/m². Seul le point #B05, le plus proche de la rive droite, a une intensité de prospection plus faible comprise entre 25 et 50 cm/m².

En revanche, entre 250 et 500 m à l'aval des points d'injection, le site a été peu prospecté et à plus de 500 m à l'aval il a été peu, voire pas, prospecté.

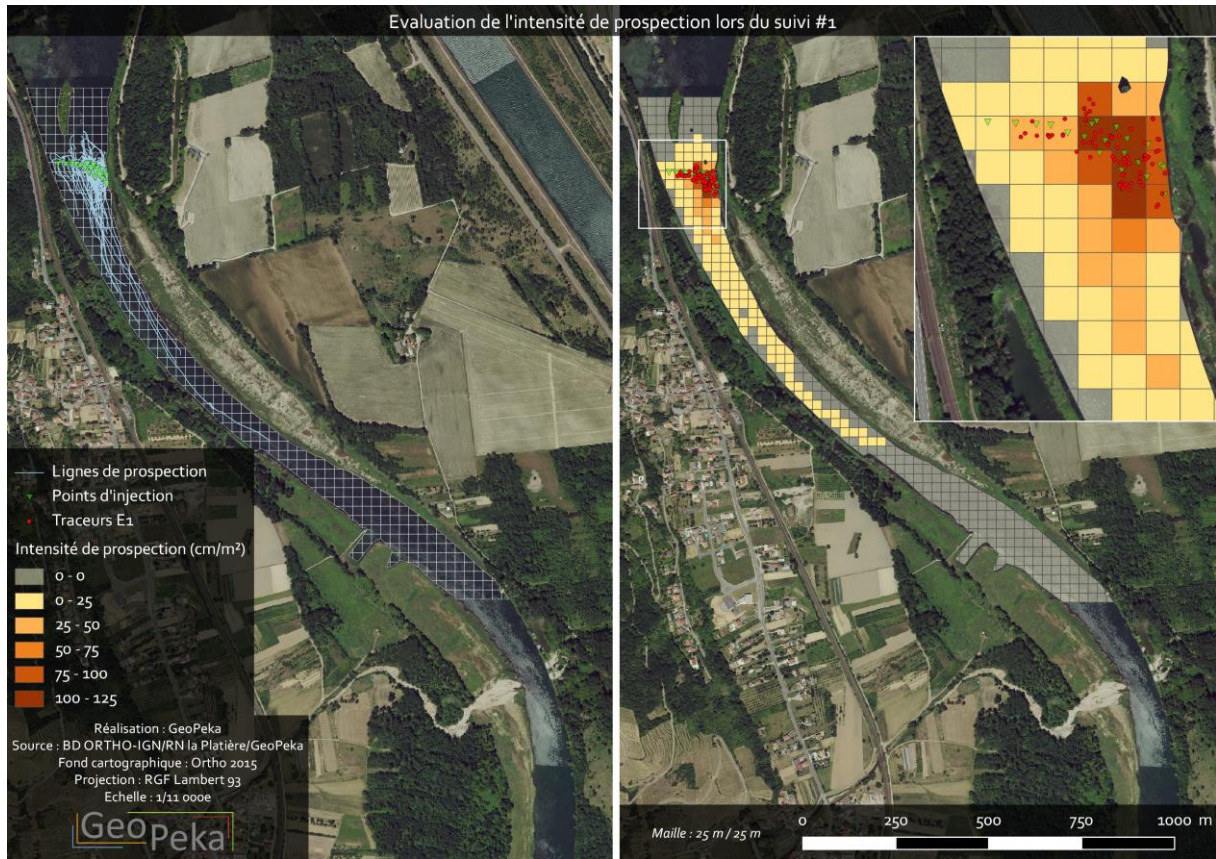


Figure 9 : Evaluation de l'intensité de la prospection lors du suivi #1.

RESULTATS DE LA PROSPECTION

(E1)

Le taux de retour global

Lors de ce premier suivi, nous avons détecté 104 positions de traceurs (annexe 3). Certains ont été détectés plusieurs fois, créant ainsi des doublons. Afin de déterminer une unique position pour chacun des traceurs, nous avons calculé les coordonnées moyennes des doublons. Une fois les doublons supprimés, le nombre de traceurs effectivement retrouvé est de 82 (Figure 10). Sur les 991 traceurs injectés, cela représente un **taux de retour global de 8,3%**.



Figure 10 : Localisation des traceurs détectés au suivi E1

Les taux de retour par point d'injection

En complément de ce taux de retour global, nous avons calculé le taux de retour par point d'injection.

La distribution statistique des taux de retour (cf. Figure 11) révèle que le taux de retour maximal est de 23,3 % (point d'injection #09, zone A). Le taux de retour minimal est de 0 % pour le point d'injection #B5 (point d'injection le plus proche de la rive droite dans la zone B).

La répartition géographique des taux de retour n'indique pas de structures spatiales nettes des résultats (cf. Figure 12). Ainsi par exemple sur les 7 points d'injection ayant un taux de retour supérieur à 10 %, quatre appartiennent à la zone d'injection A et trois à la zone B. **Toutefois il est possible de noter une très légère différence entre les deux zones d'injection (zone A = 8 % ; zone B = 11 % ; cf. Figure 13).**

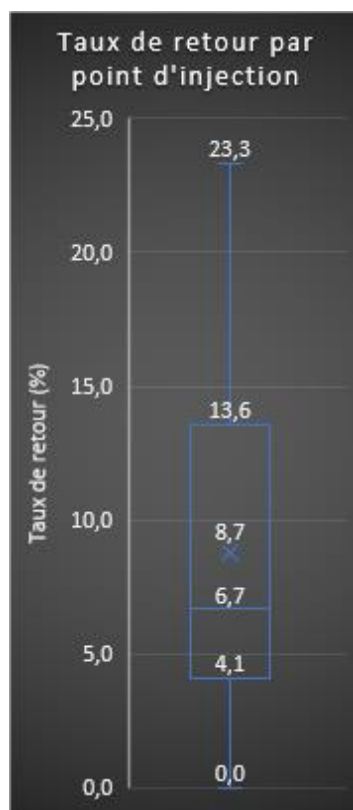


Figure 11 : Distribution statistique des taux de retour par point d'injection



Figure 12 : Localisation des taux de retour lors du premier suivi par point d'injection

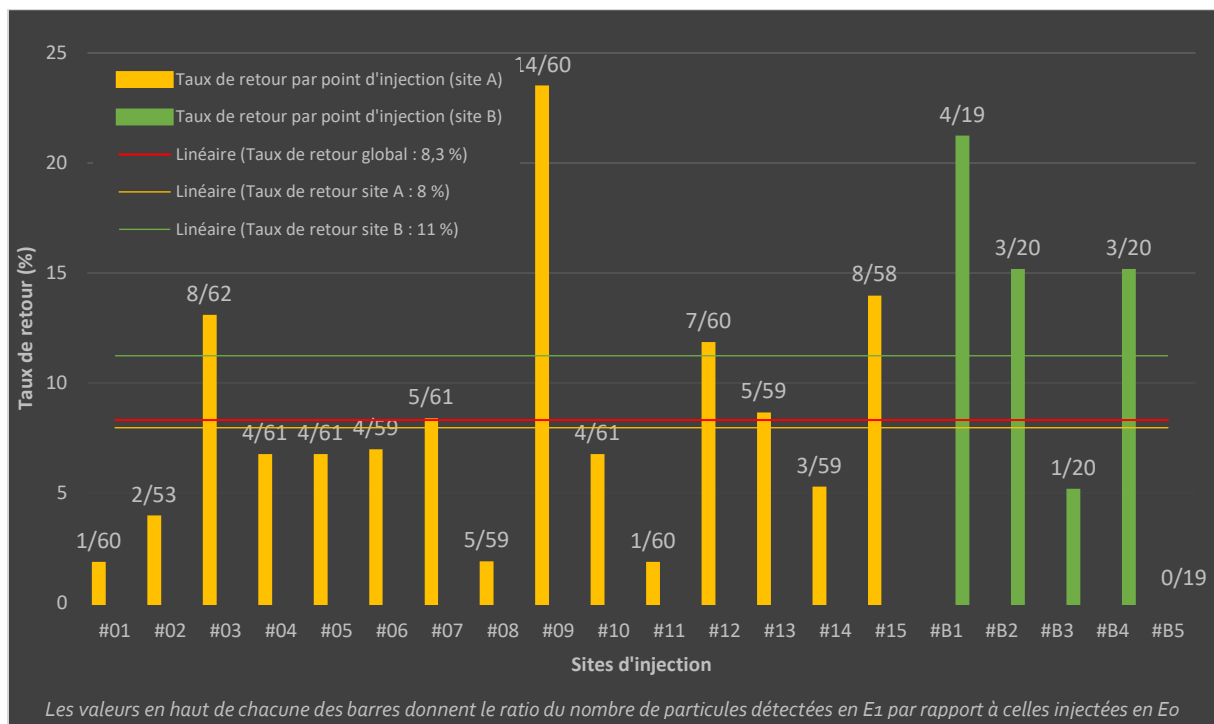


Figure 13 : Présentation des taux de retour par point d'injection et par site (A : jaune / B : vert)

Les distances et les orientations du transport

Calcul des distances de transport

La distribution statistique des distances parcourues par les traceurs (Figure 14) montre que les traceurs ont été détectés à une **distance moyenne de 11,6 m** de leur point d'injection. La particule (R 8000E1349EA9BAAD) est celle qui a été retrouvée la plus loin (41,4 m) de son point d'injection (#04). Elle fait partie de la classe granulométrique 8-16 mm et est équipée d'un transpondeur de 12 mm. La trajectoire de cette particule est néanmoins surprenante, puisqu'elle est perpendiculaire au chenal.

Cette figure montre aussi que :

- ¼ des particules ont été détectées à moins de 7,6 m de leur point d'injection,
- ¼ des particules ont été détectées entre 7,6 et 10,5 m de leur point d'injection,
- ¼ des particules ont été détectées entre 10,5 et 13,4 m de leur point d'injection,
- ¼ des particules ont été détectées entre 13,4 et 21,4 m de leur point d'injection

Compte tenu de la marge d'erreur de localisation de nos mesures, nous pouvons dire que seul ¼ des particules détectées se sont déplacées de manière significative.

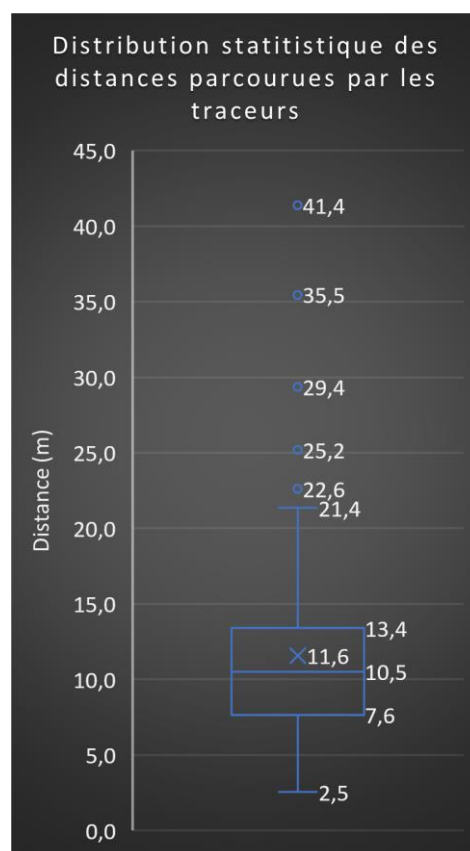


Figure 14 : Distribution statistique des distances parcourues par les traceurs

Les distances moyennes parcourues par les traceurs par point d’injection et par site indiquent qu’il n’y a pas de différence notable de distance de transport entre la zone A (distance moyenne de 11,5 m) et la zone B (distance moyenne de 12 m). Les traceurs de 4 points d’injection qui ressortent par leur distance de transport sont, sur la zone A, les points #04 (21,1 m), #08 (29,4 m) et #11 (20,0 m) et #B4 (18,5 m) pour la zone B (Figure 15). Ces points d’injections sont plutôt localisés au centre du chenal.

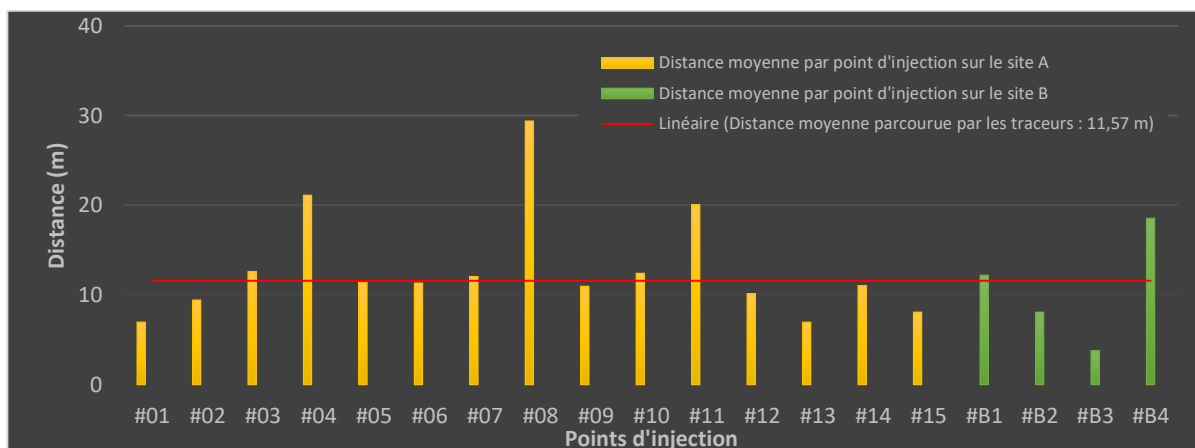


Figure 15 : Distances moyennes parcourues par les traceurs par point d'injection et par site (A : jaune ; B : vert)

Trajectoires des traceurs

La carte ci-dessous (Figure 16) montre les trajectoires théoriques des traceurs entre leur point d’injection et le premier suivi. Cette carte rend compte visuellement, d’une part de la faiblesse des distances entre les points d’injection et les traceurs retrouvés lors de ce premier suivi, et d’autre part de l’imprécision des localisations sur de si faibles distances de transport (points retrouvés localisés en amont des points d’injections par exemple). Les trajectoires sont globalement orientées Nord-Sud, dans le sens du chenal, mais certaines prennent une direction Est-Ouest (Figure 17).



Figure 16 : Trajectoires des traceurs entre leur point d'injection (Eo)

 et leur point de détection lors du premier suivi (E1)

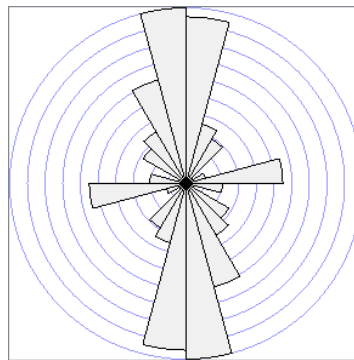


Figure 17 : Orientation des particules transportées entre Eo et E1

Les taux de retour par classe granulométrique (et par type de transpondeur)

Les taux de retour par classe granulométrique sur l'ensemble des traceurs (Figure 18) montrent que ce sont les particules les plus grossières (classe 64-80 mm ; 45-64 mm ; 32-45 mm), qui ont été les plus retrouvées (respectivement 15,6% ; 9,9% et 11,1%).

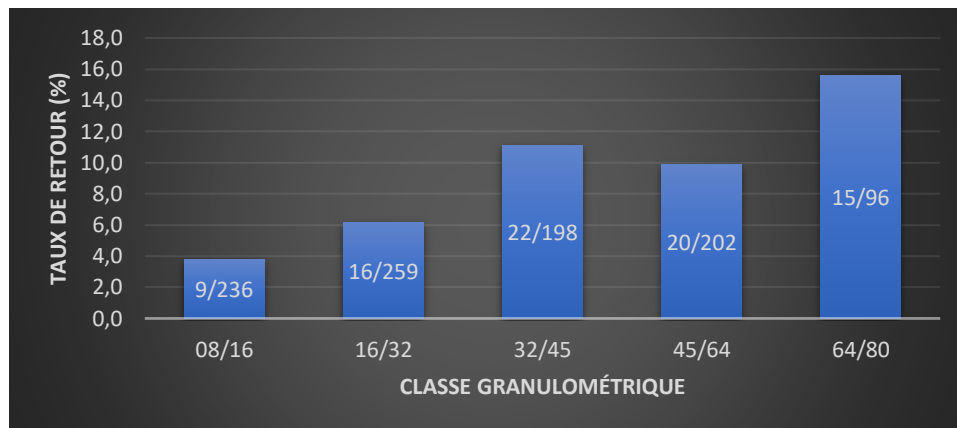


Figure 18 : Taux de retour de chacune des classes granulométriques (100% = ensemble de la classe granulométrique)

Le D₅₀ des traceurs retrouvés se trouve dans la classe 32-45 mm.

Les taux de retour par type de transpondeur

Les taux de retour par type de transpondeur (Figure 19) révèlent que les transpondeurs de 12 mm ont été peu détectés. Nous n'en avons retrouvé que 3,2 % lors de ce suivi, tandis que nous avons détecté 10,3 % et 12,4 % des transpondeurs de 23 mm et de 32 mm.

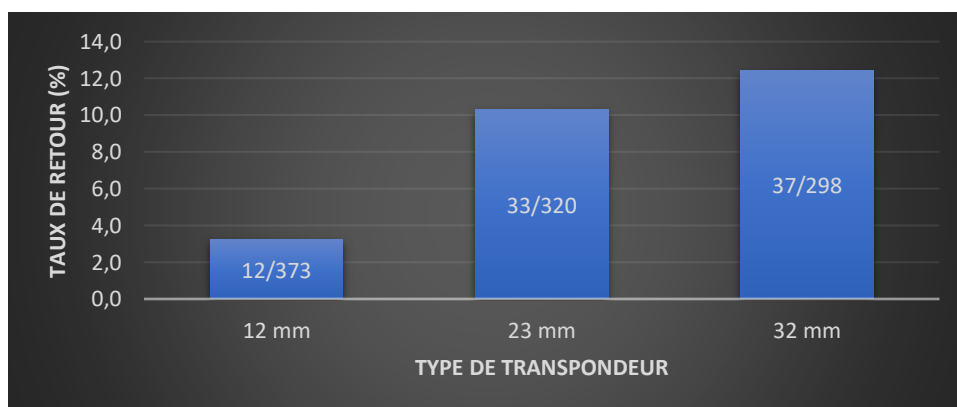


Figure 19 : Taux de retour par type de transpondeur

Interprétation des résultats

Un taux de retour très faible

Le premier élément marquant qui ressort des résultats de ce premier suivi est un taux de retour global très faible (8,3%). Plusieurs éléments permettent de mieux comprendre ce taux de retour.

Dans un premier temps, la prospection a été assez courte (13 heures) et, qui plus est, menée la première journée avec une antenne ayant des réglages non optimisés (distance de détection de l'ordre de 20 cm au lieu des 60/70 cm habituels). Ces éléments n'expliquent pas, en revanche, à eux seuls, le très faible taux de retour. Les autres explications possibles sont :

- Un export massif des particules vers l'aval dans des zones non prospectées
- Un enfouissement des particules dans la couche active plus profond que les distances de détection de l'antenne

La première hypothèse ne peut pas être raisonnablement retenue dans la mesure où l'épisode hydrologique reste de faible ampleur (500 m³/s) et que les zones à l'aval immédiat de la zone d'injection ont été prospectées sans qu'aucune détection n'ait eu lieu. Les détections enregistrées sont toutes localisées au niveau de l'injection, il serait alors surprenant qu'une partie ne se soit pas déplacée et qu'une autre ait été mise en mouvement sur plus de 500 m sans qu'aucune particule ne se soit arrêtée sur une position intermédiaire.

Pour ce qui est de la deuxième hypothèse, elle semble peu probable car le fond du chenal du RCC de Péage de Roussillon est réputé fortement pavé (absence de couche active).

L'explication la plus probable de ce faible taux de retour est paradoxalement une très faible mobilisation de la masse sédimentaire injectée.

Mobilité quasi nulle de la masse sédimentaire injectée

L'analyse de la marge d'erreur de la localisation des traceurs (entre 10 et 12 m) nous permet d'affirmer que très peu de traceurs détectés se sont déplacés de manière significative. De plus, la localisation de détection indique clairement une disposition en paquet des traceurs autour de leur point d'injection. La quasi absence de déplacement est d'ailleurs à mettre en rapport, paradoxalement, avec notre taux de retour, ce dernier s'expliquant non pas en raison de la dispersion, mais des problèmes de collision des signaux entre transpondeurs. L'utilisation de transpondeurs RFID passifs induit que deux transpondeurs ne peuvent pas être détectés en même temps, que seul le plus puissant est détecté, voir que les deux signaux s'inhibent entre eux.

A partir de cette hypothèse, nous pouvons mettre en lumière :

- La faible détection des classes granulométriques les plus petites, équipées des transpondeurs les moins puissants, et donc moins bien détectées dans les cas de collision,

- Les meilleurs taux de retour sur les points où les nombres de traceurs injectés étaient plus petits (zone B) quand bien même les efforts de prospection ont été plus faible sur cette zone (cf. Figure 9)

Ce premier suivi a permis de mettre évidence que les particules n’avaient pas bougées, alors que nous avons injecté des traceurs dont l’axe B était de 8 mm. Cette valeur est inférieure à l’estimation de D. Vasquez ¹ concernant la médiane des particules mises en mouvement lors d’une crue biennale, estimée à 15 mm à Péage de Roussillon (Figure 20). Ce résultat n’est finalement pas surprenant puisque l’épisode hydrologique (débit de 400 m³/s avec des pointes à 500 m³/s) était inférieur à une crue biennale. Les travaux de D. Vasquez montrent qu’une crue décennale pourrait en revanche mobiliser des particules ayant un axe B inférieur à 43 mm environ (Figure 21), ce qui signifie que près de 70 % des traceurs pourraient être mobilisés.

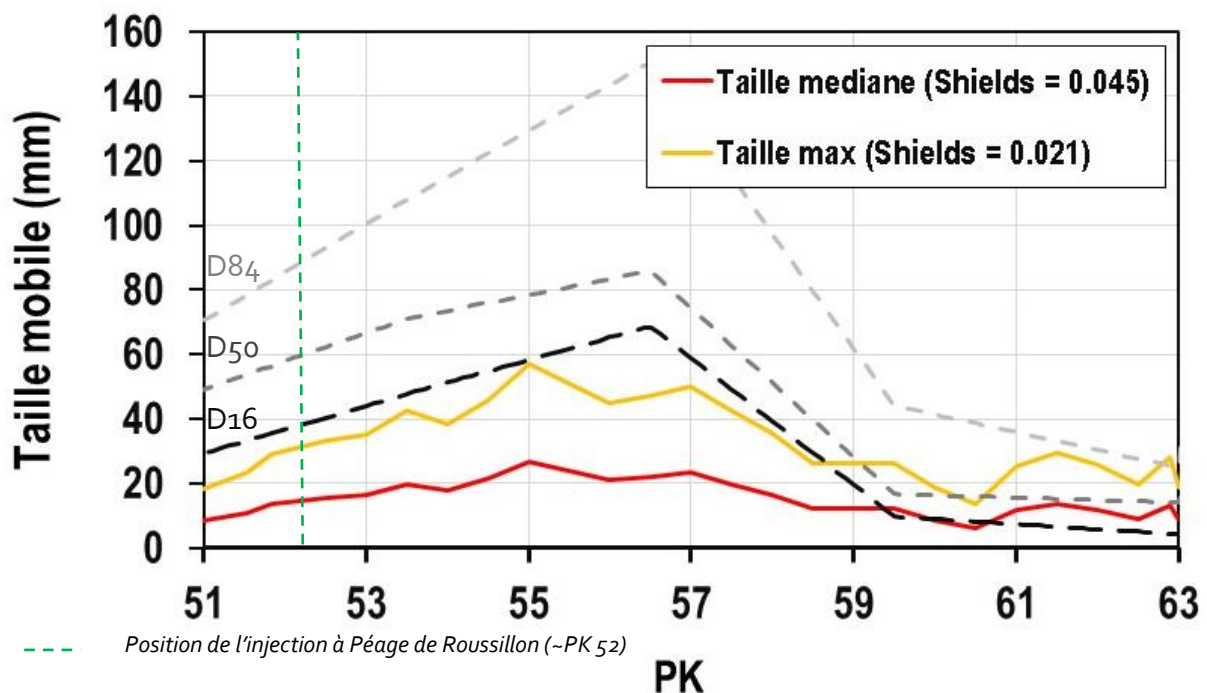


Figure 20 : Taille médiane et taille maximale des particules mises en mouvement sur le Rhône pour une crue biennale

¹ OSR 4, 2015-2017, action I.4 : Modélisation des évolutions morphodynamiques du chenal sur le long terme, et action V.1 : Implémentation du charriage et de la morpho-dynamique dans Adis-TS

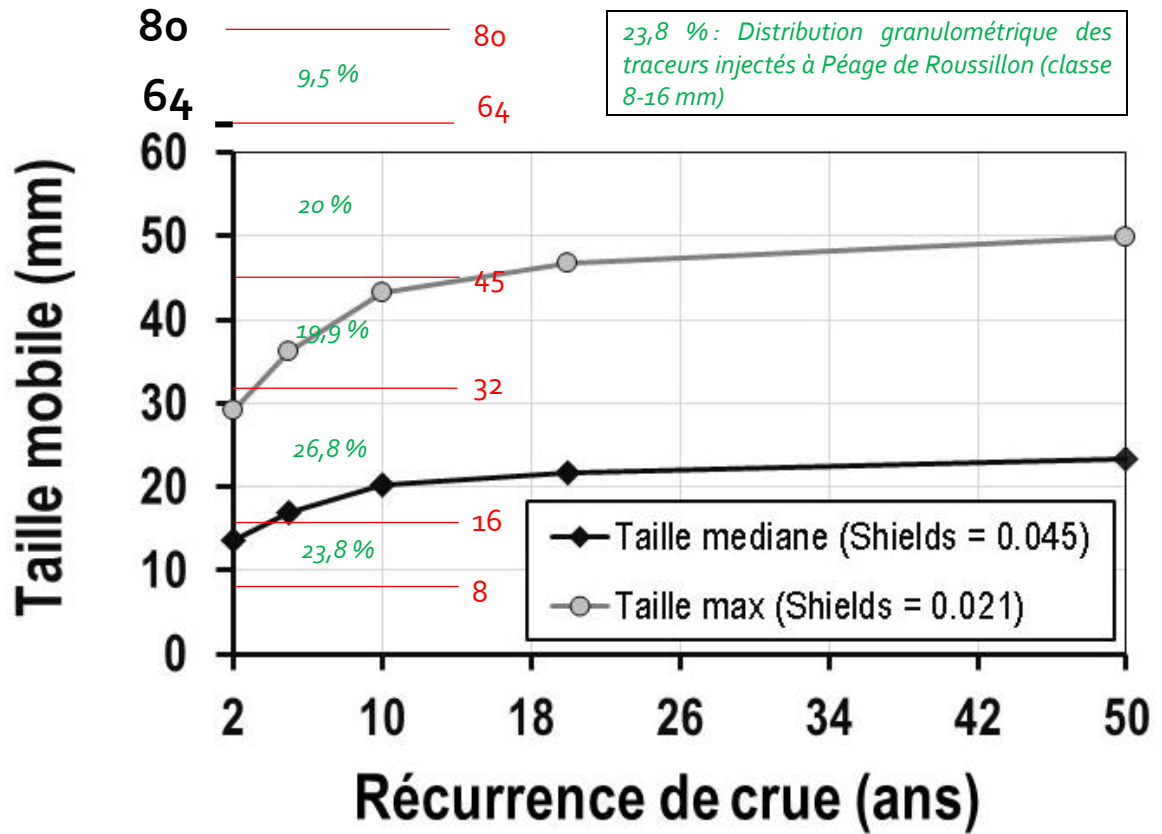


Figure 21 : Evolution de la taille médiane et de la taille maximale des particules mises en mouvement en fonction de la récurrence de crue

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

SUITE AU SUIVI N°1

Ce premier suivi, a permis de tester notre méthode et notre matériel de prospection. Ainsi, lors du prochain suivi, nous n'aurons pas besoin de noter manuellement les traceurs détectés. L'identifiant des transpondeurs, ainsi que leur heure de localisation seront implémentés automatiquement sur une tablette. Cela nous permettra d'avoir des données un peu plus précises et de traiter l'ensemble des tags détectés par le lecteur de PIT tags.

L'ensemble des données acquises lors de ce suivi, à la fois les surfaces prospectées, les faibles taux de retour, la position (E1) des traceurs et les distances parcourues, indique que les traceurs n'ont pas bougé significativement. Ainsi, il semblerait qu'un débit de 500 m³/s ne permette pas de mobiliser les traceurs équipés au niveau de l'injection réalisée par la CNR.

D'après les travaux de D. Vasquez, une crue décennale devrait mobiliser les traceurs dont la médiane des particules mobilisées serait de 20 mm et la taille maximale serait de plus de 40 mm (Figure 21). Etant donné la crue (décennale) que vient de connaître le Rhône, nous pouvons nous attendre à ce que les particules aient été transportées sur de plus longues distances qu'entre l'installation et le premier suivi. Cette hypothèse sera vérifiée lors du prochain suivi.

Annexe 1

Nom du fichier	DESCRIPTION
RNP-RHO-Eo-Injection	Position de l'injection des traceurs

Type	Point
FORMAT	.shp (+fichiers associés)
Encodage	UTF 8
Référence planimétrique	RGF Lambert 93
Référence altimétrique	NTF - IGN 69

Description des champs et valeurs		
Champs	Unité/format	Description
Pt_Inject	#[numérique]	Identifiant du point d'injection des traceurs
Classe_GR	[texte]	Référence du transpondeur implanter dans le traceur
Type_tag	mm	Classe granulométrique du traceur, en millimètre
ID_tag	[Num - Cde héxa]	Identifiant du traceur
X_LB93	m	X du point GPS, en Lambert93
Y_LB93	m	Y du point GPS, en Lambert93
Prec_XY	cm	Précision des points GPS
E1_%retour	%	Taux de retour du point d'injection sur lequel le traceur a été injecté
Date	aaaa-mm-jj	Date d'acquisition de la donnée
Producteur	[texte]	Producteur de la donnée

Annexe 2

Nom du fichier	DESCRIPTION
RNP-RHO-E1_Surfaces Prospectées	Surface couverte lors de la prospection E1

Type	Polygone
FORMAT	.shp (+fichiers associés)
Encodage	UTF 8
Référence planimétrique	RGF Lambert 93
Référence altimétrique	NTF - IGN 69

Description des champs et valeurs		
Champs	Unité/format	Description
Suivi	[Num - Cde héxa]	Identifiant du traceur
Aire	ha	Surface courverte lors du suivi E1
Longueur	m	Distance de prospection parcourue entre E0 et E1, en mètre
Date	aaaa-mm-jj	Date d'acquisition de la donnée
Producteur	[texte]	Producteur de la donnée

Annexe 3

Nom du fichier	DESCRIPTION
RNP-RHO-E1_Traceurs	Position des traceurs détectés au suivi E1

Type	Point
FORMAT	.shp (+fichiers associés)
Encodage	UTF 8
Référence planimétrique	RGF Lambert 93
Référence altimétrique	NTF - IGN 69

Description des champs et valeurs		
Champs	Unité/format	Description
ID_tag	[Num - Cde héxa]	Identifiant du traceur
Type_tag	mm	Classe granulométrique du traceur, en millimètre
Classe_GR	[texte]	Référence du transpondeur implanter dans le traceur
Pt_Inject	#[numérique]	Identifiant du point d'injection des traceurs
Distance	ml	Distance évaluée entre l'état E0 et E1
X_moy	ml	Coordonnée moyenne X du point GPS, en Lambert93
Y_moy	ml	Coordonnée moyenne Y du point GPS, en Lambert93
Date	aaaa-mm-jj	Date d'acquisition de la donnée
Producteur	[texte]	Producteur de la donnée

Etude financée par :



Maître d'ouvrage :



Suivi par traçage RFID de la mobilité des sédiments d'une opération de réinjection dans le Vieux Rhône de Péage de Roussillon



SUIVI #2 - RAPPORT FINAL

Mars 2019

Version 1.3


			
Référence document	Code document	Code Client	Code Prestation
	RF-	RNP-	PIT_PDR
Version	1.2		
Responsable	Guillaume Fantino		
Rédacteurs principaux	Guillaume Fantino		
Autres rédacteurs			
Destinataire	B. Pont - RN de l'Île de la Platière		

Tableau des révision		
Version	Date	Modification
1.0	30/08/2018	Création
1.1	Sept 2018	Rédaction
1.2	Mars 2019	Relecture/intégration S3
1.3	Mars 2019	Correction

Tables des matières

A.	Rappel du contexte de l'étude	4
1	Objectifs opérationnels	4
2	Périmètre d'étude	4
B.	Rappel de phase d'installation et des résultats du premier suivi.....	8
1	Injection des traceurs.....	8
1.1	Equipement des traceurs.....	8
1.2	Installation des traceurs sur site.....	9
2	Hydrologie et dates d'intervention	10
3	Résultats du premier suivi.....	11
C.	Résultat du deuxième suivi.....	13
1	Contexte du deuxième suivi.....	13
1.1	Hydrologie et dates d'intervention	13
1.2	Méthodologie.....	15
2	Résultats	22
2.1	Taux de retour	22
2.2	Localisation des traceurs	23
2.3	Granulométries des traceurs	24
2.4	Distances de transport	26
3	Synthèse des résultats et interprétations.....	32
3.1	Une remobilisation nette des sédiments réinjectés.....	32
3.2	Dynamique de la charge réinjectée.....	35
D.	CONCLUSIONS.....	38
E.	ANNEXES.....	39
1	Granulométrie de la charge injectée	40
2	Caractéristiques des traceurs par point d'injection	41
3	densité de prospection dans le chenal (suivi #2)	44
4	Localisation des traceurs par classes granuloémtriques	45

A. RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ETUDE

1 OBJECTIFS OPERATIONNELS

Concessionnaire du Rhône entre la Suisse et la mer Méditerranée, la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) a en charge l'aménagement et l'entretien du lit du fleuve. Dans le cadre de ces missions d'intérêt général, elle entreprend également des opérations de restauration écologique. Parmi elles, d'anciens casiers de sédimentation, créés au XIXe s. dans le cadre de l'aménagement de la voie d'eau, sont démantelés. Ces opérations visent à ré-élargir les Vieux-Rhône (tronçons court-circuités par les aménagements hydro-électriques) en vue de restaurer des habitats aquatiques et rivulaires plus fonctionnels.

Une opération de ce type a été menée sur le Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon, sur le territoire de la Réserve Naturelle de la Platière (casiers de l'Île des Graviers). La question du devenir des sédiments ainsi extraits s'est alors posée. Il a été décidé de les réinjecter dans le Vieux-Rhône, en amont de travaux de restauration et en aval du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf. La Réserve Naturelle a décidé de réaliser un suivi de cette réinjection, et plus particulièrement un suivi du déplacement des particules les plus grossières. Elle a mandaté la société GeoPeka, spécialiste du traçage sédimentaire de la charge grossière.

L'objectif technique de cette étude est donc d'équiper des particules sédimentaires avec des transpondeurs afin de suivre leur déplacement dans le chenal au fil des évènements hydrologiques. Le but de ce suivi est donc de pouvoir évaluer les distances de déplacement des particules sédimentaires au sein du Vieux Rhône et d'évaluer la pertinence d'opérations de restauration par réinjection de matériaux.

2 PERIMETRE D'ETUDE

Le site retenu pour cette opération de réinjection de matériaux sédimentaire se localise sur le Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon, à environ 2,5 km des travaux de ré ouverture du train de casiers de l'Île des Graviers. Les travaux, comme la réinjection sont sur la rive gauche du Vieux Rhône (cf. Figure 1).



Figure 1 : Présentation générale de l'aménagement hydroélectrique de la plaine de Péage de Roussillon et localisation des différents sites
(Source : fond cartographique : SCAN 25 –IGN Geoportail)

La zone de dépôt se trouve donc sur un tronçon court-circuité ayant une hydrologie dépendante du fonctionnement de l'équipement hydroélectrique de Péage-de-Roussillon. Depuis le 01/01/2014, un nouveau débit/régime réservé a été instauré passant ainsi de 10/20 m³/s à 50/125 m³/s (Figure 2). Au-delà 1600 m³/s (débit d'équipement de l'usine hydroélectrique, qui en réalité est plutôt de l'ordre de 1500 m³/s) les volumes d'eau du Rhône sont déversés dans le Vieux Rhône.

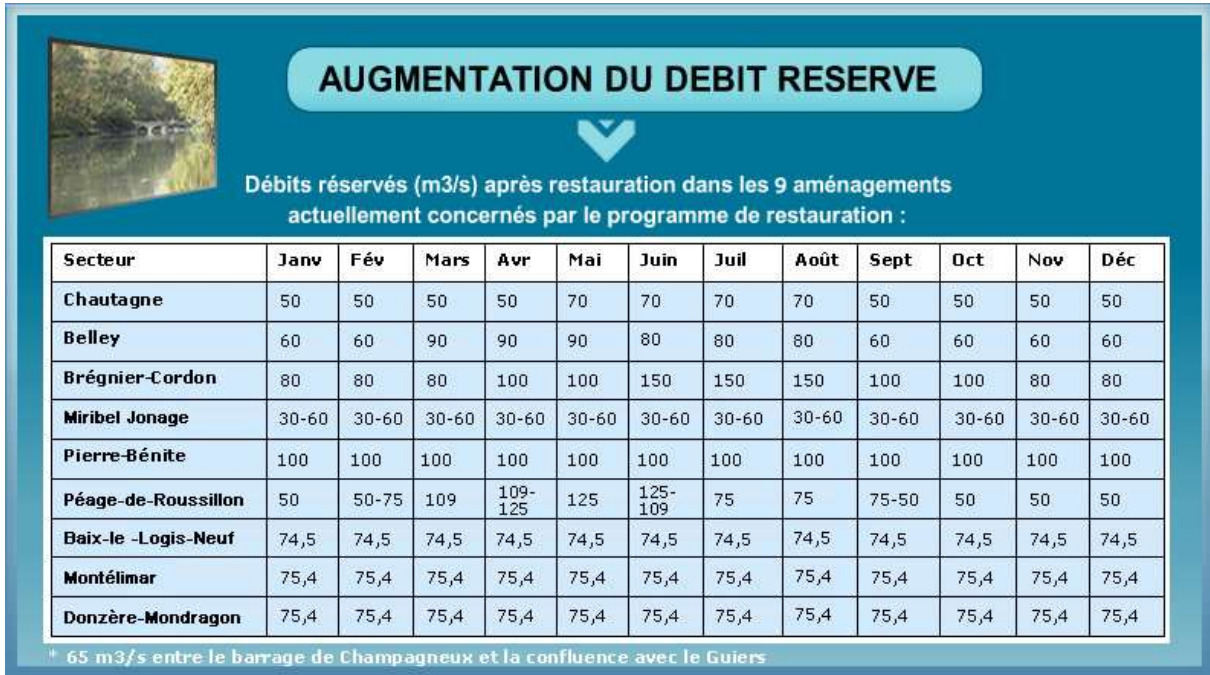


Figure 2 : Augmentation des débits réservés à la suite du programme de restauration (source : RhonEco)

La zone de dépôt et de transition immédiate de la charge n'est pas sous l'influence de la retenue générée par le seuil de Serrière qui s'arrête au niveau de la mise à l'eau (Figure 3).

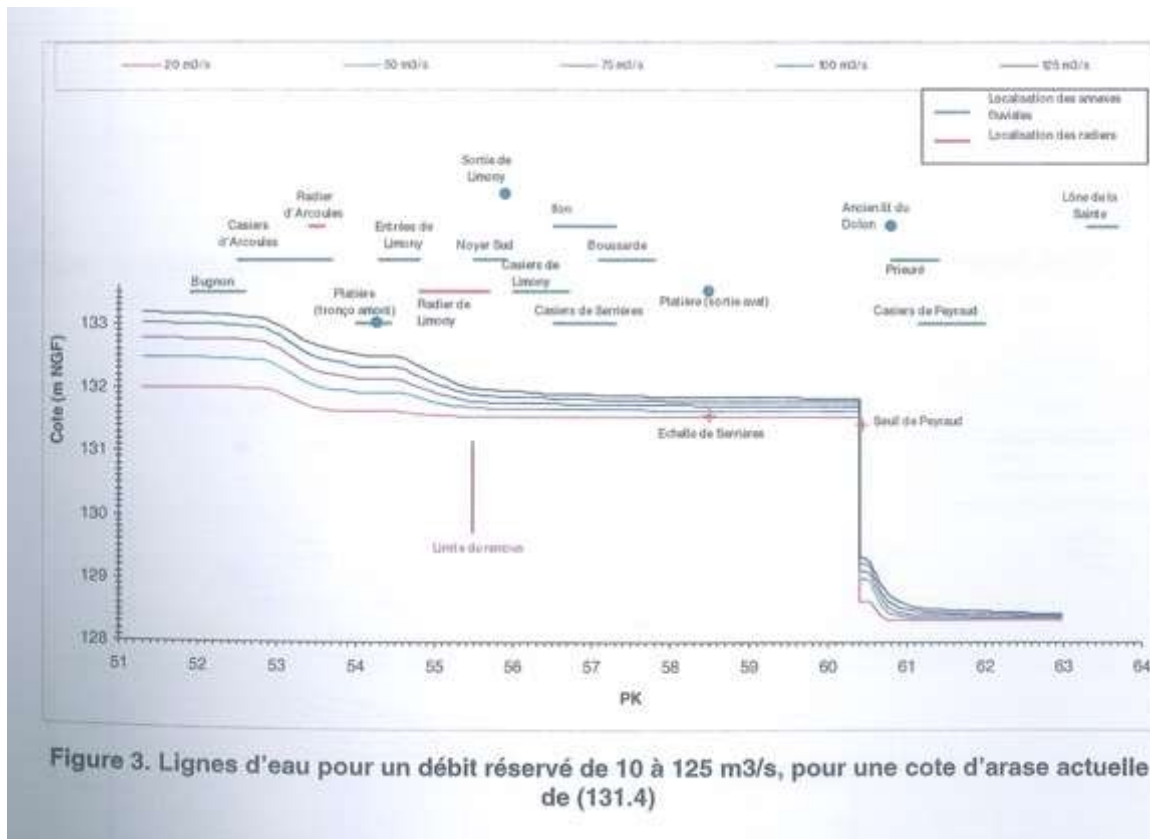


Figure 3 : Lignes d'eau pour un débit réservé de 10 à 125 m³/s, pour une cote d'arase actuelle de (131.4)

Les sédiments issus de l'opération de ré-injection ont été remis dans le chenal du Rhône depuis la berge gauche par la constitution d'une rampe de forme grossièrement rectangulaire, qui s'avance dans le lit perpendiculairement au sens de l'écoulement. Cette rampe a ensuite été arasée sous le niveau de la ligne d'eau (Figure 4).



Figure 4 : Localisation de la ré-injection de sédiments

B. RAPPEL DE PHASE D'INSTALLATION ET DES RESULTATS DU PREMIER SUIVI

1 INJECTION DES TRACEURS

1.1 Equipement des traceurs

Les transpondeurs retenus pour suivre la charge grossière sont donc de type RFID (Radio Frequency Identification) passif. Plusieurs types de formes existent (étiquette, jetons, ...) : ici nous avons retenus ceux usuellement utilisés dans le cadre de suivi sédimentaire, des transpondeurs de forme « ampoule de verre ». Il s'agit de petit tube de verre dont la longueur peut varier de 8 à 32 mm. Cette taille détermine la taille de l'antenne présente dans le transpondeur et donc influence en partie les distances de détection (les transpondeurs les plus gros offrent de meilleures distances de détection). Généralement deux tailles de transpondeur ont été utilisées : 23 et 32 mm. Dans le cadre de cette prestation, nous avons également testé l'utilisation de transpondeur du même type mais de 12 mm.



Les transpondeurs de 12 mm sont rarement utilisés pour les suivis sédimentaires (ils le sont plus communément pour les suivis piscicoles) pour deux raisons. D'une part, la création d'une entaille à la disqureuse ou le perçage (les deux techniques habituellement utilisées) de particules naturelles est difficile sur les particules de petites tailles, essentiellement en raison de la fracturation des sédiments ; d'autres parts les faibles distances de détection peuvent poser des problèmes dans le cas où le chenal est constitué d'une couche active épaisse, induisant un remaniement et un enfouissement des particules. Dans le cas du présent équipement, les deux contraintes ont été levées :

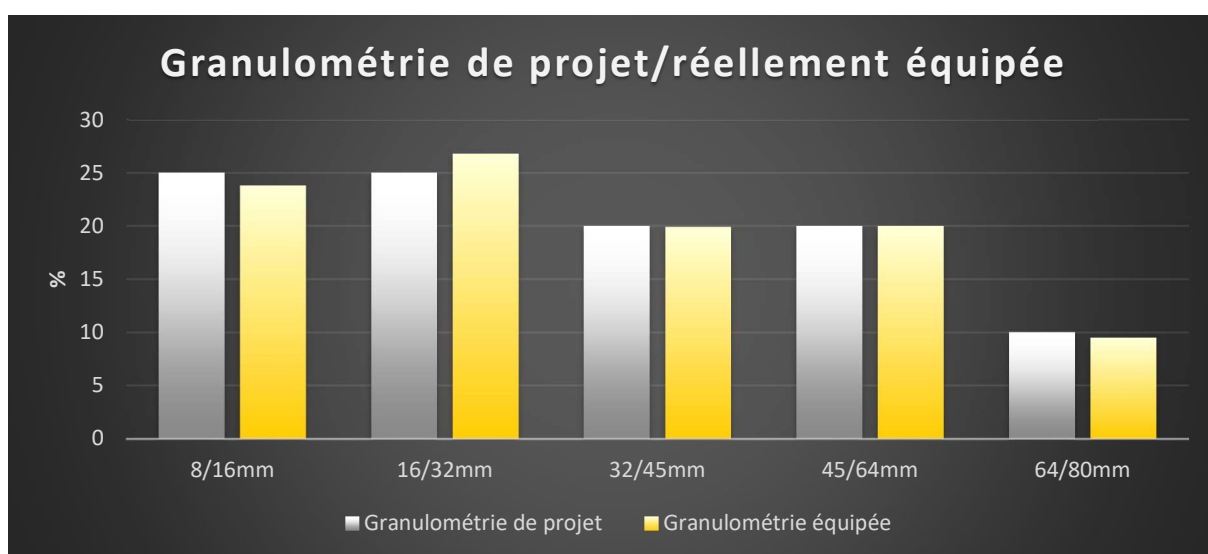
- Nous avons utilisé une technique de perçage spécifique (water-drilling) permettant de percer des particules de très petites tailles
- Le Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon s'est historiquement incisé et est actuellement relativement pavé. Il est probable qu'il n'y ait pas de couche active.

Nous estimons que les sédiments sont transportés et se déposent sur ce fond pavé ce qui réduit la problématique de l'enfouissement (sauf enfouissement par la masse injectée).

L'option d'utiliser des transpondeurs de 23 et 32 mm et de 12 mm a été guidée également pour essayer de conformer au mieux à la granulométrie des sédiments réinjectés.

La granulométrie de projet a été définie en fonction de quatre granulométries réalisées sur les matériaux injectés dans le chenal (cf. Annexe 1) et des contraintes techniques liées au perçage des particules. Nous avons finalement équipé plus 991 particules. Le détail de cet équipement est résumé dans le tableau et le graphique suivant.

Classe granulométrique	Taille traceur	Nb	Nb	%
08/16mm	12mm	236	236	24%
16/32mm	12mm	89	260	26%
16/32mm	23mm	171		
32/45mm	23mm	196	196	20%
45/64mm	32mm	201	201	20%
64/80mm	32mm	98	98	10%
	TOTAL	991		100%



1.2 Installation des traceurs sur site

L'installation des traceurs s'est déroulée le 14/04/2017 à l'aide d'une embarcation motorisée.

L'essentiel des traceurs a été déposé par groupe ou point d'injection, équirépartis sur le merlon d'injection. Nous avons fait le choix de faire 15 groupes d'une soixantaine de traceurs (type A). En plus de ces 15 groupes, nous avons également installés 5 groupes (type B), répartis sur une section en travers du chenal, de la rive gauche à la rive droite, au droit du merlon d'injection. Ce deuxième groupe

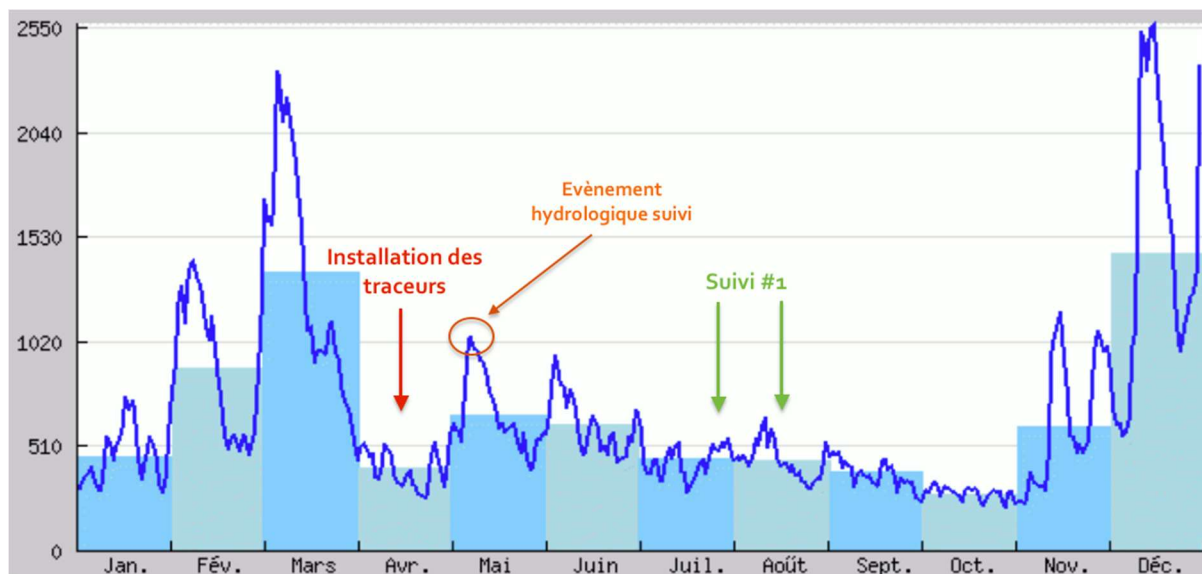
de points d'injection sert à comparer les différences potentielles de déplacement entre les sédiments réinjectés et ceux qui se trouveraient naturellement dans le chenal. Toutefois, les traceurs installés ont été dans les deux cas simplement déposés sur le fond du chenal sans pouvoir (en raison des hauteurs d'eau) mimer l'imbrication naturelle des particules comme cela peut se faire dans le cas d'une dépose de traceurs sur des surfaces émergées.



2 HYDROLOGIE ET DATES D'INTERVENTION

Le premier suivi a été déclenché suite à des petits déversements liés à un arrêt de groupes, au cours du mois de mai, sur l'usine hydroélectrique de Sablons. Cet épisode a duré près de trois jours, avec un débit maximum déversé proche de 500 m³/s et un débit moyen de l'ordre de 400 m³/s.

Notre première mission de prospection s'est déroulée au cours de l'été 2017, sur deux jours non consécutifs, à savoir les 26 juillet et 16 août 2017. Pendant l'inter-période de ces deux journées aucun épisode hydrologique notable a été relevé.



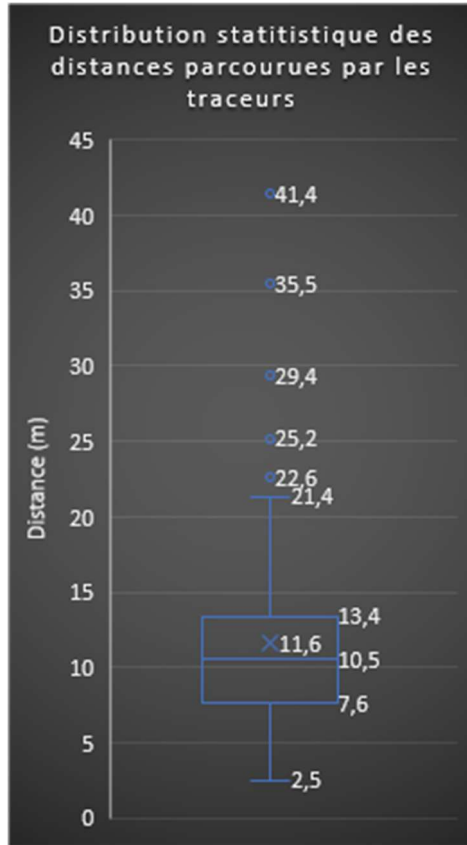
3 RESULTATS DU PREMIER SUIVI

Le premier suivi a permis d'identifier un nombre très faible de traceurs (taux de retour = 8,3%) et ce malgré une apparente faible mobilisation des particules. Les distances de transports mesurées sont presque toutes inférieures à la marge d'erreur de positionnement des particules calculée. De plus, la localisation de détection indique clairement une disposition en paquet des traceurs autour de leur point d'injection.

La quasi absence de déplacements est à mettre en rapport, paradoxalement, avec notre taux de retour, ce dernier s'expliquant non pas en raison de la dispersion, mais des problèmes de collision des signaux entre transpondeurs. L'utilisation de transpondeurs RFID passifs induit que deux transpondeurs ne peuvent pas être détectés en même temps, que seul le plus puissant est détecté, voir que les deux signaux s'inhibent entre eux.

A partir de cette hypothèse, nous pouvons mettre en lumière :

- La faible détection des classes granulométriques les plus petites, équipées des transpondeurs les moins puissants, et donc moins bien détectées dans les cas de collision,
- Les meilleurs taux de retour sur les points où les nombres de traceurs injectés étaient plus petits (zone B) quand bien même les efforts de prospection ont été plus faible sur cette zone



C.RESULTAT DU DEUXIEME SUIVI

1 CONTEXTE DU DEUXIEME SUIVI

1.1 Hydrologie et dates d'intervention

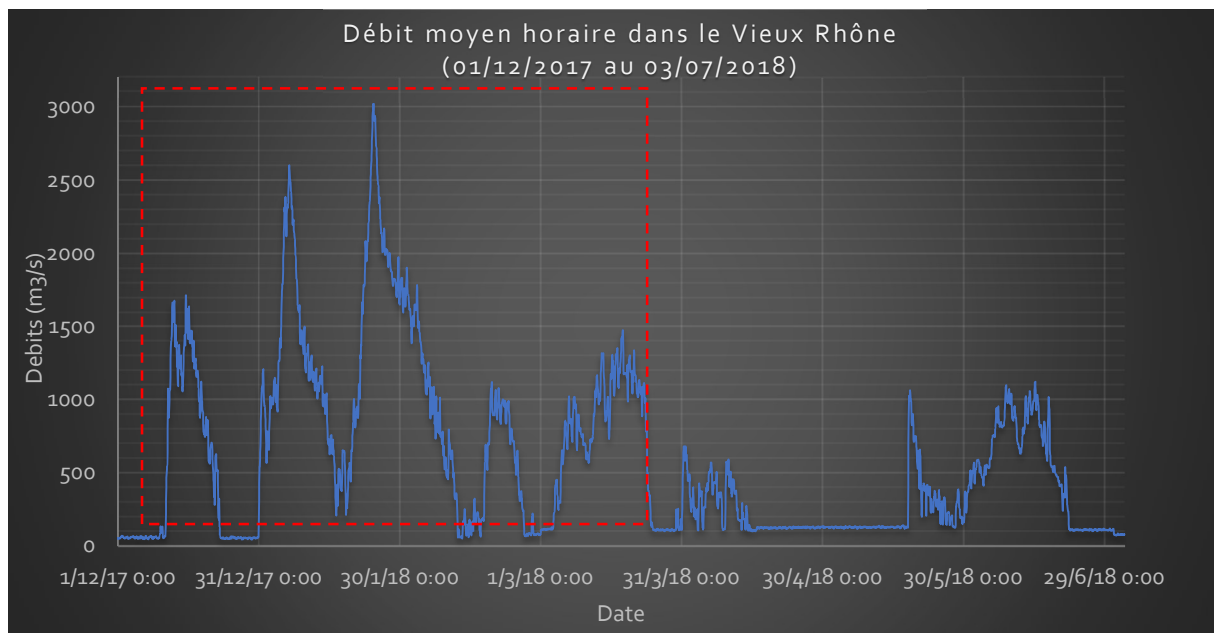
1.1.1 Hydrologie et déclenchement du second suivi

Ce suivi a été déclenché suite à différents épisodes de crue qui se sont déroulés à la fin de l'année 2017 et en début d'année 2018.

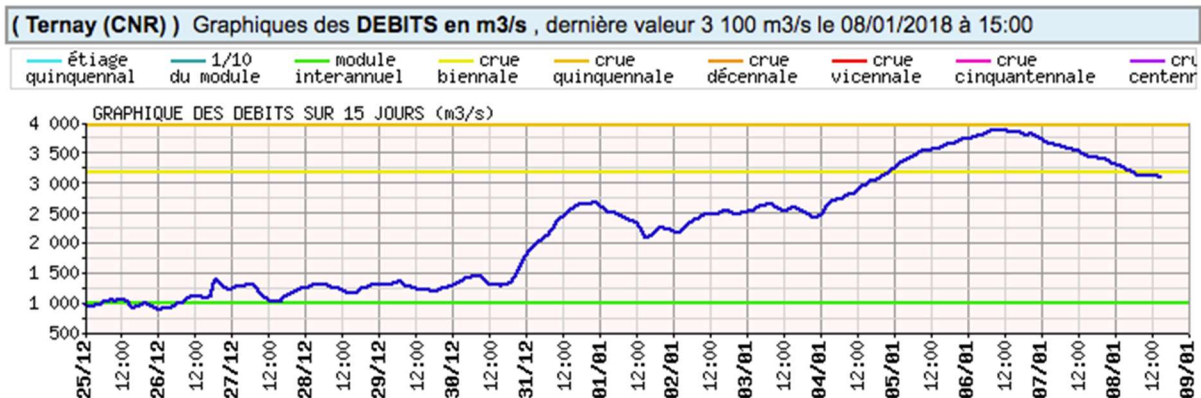
Entre le début du mois de décembre 2017 et la fin du mois de juin 2018 (7 mois), les débits dans le Vieux Rhône ont été soutenus de la mi-décembre à la fin du mois de mars. Ils sont passés en dessous des 500 m³/s qu'à trois reprises : 9 jours en décembre, 7 en février et 11 jours fin février début mars. Les débits dans le Vieux Rhône ont dépassé les 1 000 m³/s pendant 46 jours.

Trois crues importantes ont successivement eu lieu :

- Du 11 au 18 décembre avec un débit horaire maximal de l'ordre 1 600 m³/s
- Du 1^{er} janvier au 14 janvier avec un débit horaire maximal de l'ordre 2 500 m³/s
- Du 21 janvier au 3 février avec un débit horaire maximal de l'ordre 2 900 m³/s



Les épisodes de janvier correspondraient à une crue quinquennale comme l'indique les relevés du second épisode à la station hydrologique de Ternay, située sur un tronçon de Rhône total en amont de notre zone d'étude.



Le débit de mise en mouvement de la charge de fond a été estimé, sur le Vieux Rhône de Péage de Roussillon à $1\,700\text{ m}^3/\text{s}$. Ce débit, dépassé théoriquement que 5 jours par an, a été atteint pendant près de 300 h soit environ 12 jours entre début décembre 2017 et fin juin 2018. Les épisodes hydrologiques suivis ont donc été en principe fortement morphogènes.

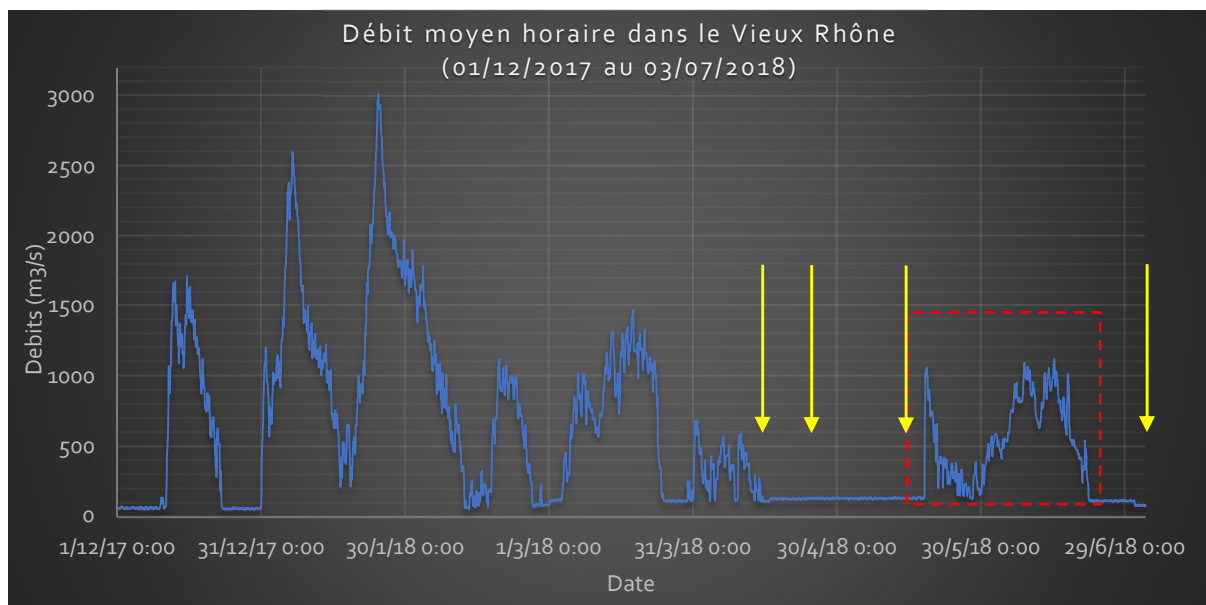
1.1.2 Dates d'intervention

Ce second suivi regroupe des prospections qui ont été réalisées entre les mois d'avril 2018 et juillet 2018. Sur cette période quatre phases de terrain ont eu lieu :

- Du 10 au 13 avril 2018 (prospection embarquée)
- Le 25 avril 2018 (prospection pedestre)
- Le 17 mai 2018 (prospection embarquée)
- Le 4 et 5 juillet 2018 (prospection pedestre)

Au cours de la première mission, les débits dans le Vieux Rhône ont décru régulièrement pendant les trois jours de prospection passant de $580\text{ m}^3/\text{s}$ à $100\text{ m}^3/\text{s}$. Suite à cette première mission, nous avons réalisé une mission complémentaire, à pied sur le banc. Après une première analyse des données collectées, nous avons décidé conjointement avec le maître d'ouvrage de continuer les prospections dans le chenal plus en aval et de compléter aussi les prospections terrestres. Cette seconde phase, après un jour de terrain, a été interrompue par un nouvel épisode de déversées. Entre le 08 et le 14 juin, à plusieurs reprises les débits ont dépassé légèrement les $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$. Nous avons dû attendre le retour au débit réservé pour compléter ce suivi.

¹¹ Etude globale pour une stratégie de réduction des risques d'inondation dus aux crues du Rhône (ou EGR), SOGREAH, Août, 2000, tome V3D1A3 p.35



1.2 Méthodologie

1.2.1 Prospections

1.2.1.a Secteurs et surfaces de prospections

Les prospections embarquées ont permis de rechercher les traceurs dans le chenal en eau sur une longueur d'environ 1,8 km en aval du merlon d'injection (15,8 ha). Les recherches terrestres, quant à elles, ont porté sur le banc situé en rive gauche. Un tiers de la surface de ce dernier a été prospecté. Nos recherches ont porté essentiellement sur sa partie amont ainsi que sur l'ensemble de sa longueur mais à proximité du chenal en eau. Une partie de cet atterrissement (environ 0,4 ha) a été prospecté deux fois afin d'évaluer si les déversées du mois de juin avait induit une remobilisation de traceurs déjà détectés en avril. Enfin, l'entrée des chenaux recréés dans le cadre du projet de restauration par démantèlement des casiers Girardon, localisé 3,5 km plus en aval (au droit du Pk 56), a également été prospectée (0,22 ha) afin de vérifier si les traceurs avaient pu être mobilisé jusqu'à cette zone.

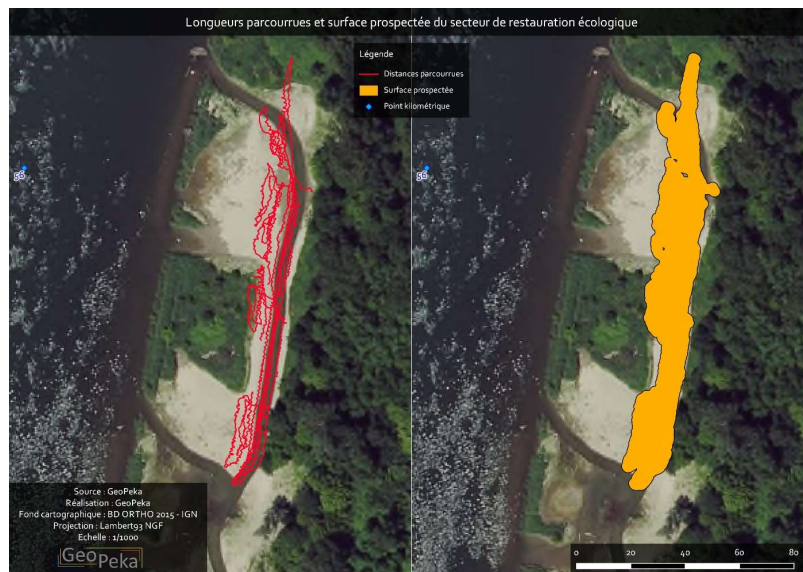
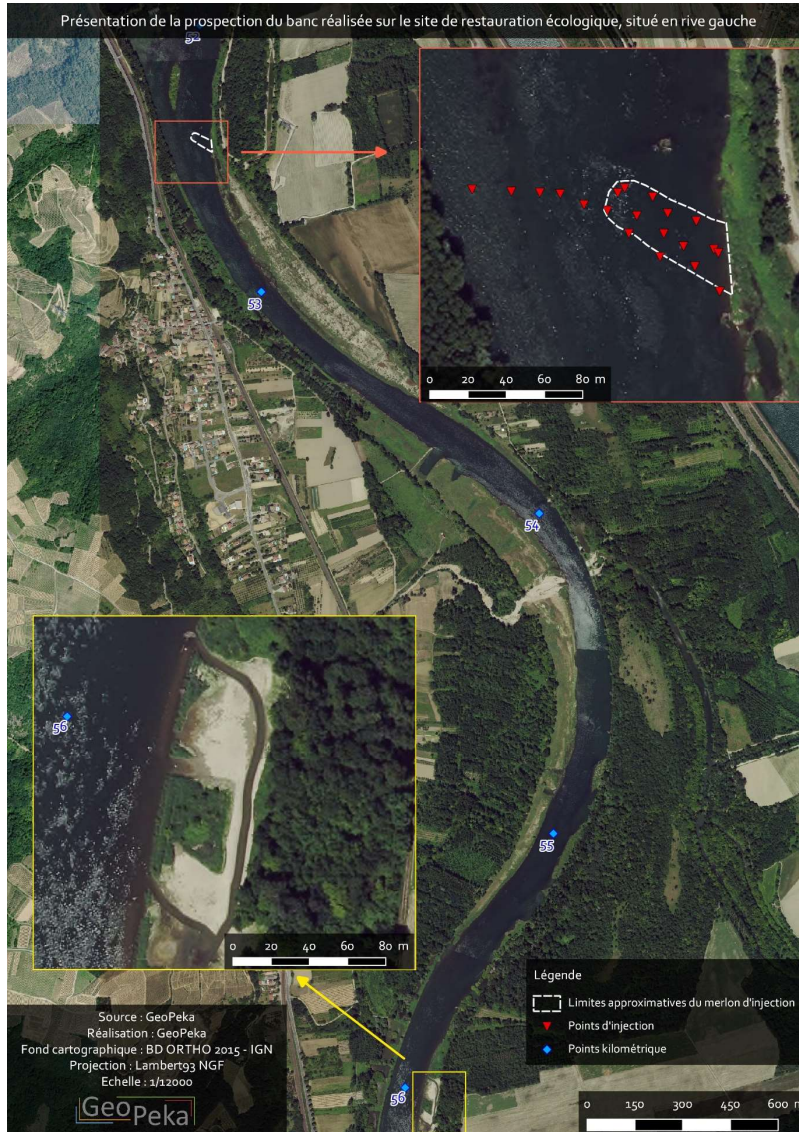
Les surfaces de prospection ont été calculées en fonction de la taille des antennes et de modalité de recherche sur le terrain. Pour ce qui est des recherches en embarcation, l'antenne mesure est fixe et mesure deux mètres de large. Pour les recherches pédestres l'antenne est plus petite mais l'opérateur la balaye devant lui sur une fauchée d'une largeur d'environ 2 m également.

Réserve Naturelle de l'île de la Platière





Réserve Naturelle de l'Île de la Platière



Le tableau ci-dessous indique au total pour le suivi #2 les temps de prospection et les surfaces prospectées.

	Prospection du chenal en bateau	Prospection du banc à pied
Durée (h)	30h20	19h30
Longueur parcourus (km)	94,7	22,9
Largeur antenne (m)	2	2
Surface (ha)	15,8	2,88

1.2.1.b Conditions de prospections

En ce qui concerne les conditions de prospection dans le chenal, nous avons rencontré plusieurs types de difficultés. Tout d'abord, les débits assez importants des premiers jours de la première mission induisaient des vitesses importantes de l'embarcation. De plus, au niveau du talweg sur la partie droite du chenal, l'antenne s'est bloquée à plusieurs reprises dans les gros blocs (anciens blocs des digues submersibles Girardon ? blocs liés au pavage ?). La connectique de notre antenne a été ainsi arrachée. Nous avons pu effectuer sur place sa réparation sans que cela porte préjudice à nos recherches. Par ailleurs, les faibles profondeurs d'eau, les vitesses élevées du courant, et la présence d'un embâcle ont limité les possibilités de prospection au niveau du radier d'Arcoule (aval du banc). L'intensité de la prospection a donc été moins forte sur ce secteur (cf. Annexe)

Les prospections pédestres ont été, quant à elles, plus faciles. Toutefois les parties hautes et aval du banc n'ont pas pu être prospectées en raison du développement de la végétation pionnière qui limite les possibilités d'application de l'antenne sur le sol.



1.2.2 Traitements des données

1.2.2.a Post-traitement des données

La localisation des traceurs a été faite pour les trois premières missions par un couplage sur horodatage de l'enregistrement continu d'une trace GPS (une localisation toutes les secondes) et de l'heure de détection des traceurs. Les données GPS ont été post-traitées (localisation différentielle) nous permettant d'avoir des précisions sub-métriques. Les marges d'erreurs des localisations GPS sont données pour chaque mission dans le tableau suivant :

	Précision x ;y (en cm)
Mission 1 (avril)	4,5
Mission 2 (avril)	5
Mission 3 (mai)	14
Mission 4 (juillet)	2,8

En plus de ces imprécisions liées au matériel GPS, le décalage entre l'antenne GPS et l'antenne RFID influe aussi sur la marge d'erreur de positionnement. Si ce décalage reste faible, de l'ordre d'un mètre pour les recherches pédestres, elle est beaucoup plus importante pour les recherche en bateau, où l'antenne est tractée à environ 12 m la poupe.

1.2.2.b Traitements des doublons et marge d'erreur de positionnement

Le traitement des détections doubles permet d'affiner les erreurs de positionnement liées à la position réelle du traceur par rapport au cône de détection de l'antenne². La distance moyenne entre les multiples positions d'un même traceur détecté plusieurs fois est de 7,5 m en moyenne pour les recherches en embarcation et de 1,75 m pour les recherches à pied.

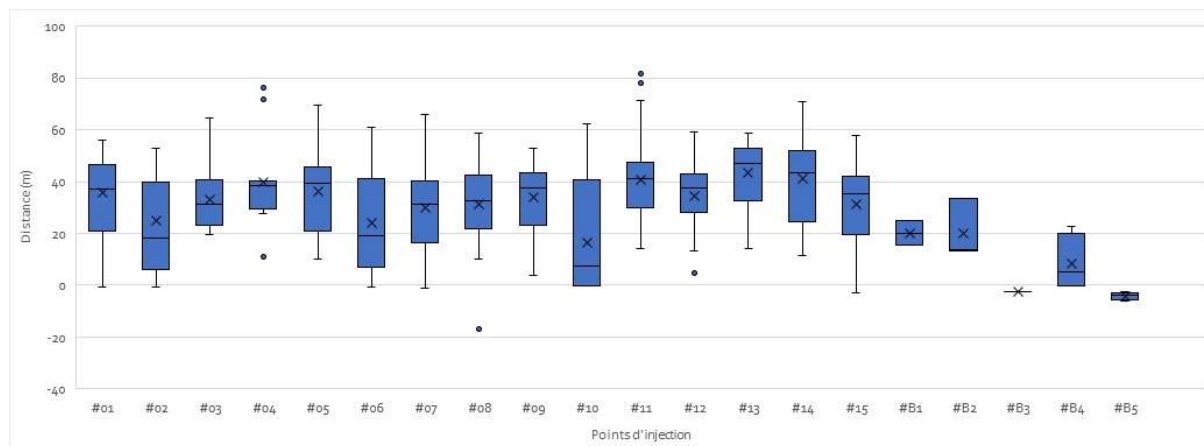
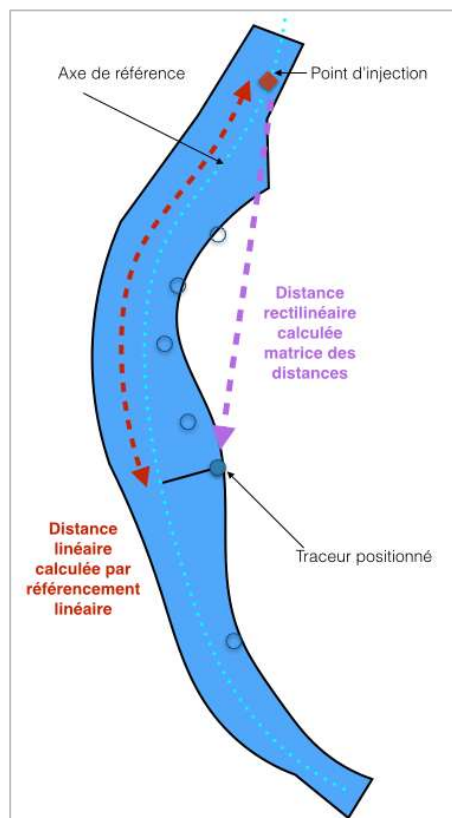
Les marges d'erreur de positionnement des traceurs sont au final d'environ 20 m pour les prospections embarquées et inférieures à 2 m pour les recherches terrestres.

² Plus précisément, cette marge d'erreur intègre la marge d'erreur liées au GPS et celle liée à la position réelle du traceur par rapport à l'antenne

1.2.2.c Calcul des distances de transport

Les distances de parcours de traceurs, entre leur position finale et leur point d'injection ont été déterminées par référencement linéaire le long d'un axe positionné grossièrement au niveau du talweg du chenal en eau. La position de chacun des traceurs est projetée à la perpendiculaire sur cet axe puis le calcul de la distance entre cette nouvelle position et les points d'injection est calculée en ml. Cette technique permet de mieux appréhender les distances réelles de transport dans le cas d'un chenal méandrique. Dans le cas du Vieux Rhône de Péage de Roussillon, compte tenu de la localisation de nombreux traceurs sur le banc et des niveaux d'eau dans le lit pendant les crues, il est possible que les traceurs aient eu un parcours rectilinéaire.

Les distances calculées par ces deux méthodes peuvent être sensiblement différentes, c'est la raison pour laquelle nous les avons comparées. L'écart entre ces deux distances est en moyenne de 30,3m (min=-16,72 m ; max = 81,4 m).



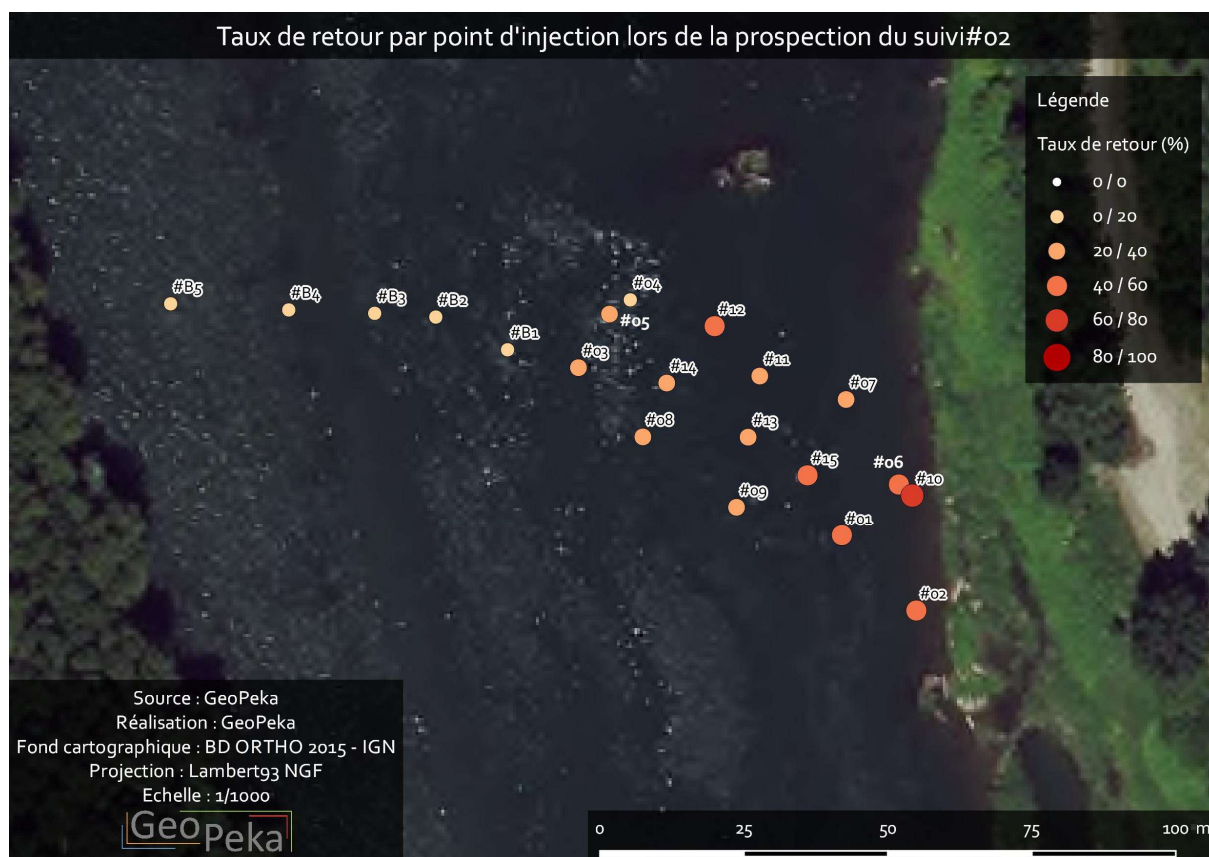
2 RESULTATS

2.1 Taux de retour

Le taux de retour global de ce second suivi est de 35,8 % (355 traceurs sur 991 injectés). Compte tenu de la taille du système prospecté et des épisodes hydrologiques suivis, cette valeur est très satisfaisante aux regards des rares suivis de ce type publiés dans la littérature. Le nombre de nouveaux traceurs détectés au cours de ce suivi est de 317 et 38 traceurs avaient déjà été détectés au cours du premier suivi. Ainsi, plus la moitié des traceurs retrouvés au premier suivi n'ont pas pu être localisés au cours de cette seconde campagne de terrain.

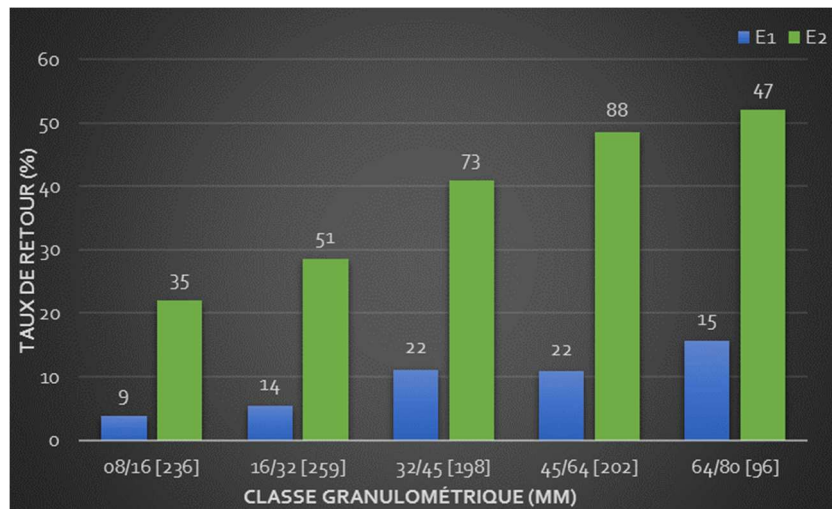
2.1.1 Taux de retour par point d'injection

Une cartographie des taux de retour par point d'injection indique que les traceurs retrouvés proviennent préférentiellement de la partie gauche et aval du merlon d'injection. Le point d'injection « témoin » qui avaient été installés dans le chenal présentent, quant à eux, de faibles taux de retour : 5,1% en moyenne contre 36,3% pour les points d'injections situés sur le merlon.



2.1.2 Taux de retour par classe granulométrique

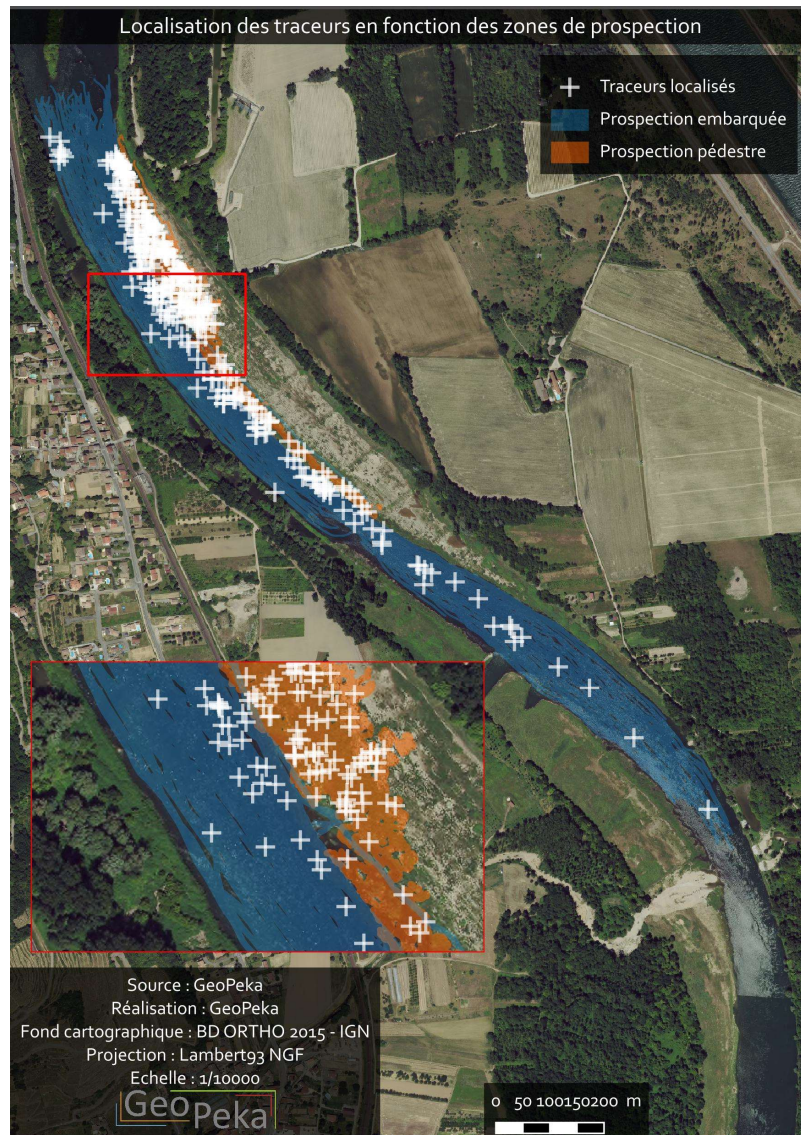
Le taux de retour par classe granulométrique montre clairement une meilleure détection des particules les plus grossières. L'écart est de 22% pour la classe des gravier 8-16 mm à 52 % pour la classe 64-80mm. Ce résultat est globalement similaire à celui du premier suivi en termes de répartition par classe granulométrique.



2.2 Localisation des traceurs

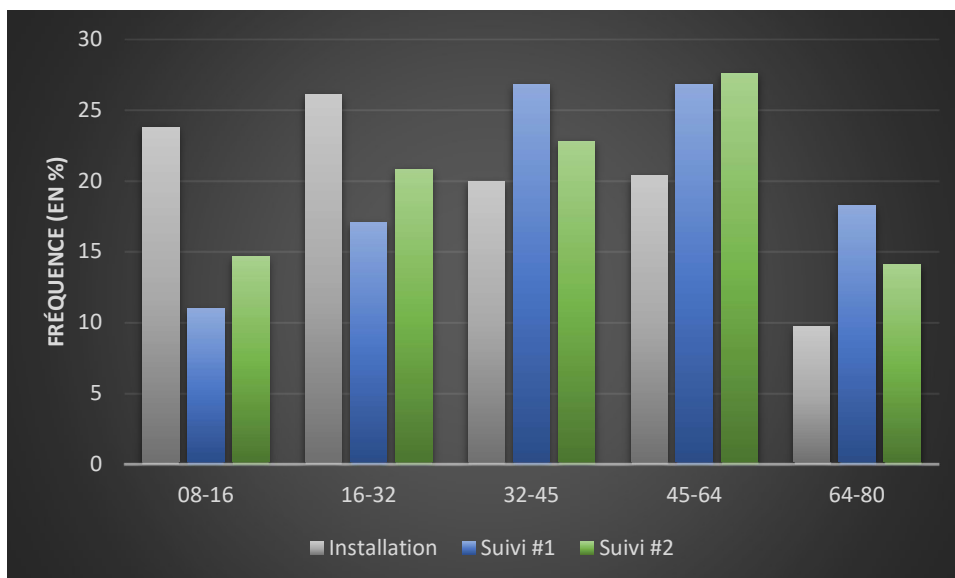
Les traceurs retrouvés sont localisés principalement sur le banc (65%). La densité de traceurs sur l'atterrissement est beaucoup plus importante que dans le chenal. Sur le banc, des traceurs ont été localisés sur l'ensemble des surfaces prospectées tandis que des vastes surfaces du chenal n'ont fait l'objet d'aucune détection. Au sein de ce dernier, nous avons constaté une localisation préférentielle des détections : elles ont été beaucoup plus nombreuses en rive gauche (convexité) qu'en rive droite (concavité).

La cartographie des traceurs en fonction des classes granulométriques (cf. Annexe 4) n'indique pas, a priori, de zones de dépôts préférentielles pour telle ou telle taille de particule.

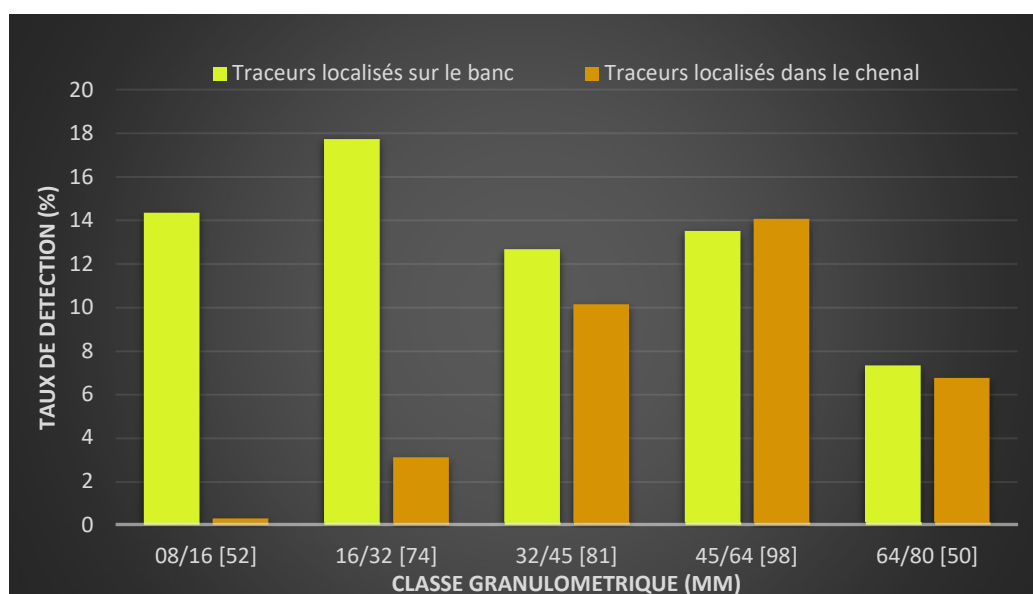


2.3 Granulométries des traceurs

La distribution granulométrique de la population de traceurs retrouvés au cours du suivi #2 est sensiblement équivalente à celle du premier suivi. Par rapport à la distribution granulométrique injectée, nous constatons un grossissement de la population de traceurs avec une diminution du poids relatif des classes de graviers grossiers (8-16mm) et de cailloux fin (16-32mm).



En termes de granulométries, les deux populations de traceurs (banc vs chenal) se distinguent nettement. La distribution granulométrique des traceurs retrouvés sur le banc est globalement homogène, aux alentours de 14 % pour chacune des classes sauf pour la classe 64-80 mm (~7%). Cette distribution correspond assez fidèlement à celle injectée. En revanche, en ce qui concerne les traceurs localisés dans le chenal en eau, les graviers sont largement sous-représentés et le poids relatif des classes augmente avec la taille des particules, sauf, là encore pour la classe 64-80 mm (qui aussi ~ de 7%).

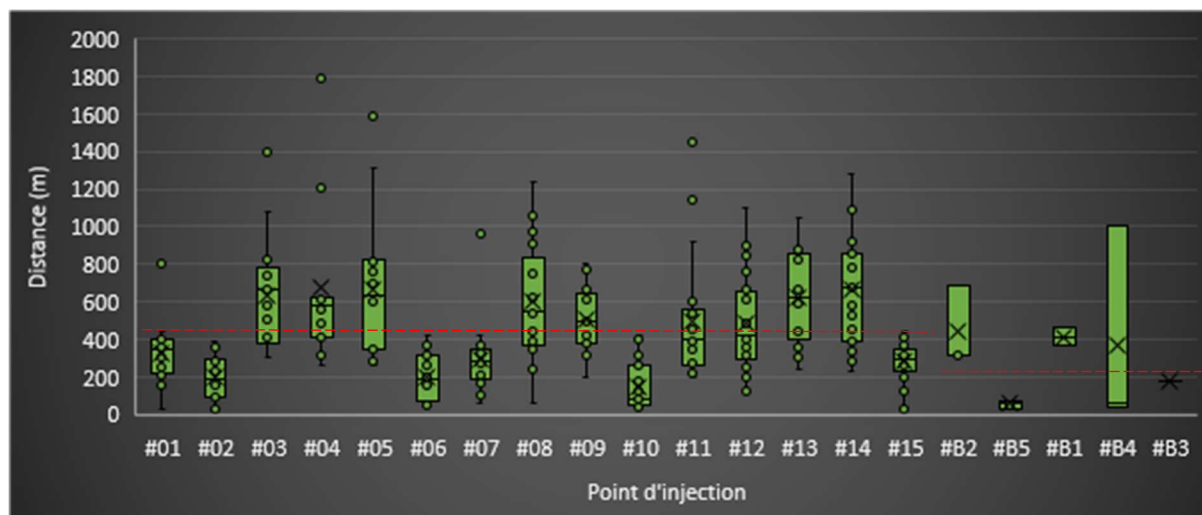


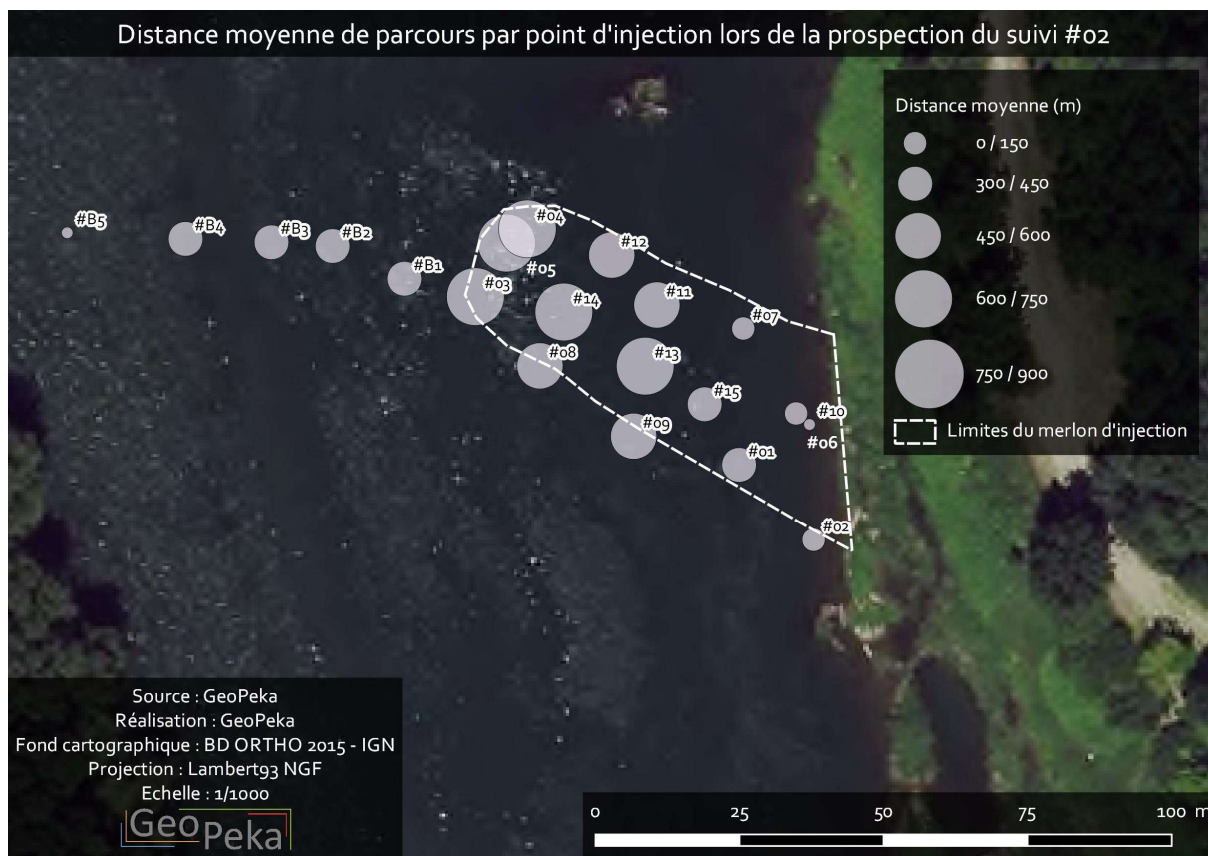
2.4 Distances de transport

Alors que les distances de transport constatées au cours du premiers suivi étaient pour la plupart non significatives, les déplacements de la charge injectée, à la suite des épisodes hydrologiques du débit de l'année 2018, ont été massifs et sur des distances relativement importantes. La distance moyenne des traceurs retrouvés est de 393 m (marge d'erreur de positionnement soustrait) pour l'ensemble des traceurs.

2.4.1 Distances de transport de l'ensemble de traceurs

La cartographie de la distance moyenne par point d'injection montre que c'est la partie gauche du merlon, celle localisée le plus vers le centre du chenal, qui a été évacuée le plus loin. Globalement les distances des points d'injection du merlon sont aussi plus importantes que celles des points « témoin » situés dans le chenal (447 m vs 285 m). Cette différence s'estompe nettement (347 m) si l'on ne tient pas compte du point #B5 dont la distance moyenne n'est que de 37 m. Au niveau du merlon, les points situés à proximité de la berge présentent aussi de faibles distances de transport : 180 m pour la première ligne de point d'injection (#02, #06 et #10), et 246 m pour la première et seconde ligne (#01, #07 et #15). La distance maximale est de 1 769 m, le traceur (16-32 mm équipé d'un tag de 23 mm) a été retrouvé légèrement en amont de la confluence avec le Limony.





L'analyse des distances sur l'ensemble des traceurs montre également qu'en moyenne les particules retrouvées dans le chenal sont allées plus loin (554 m) que celles situées sur le banc (309 m).

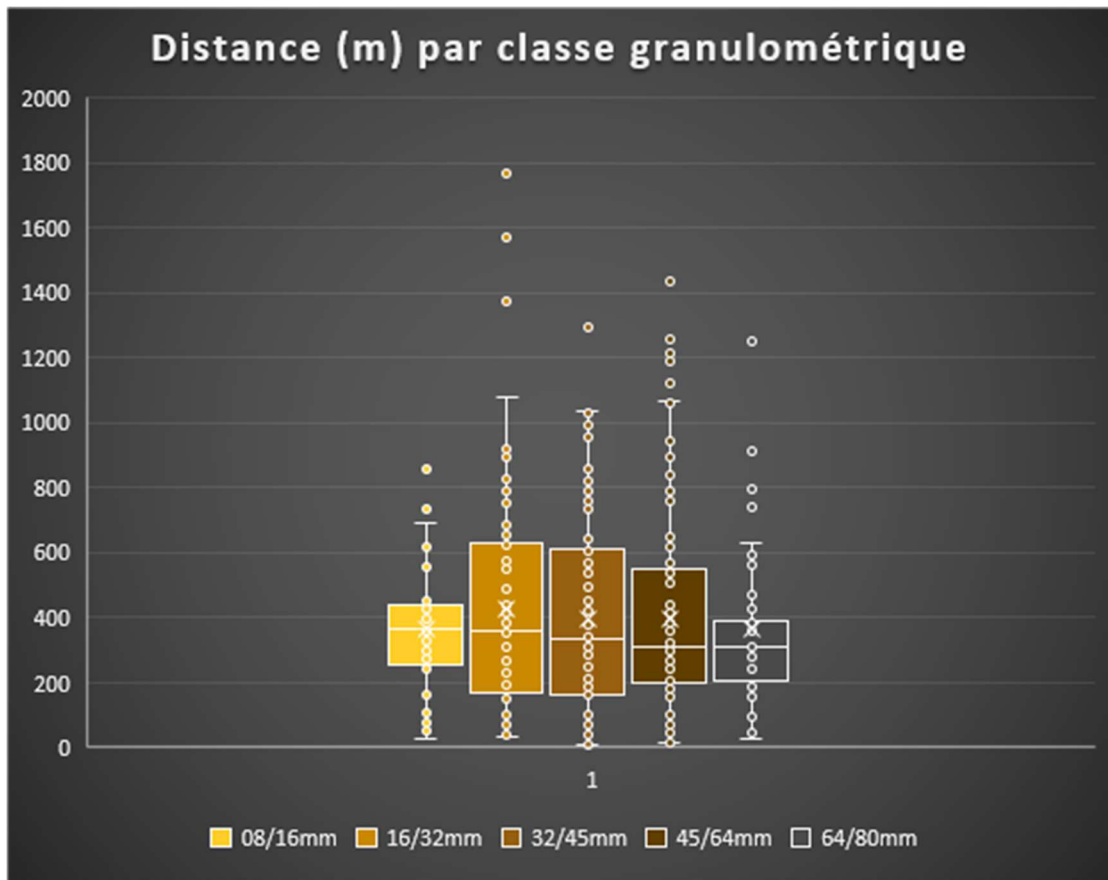
2.4.2 Distances entre les traceurs retrouvés sur les zones doublement prospectées sur le banc

Notre suivi complémentaire sur le banc (du 4 et 5 juillet 2018) a été fait après un épisode de déversée au niveau du barrage de Saint Pierre de Bœuf. Nous nous sommes donc intéressés aux distances entre les traceurs retrouvés au cours de la première prospection terrestre et la seconde. Pour rappel, nous avons définis au préalable quatre zones de vérification dans lesquelles nous avons procédé à une double recherche pour valider le déplacement des particules entre le mois de mai et de juillet. Sur ces zones, 96 traceurs ont été retrouvés au total. Parmi eux, 16 % (n=81) n'ont pas été localisés en juillet, et 24 % sont des nouveaux traceurs (n=23, non détectés en mai et trouvés en juillet). 76 % des traceurs localisés dans ces zones de vérification ont donc été détectés deux fois et ne se sont pas déplacés. La distance moyenne entre ces deux détections est d'1,49 m, ce qui correspond à notre marge d'erreur de positionnement.



2.4.3 Distances de transport par classe granulométrique

Les distances moyennes de transport enregistrées sont dans l'ensemble assez homogènes, allant de 362 m (classe 64-80mm) à 425 m (classe 16-32mm). Il est possible de noter que la distance moyenne de la classe 8-16 mm est sensiblement la même que la classe la plus grossière (64-80 mm), environ 360 m. Il en est de même pour les classes 32-45 et 45-64mm (397m). Une analyse des distances médianes montre en revanche un effet plus net de la granulométrie où les classes les plus fines enregistrent les distances les plus importantes (365 m pour la classe 8/16mm à 312 m pour la classe 64/80mm).



3 SUIVI COMPLEMENTAIRE (FEVRIER 2019)

Une journée de suivi complémentaire a été organisée afin de vérifier si des traceurs avaient été transportés au-delà de la confluence avec la Limony, jusqu'à la zone où ont eu lieu les travaux de restauration par démantèlement des casiers « Girardon ». Ce suivi visait à définir une « zone blanche », sans détection, permettant de garantir la circonscription aval du nuage de dispersion des traceurs.

3.1 Hydrologie et intervention

3.1.1 Date d'intervention

Cette intervention s'est déroulée le 28 février 2019. Nous ne disposons pas à ce jour de la chronique de débit dans le Vieux Rhône entre l'été 2018 et cette dernière recherche. Cependant nous savons qu'aucun événement hydrologique majeur n'est survenu. Les informations fournies par la Réserve Naturelle indiquent que des épisodes de déversées ont eu lieu mais dans des gammes de débits n'induisant pas de mises en mouvement significatives, conformément aux résultats de notre premier suivi.

Nous avons donc procédé à une journée de recherche embarquée. La zone principalement prospectée était le chenal entre la confluence avec le Limony jusqu'au début de la zone restaurée, où le CNRS (UMR EVS) a récemment installé un millier de nouveaux traceurs pour suivre les effets morphologiques de la zone restaurée.

C'est donc approximativement 800 m de chenal qui ont été prospectés en plus du dernier suivi. Nous avons parcouru près de 11 km ce qui représente une surface de 3,84 Ha.

La zone en amont de l'îlot émergé, localisé en rive gauche, au début du secteur restauré a été plus densément investie pour vérifier si des traceurs se trouvaient au niveau de cette zone identifiée par la Réserve Naturelle comme un secteur de dépôt préférentiel, mais aussi pour localiser le début de la zone d'injection de traceurs du CNRS.



3.1.2 Absence de mise en mouvement entre E2 et le suivi complémentaire

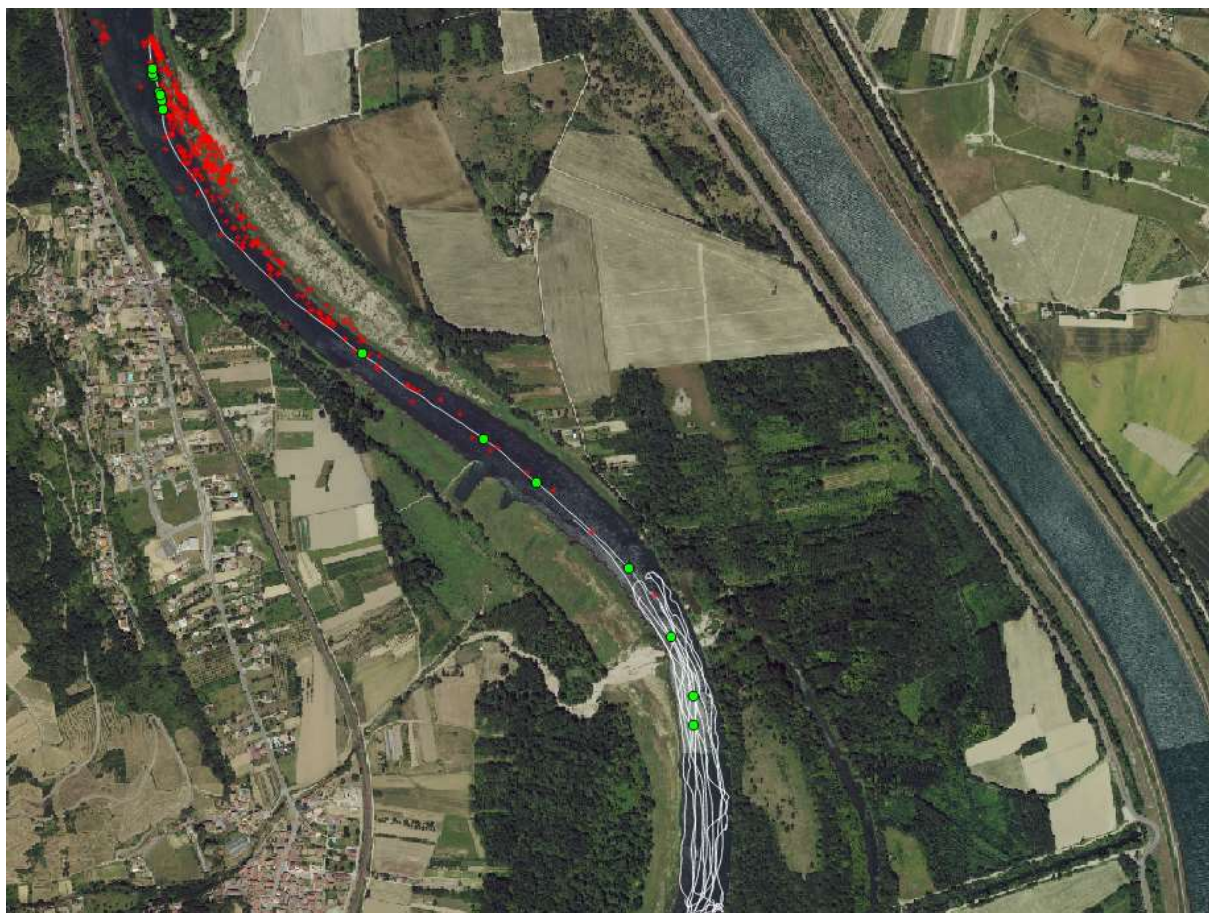
Outre l'absence de débit supérieur au seuil de mise en mouvement identifié par nos suivis, deux éléments viennent conforter l'hypothèse d'un non déplacement des traceurs entre l'été 2018 et ce suivi complémentaire.

D'une part, nous avons bien localisé, selon leurs dispositions initiales, les traceurs installés par le CNRS. Ils ont été déposés au niveau de la zone restaurée selon un maillage d'1m de côté. Ces traceurs n'ont donc, a priori, pas subi de déplacement.

D'autre part, nous avons effectué au cours de notre journée de prospection, une descente complète de la zone d'étude, du merlon d'injection jusqu'à la zone restaurée. Au cours de cette recherche, trois traceurs déjà identifiés au cours du second suivi ont été retrouvés. Les distances entre les positions de E2 et de ce suivi complémentaire sont respectivement de 4,9 ; 3,2 et 11,1 m. Ces valeurs inférieures, à nos marges d'erreur de géo-positionnement, vont dans le sens d'une absence de mise en mouvement des traceurs entre E2 et fin février 2019.

3.2 Résultats du suivi complémentaire

Nos recherches nous ont permis d'identifier 11 nouveaux traceurs, ce qui porte le taux retour global à 36,8% (le taux de retour à E2 était de 35,7%). L'essentiel de ces traceurs ont été détectés au cours de notre unique descente sur l'ensemble de la zone de recherche de E2 (du merlon d'injection jusqu'à la confluence du Limony et sont donc localisés en amont de cet affluent. Cependant, 3 traceurs ont été trouvés en aval du point de détection le plus aval de E2. Avec ces nouvelles données, la distance maximale enregistrée passe de 1769 à 1962 m et la distance moyenne de 447 à 467 m.



4 SYNTHÈSE DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4.1 Une remobilisation nette des sédiments réinjectés

4.1.1 Taux de retour et distances : des résultats significatifs

Ce second suivi permet de conclure d'une part sur une remobilisation nette du merlon d'injection (cf. les mesures bathymétriques réalisées par la réserve naturelle) et d'autre part, compte tenu du taux de retour (35,8%) nous pouvons juger ce déplacement comme significatif de l'ensemble de traceurs. Il existe encore assez peu de retours d'expériences, mais le pourcentage de traceurs retrouvés sur ce site correspond à celui obtenu sur des sites et des types de prospections similaires (prospections embarquées sur des grands systèmes fluviaux), à savoir le Rhin (première prospection du suivi du laboratoire EVS : 43%), l'Ain (suivi du laboratoire EVS : de 25 à 47%) et le Rhône sur le RCC de Chautagne (suivi GeoPeka sur la même crue : 24%). De plus, les distances de transport enregistrées peuvent, elles aussi, être qualifiées de significatives, contrairement au premier suivi.

4.1.2 Débits critiques de mise en mouvement

Les épisodes hydrologiques suivis sur l'ensemble de notre étude correspondent donc :

- à une crue biennale pour le suivi #1, pour l'ensemble de traceurs
- à quatre crues successives correspondant chacune, pour les trois premières, à plus ou moins des débits quinquennaux et à une crue biennale pour la dernière
- à une crue biennale pour les traceurs qui ont été recherchés deux fois sur le banc

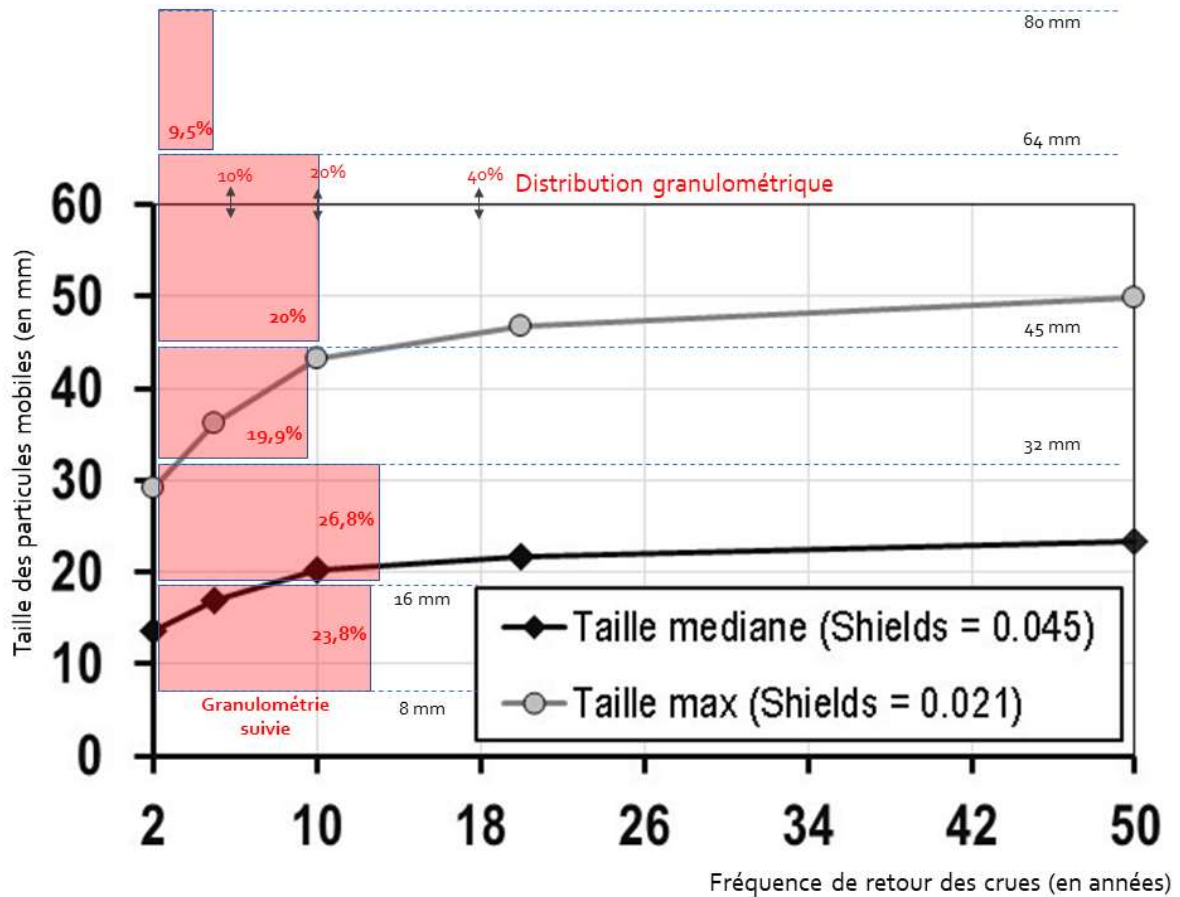
Nos résultats du premier suivi nous permettent d'affirmer qu'il n'y a pas eu de mobilité représentative des particules pour des débits de l'ordre de 500 m³/s. Le faible taux de retour s'explique alors essentiellement en raison de problèmes de collision entre traceurs installés en tas et qui n'ont pas connu de déplacement.

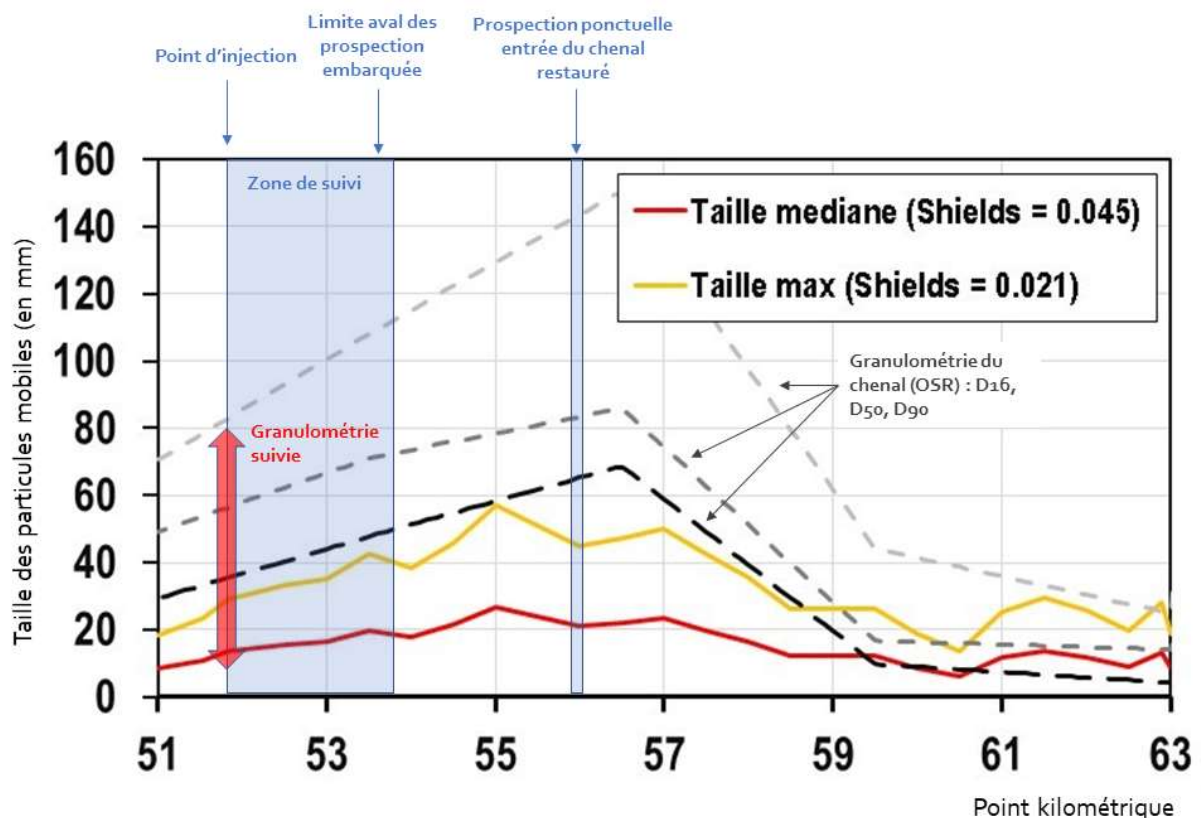
Notre suivi des zones de double prospection indique que des débits deux fois plus importants (environ 1000 m³/s) ne provoquent pas de déplacement massif des particules. Sur 73 individus, aucun n'a connu de déplacement significatif. Si, dans les nouveaux traceurs détectés, une bonne part (60%) appartiennent aux classes granulométriques les plus fines (<32 mm), nous constatons que les traceurs non détectés ne peuvent pas être vraiment discriminés sur ce critère de taille (33% sont < 32 mm). De plus, il est important à garder à l'esprit que ces nouvelles détections sont peut-être liées à une absence de détection au premier suivi (problème de collision, enfouissement) plutôt qu'à une arrivée de nouvelles particules sur le banc entre le mois de mai et de juillet. Nous sommes donc, avec cette gamme de débit et au niveau du banc, au mieux dans une situation de début de mise en mouvement.

Enfin, il semblerait que les débits des crues quinquennales, quant à eux, provoquent un déplacement de l'ensemble du cortège granulométrique. Cette hypothèse reste à confirmer avec un nouveau suivi, réalisée après une crue d'ampleur équivalente. En effet, la première mise en mouvement s'est faite sur des particules non contraintes (enchâssement des particules dans la structure sédimentaire du fond du chenal). Cet enchâssement peut jouer, à la hausse, de manière notable sur les futurs débits critiques de mise en mouvement.

Nos mesures de terrain viennent compléter et éclairer les connaissances produites dans le cadre de l'Observatoire du Rhône (OSR). L'équipe du CEREGE d'Aix en Provence s'est intéressée aux capacités de charriage du Rhône au regard des campagnes de mesures granulométriques effectuées

en 2011/2012. Pour cela, et à partir du modèle hydraulique développé par Irstea dans le cadre du même programme de recherche (OSR), ils ont pu déterminer des classes granulométriques théoriques mobiles pour différentes récurrences de crue. D'après ces résultats, la taille médiane des particules mobilisable par une Q2 serait d'environ 14 mm et la taille max de 30 mm. Ces valeurs sont d'environ 18 et 36 mm pour une Q5. Or nos mesures indiquent une absence de mise en mouvement toutes classes confondues pour la première occurrence de crue et des déplacements de l'ensemble des tailles (y compris 64/80mm) pour une Q5.





Ces différences s'expliquent, dans un premier temps, par le fait que les sédiments réinjectés ne présentaient aucune forme d'imbrication comme c'est le cas des particules de surface d'un chenal, qui sont fortement imbriquées entre elles et qui forment la couche d'armure des lits fluviaux. La mobilisation, y compris des plus grosses particules, a été ainsi facilitée. A partir de là, nous pouvons émettre deux hypothèses.

La première est que les particules ont parcouru les distances enregistrées au cours des premières crues (fin 2017-début 2018), puis elles sont réimbriquées et n'auront plus la capacité de bouger par la suite, conformément aux résultats de la modélisation des débits critiques de mise en mouvement produit dans le cadre de l'OSR. Il est certain en revanche que ce n'est pas l'épisode du mois de décembre qui a provoqué les premiers mouvements de masse car une visite du site d'injection par l'équipe de la réserve naturelle (27/12/2017) a permis de vérifier que le merlon d'injection était alors resté dans la forme initiale. C'est donc les deux crues de janvier qui auraient permis une mise en mouvement.

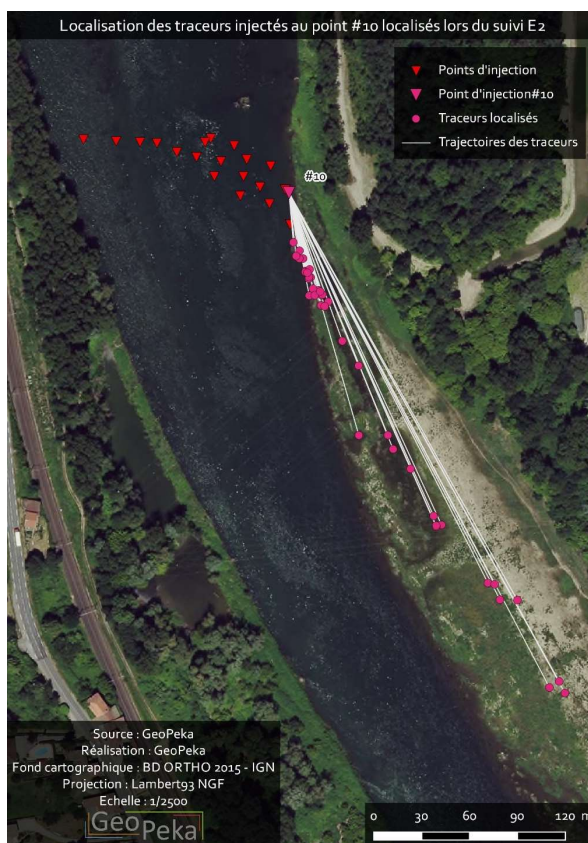
Le fait que les trois crues soient rapprochées dans le temps et que l'intensité des épisodes a été chronologiquement croissante nous pousse à émettre l'hypothèse suivante. Le premier épisode de crue aurait induit une première déstructuration du merlon, très légère et des déplacements, probablement d'ampleur réduite. Les crues suivantes sont survenues suffisamment rapidement pour que l'imbrication des particules ne se produise pas. Ainsi, le premier ou les deux premiers épisodes auraient à la fois déplacé les particules du merlon d'injection, peu cohésifs, et déstabilisé l'armure du chenal, puis, ils auraient permis à la troisième de crue de mobiliser des sédiments facilement mobilisables car peu imbriqués.

4.2 Dynamique de la charge réinjectée

4.2.1 Une mobilité différenciée liée à la position initiale

Les résultats de ce suivi nous donnent des informations intéressantes quant à la dynamique de déplacement de la masse sédimentaire réinjectée.

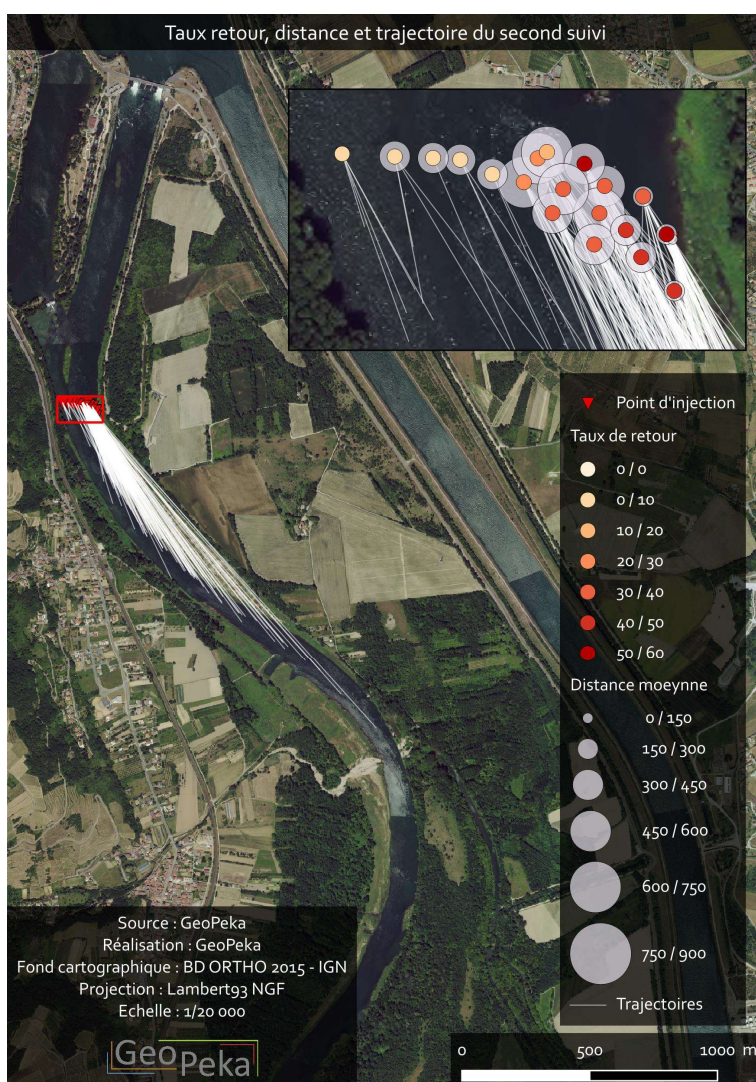
Les distances et les trajectoires par point d'injection montrent que c'est la partie du merlon située le plus loin dans le chenal qui a été la plus sollicitée pendant la crue. Les particules localisées sur cette partie de l'atterrissement artificiel ont été amenées assez loin, plus en aval, dans le chenal. Ainsi, par exemple, les particules injectées au niveau des point #3, #4, et #5 ont parcouru, en moyenne, 644 m (pour 180 m pour les points proches de la berge) et sont, pour la très grande majorité, toutes localisées dans le chenal (cf. Annexe). Les traceurs des points d'injection proches de la berge (#2, #6, #10) ont été, quant à eux, retrouvés exclusivement sur le banc de convexité. Les points témoins, qui avaient été localisés hors du merlon d'injection présentent des caractéristiques qui se rapprochent de celles des points localisés dans le centre du chenal, tout en restant spécifiques. Les distances moyennes sont moins importantes (285m) mais ce résultat s'explique par un faible nombre global de traceurs et un poids important du point #B5, qui reste atypique avec des distances très faibles (37 m en moyenne).



Ces différences s'expliquent par la dynamique des flux d'eau à une échelle plus large. Le tronçon du Vieux Rhône en amont est très rectiligne (orientation Nord-Est/Sud-Ouest) depuis le barrage de Saint Pierre de Bœuf, puis il dessine un méandre pour prendre une direction Nord-Ouest/Sud-Est. Le début de ce méandre est légèrement en amont du merlon d'injection. Les écoulements les plus

puissants, quand ils arrivent au niveau de la masse injectée, se localisent déjà plutôt sur la rive droite. Les points d'injection témoins ont donc été soumis aux forces tractrices les plus importantes. Les traceurs ont été éjectés dans les veines de courant de la concavité du méandre, là encore les plus puissantes. Les distances observées ne sont donc très probablement pas significatives, d'autant plus que le nombre de traceurs retrouvés par point est très faible (de 1 à 5 sur 59 traceurs/point).

La partie rive gauche de l'injection, quant à elle, a été moins sollicitée. Les traceurs ont parcouru des distances plus faibles et sont venus se stocker sur la première forme de dépôts, le banc forcé de convexité d'Arcoule. Cette forme génère une rugosité élevée (végétation) et donc des vitesses plus faibles qui couplées à une lame d'eau réduite provoque des forces tractrices plus faibles.



4.2.2 Interprétation du taux de retour

Trois éléments sont généralement mis en avant pour l'interprétation des taux de retour : la casse des traceurs, leur enfouissement et l'export à l'aval de la zone de prospection. Le premier élément est extrêmement difficile à prendre en compte, mais de récentes expériences en canaux

expérimentaux indiquent qu'il s'agit probablement d'un facteur anecdotique³. Quant à l'enfouissement, l'incision historique du Vieux Rhône a probablement induit un pavage du fond du chenal qui le réduit fortement. En ce qui concerne la troisième explication, les résultats de notre second suivi pouvaient laisser supposer qu'un bon nombre de traceurs se trouvaient plus en aval que les secteurs prospectés : en effet, le traceur le plus à aval se situait à 132 m de l'aval de notre surface de recherche. De plus, le fait qu'aucun traceur n'ait été retrouvé en bordure de la rive droite, dans la concavité, venait également appuyer cette hypothèse, avec des particules qui auraient profité de cette veine de courant et qui seraient allées plus à l'aval. Mais notre suivi complémentaire nous permet de constater que très peu de traceurs n'ont été retrouvés à l'aval de la confluence avec le Limony. Le traceur le plus aval se localise à 400/500 m de l'aval de notre nouvelle zone de recherche. Il est alors possible d'affirmer que le nuage de dispersion a probablement été assez bien délimité.

Le taux de retour s'explique donc par l'efficacité moindre des recherches en embarcation dans deux chenaux large et relativement profond tel que celui du Vieux Rhône de Péage de Roussillon. Sans remettre en cause l'intérêt de cette technique de traçage dans ce type de milieux, il est certain que les contraintes induites par un milieu aqueux sur la propagation des ondes RFID ultra basse fréquence sont suffisamment importantes pour rendre parfois la détection hasardeuse. Ainsi par exemple, notre suivi complémentaire montre clairement que deux passages au même endroit ne permettent pas de retrouver systématiquement les traceurs situés dans le fond du chenal. L'orientation de l'antenne et ses mouvements sur le fond du chenal induit parfois des non détection, problème qui ne peut être pallier que par une densification des recherches. De plus, les transpondeurs de 12 mm sont probablement très peu adaptés à des traçages dans des grands milieux. En effet, nous n'avons retrouvé qu'un unique traceur de la classe 8/16 mm dans le chenal, et cette classe granulométrique a été équipée uniquement avec des transpondeurs de 12 mm. En ce qui concerne les particules de 16/32 mm retrouvées dans le chenal, toutes avaient équipées avec des transpondeurs de 23 mm. En revanche, les transpondeurs de 12 mm ont été bien retrouvés au cours des prospections pédestre.

³ "Effects of transport and insertion of radio frequency identification (RFID) transponders on resistance and shape of natural and synthetic pebbles: applications for riverine and coastal bedload tracking", M. Cassel, H. Piégay, J. Lavé, 2017, Earth Processes and Landforms, 42, 399-413.

D. CONCLUSIONS

Le suivi du déplacement des matériaux issus des travaux de réinjection a permis de constater la mobilité réelle de ces derniers et de préciser le fonctionnement du transport solide dans le Vieux Rhône de Péage de Roussillon. La mobilité de la charge solide a donc été mesurée, pour l'ensemble du cortège granulométrique pour des débits quinquennaux (3000 m³/s). Nous savons aussi :

- qu'un débit de l'ordre de 1000 m³/s n'entraîne, au niveau du banc, pas de déplacement massif et correspond peut-être au seuil critique de mise en mouvement.
- qu'un débit de 1500 m³/s n'a pas permis une mobilisation de masse du merlon d'injection, qui a en revanche été complètement repris par des épisode plus intenses (respectivement 2500 et 3000 m³/s)

Les distances de transport indiquent un déplacement moyen de l'ordre de 450 m. Cette distance moyenne masque des différences notables en fonction de la position initiale du traceur et notamment de sa position par rapport aux veines principales d'écoulement dans le chenal. De plus, nous ne savons pas si cette distance correspond à un déplacement unique ou à une moyenne sur deux, voire trois déplacements successifs (pour rappel, notre suivi couvre trois pics de crues de 1500, 2500 et 3000 m³/s). Nous précisons également que ces valeurs de mise en mouvement devrait être confirmées par des suivis ultérieurs dans la mesure où les particules en position initiale étaient ni agencées entre elles ni imbriquées.

Notre suivi a permis aussi de valider la possibilité d'implanter et donc d'utiliser des transpondeurs de 12 mm pour des suivis sédimentaires, mais également de constater que leur détection dans des zones immergées est très difficile, voire impossible.

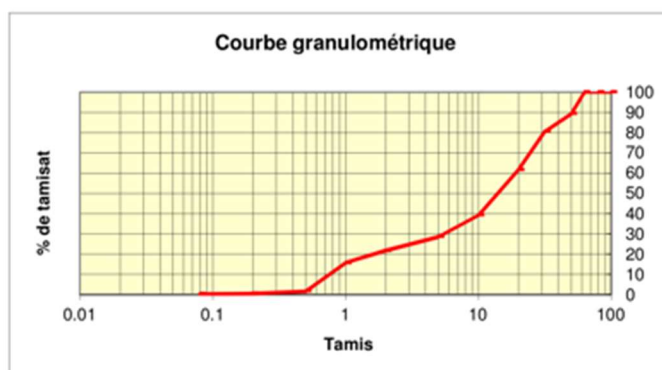
Enfin, nos résultats, comme quelques autres suivis réalisés sur le Rhône (Vieux de Rhône de Chautagne, Canal de Miribel) viennent confirmer l'intérêt de ce type de d'opération de restauration. En effet, la mobilité enregistrée n'est pas trop importante et laisse suggérer que les effets bénéfiques ne sont pas éphémères et que la dispersion de cette charge prend plusieurs années avant d'être à nouveau bloquée dans les remous des retenues. Ainsi, par exemple, avec une vitesse théorique moyenne de 400 m/an (la vitesse moyenne annuelle est très inférieure) les sédiments mettent 20 ans pour parvenir au seuil de Peyraud. Dans la perspective d'optimiser l'effet local de ce type d'opération, qui vise essentiellement à une amélioration des habitats benthiques, nos mesures montrent aussi l'importance du choix des sites d'injection. La mobilité ultérieure des particules déposées aujourd'hui sur le banc sera à vérifier, mais il est probable que ces sédiments ne participent que partiellement à l'objectif visé. Ainsi, un positionnement des merlons d'injection dans les veines principales de courant au centre du chenal ou dans les concavités, comme cela avait initialement prévu, aurait permis une meilleure dispersion dans le chenal et d'éviter un re-dépôt rapide sur des formes d'atterrissement forcées.

Si des mesures supplémentaires seraient possibles, il serait très intéressant, dans un premier temps, de réaliser de nouvelles campagnes de prospection afin de savoir si les déplacements enregistrés peuvent être considérés comme significatifs par rapport à la problématique de l'imbrication des particules et des données théoriques de mise en mouvement de l'OSR, et ce, essentiellement sur les gammes granulométriques les plus grossières. Il s'agirait donc de pouvoir suivre à nouveau les déplacements pour des crues de l'ordre de 2000 m³/s et plus. La connaissance que nous avons aujourd'hui du nuage de dispersion permettrait de faire ces suivis de manière efficace. Enfin, il serait aussi très instructif de voir comment et en combien de temps les traceurs parviennent à la zone où des opérations de restauration sont réalisées par ré-ouverture des casiers Girardon et de suivre les effets morphologiques de leur arrivée sur ce secteur.

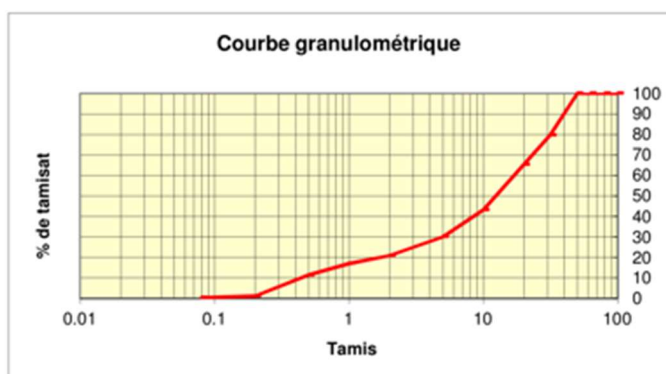
E. ANNEXES

1 GRANULOMETRIE DE LA CHARGE INJECTEE

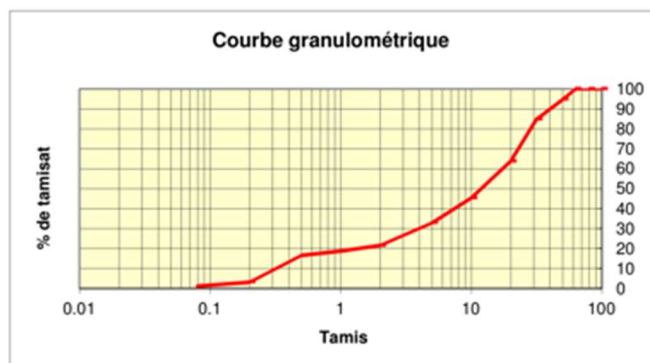
TAMIS (mm)	TAMISAT (%)
100	100.0
80	100.0
63	100.0
50	89.3
31.5	80.4
20	61.6
10	39.3
5	28.6
2	21.7
1	15.7
0.5	1.7
0.2	0.6
0.08	0.3



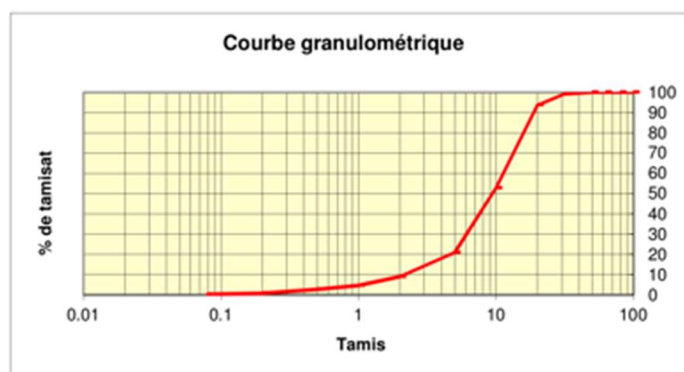
TAMIS (mm)	TAMISAT (%)
100	100.0
80	100.0
63	100.0
50	100.0
31.5	79.7
20	65.4
10	43.3
5	30.1
2	20.9
1	17.1
0.5	11.3
0.2	1.1
0.08	0.5



TAMIS (mm)	TAMISAT (%)
100	100.0
80	100.0
63	100.0
50	94.7
31.5	84.8
20	63.9
10	45.4
5	32.9
2	21.6
1	18.7
0.5	16.6
0.2	3.2
0.08	1.2



TAMIS (mm)	TAMISAT (%)
100	100.0
80	100.0
63	100.0
50	100.0
31.5	99.2
20	93.7
10	52.7
5	20.9
2	8.9
1	4.6
0.5	2.7
0.2	0.8
0.08	0.3



2 CARACTERISTIQUES DES TRACEURS PAR POINT D'INJECTION

ID#point#d'injection	Classe#granulométrique#	Type#ranspondeur	Nb#de#particule	TOTAL#point#d'injection
A1	16/32#mm	12mm	8	61
	16/32#mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	14	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#nm	12mm	13	
A2	16/32#mm	12mm	8	62
	16/32#mm	23mm	9	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#nm	12mm	15	
A3	16/32#mm	12mm	8	63
	16/32#mm	23mm	9	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#nm	12mm	16	
A4	16/32#mm	12mm	8	61
	16/32#mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#nm	12mm	15	
A5	16/32#mm	12mm	8	62
	16/32#mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	13	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#nm	12mm	15	
A6	16/32#mm	12mm	8	59
	16/32#mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	11	
	45/64mm	32mm	11	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#nm	12mm	15	
A7	16/32#mm	12mm	8	61
	16/32#mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#nm	12mm	15	
A8	16/32#mm	12mm	8	60
	16/32#mm	23mm	9	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	5	

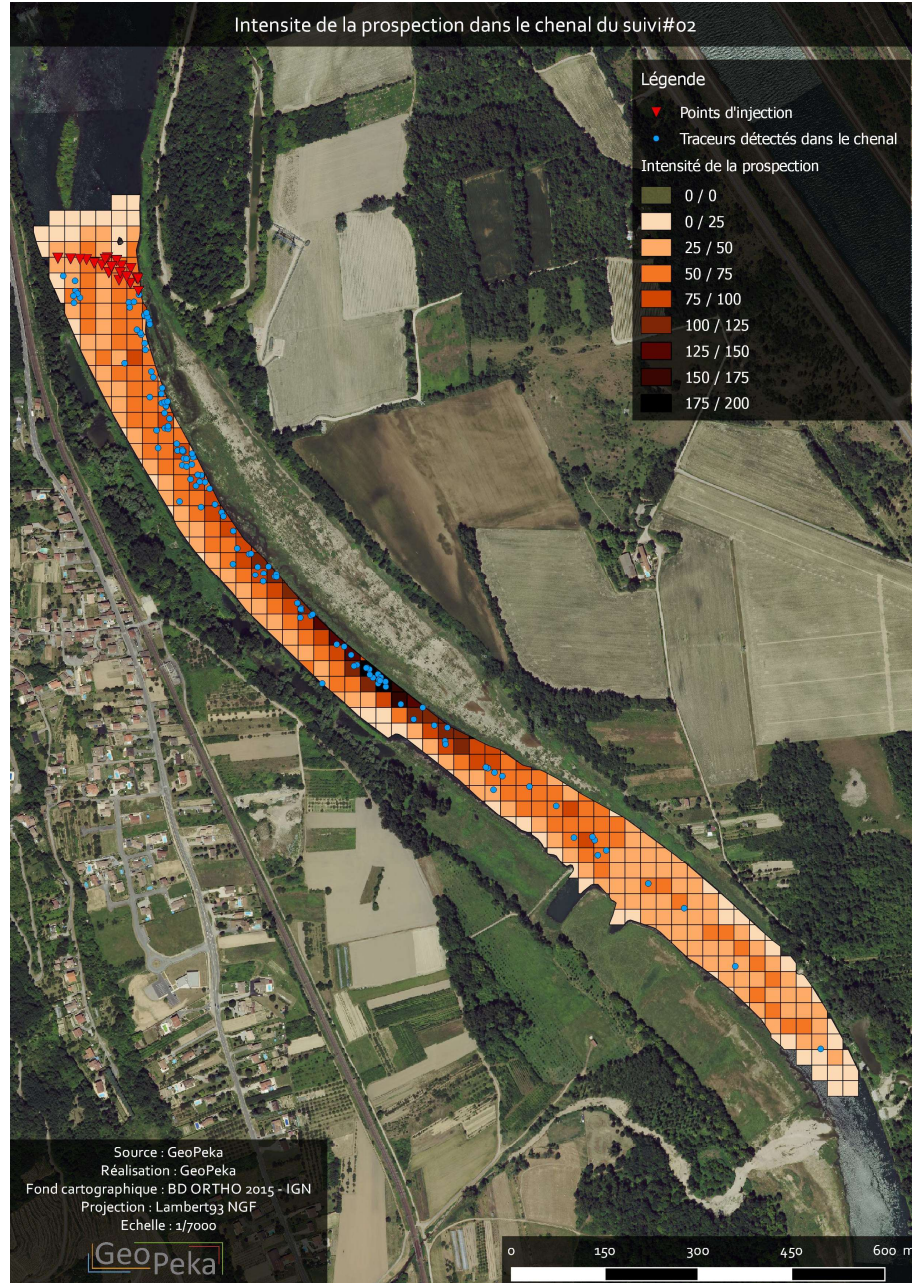
Réserve Naturelle de l'île de la Platière

A9	8/16 mm	12mm	14	60
	16/32 mm	12mm	8	
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
A10	8/16 mm	12mm	14	62
	16/32 mm	12mm	8	
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	14	
	64/80mm	32mm	6	
A11	8/16 mm	12mm	14	60
	16/32 mm	12mm	8	
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
A12	8/16 mm	12mm	14	61
	16/32 mm	12mm	8	
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
A13	8/16 mm	12mm	15	60
	16/32 mm	12mm	8	
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	5	
A14	8/16 mm	12mm	15	59
	16/32 mm	12mm	8	
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	5	
A15	8/16 mm	12mm	14	58
	16/32 mm	12mm	8	
	16/32 mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	10	
	64/80mm	32mm	5	
B1	8/16 mm	12mm	15	19
	8/16mm	12mm	4	
	16/32mm	12mm	3	
	16/32mm	23mm	2	
	32/45mm	23mm	4	
	45/64mm	32mm	4	

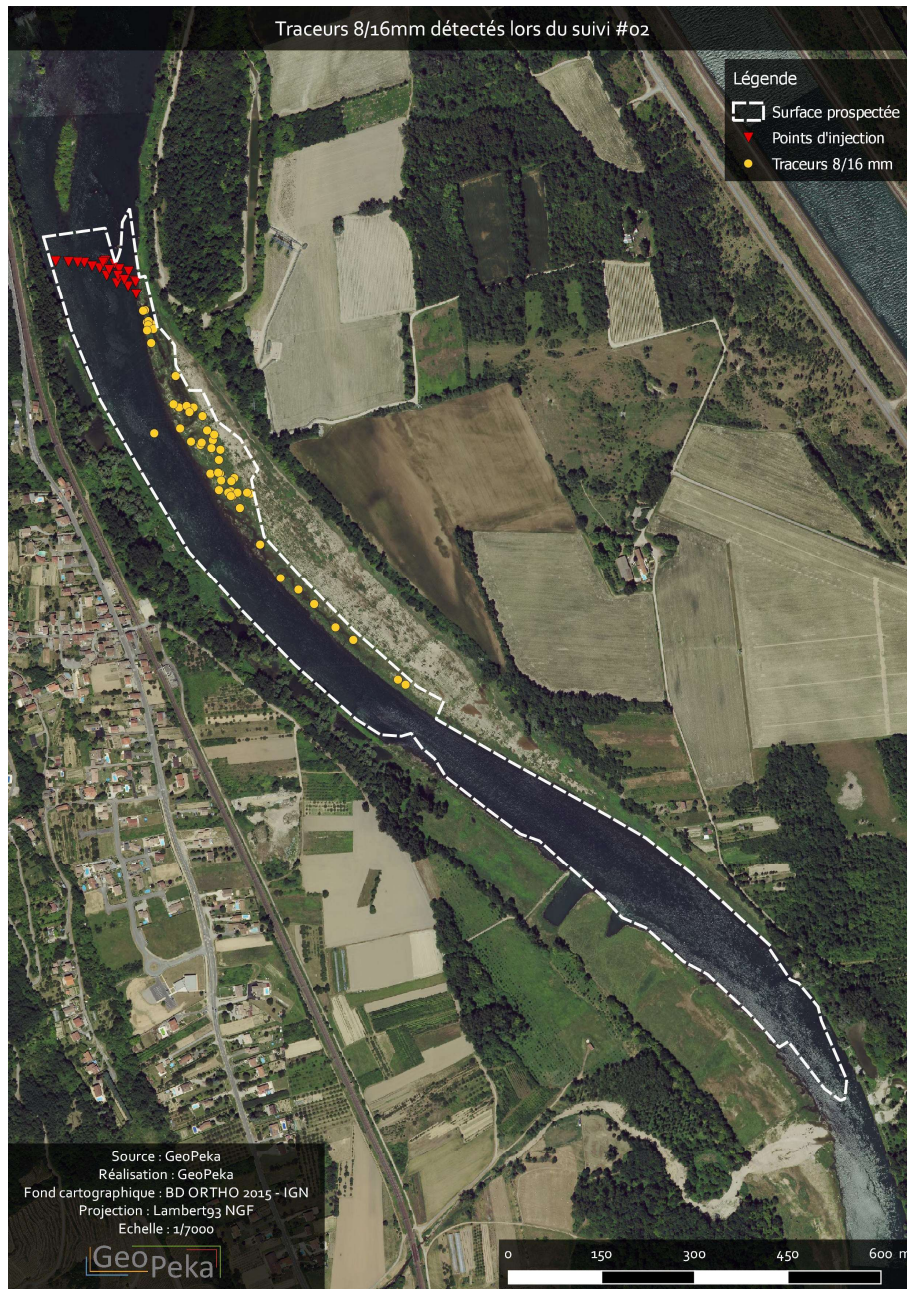
Réserve Naturelle de l'Île de la Platière

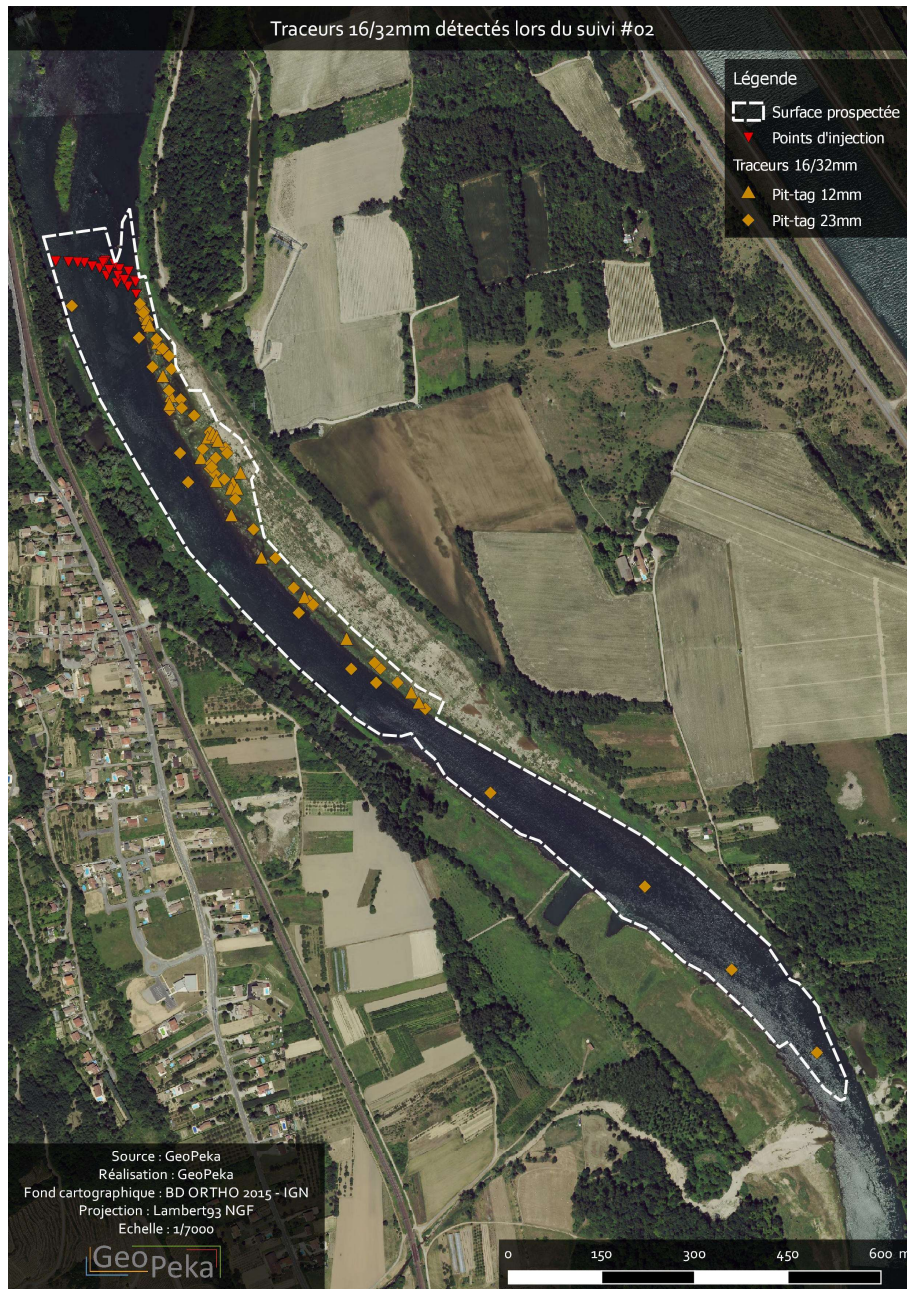
ID#point#l'injection	Classe#granulométrique#	Type#transpondeur	Nb#le#particule	TOTAL#point#l'injection
A1	16/32#mm	12mm	8	61
	16/32#mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	14	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#mm	12mm	13	
A2	16/32#mm	12mm	8	62
	16/32#mm	23mm	9	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#mm	12mm	15	
A3	16/32#mm	12mm	8	63
	16/32#mm	23mm	9	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#mm	12mm	16	
A4	16/32#mm	12mm	8	61
	16/32#mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#mm	12mm	15	
A5	16/32#mm	12mm	8	62
	16/32#mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	13	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#mm	12mm	15	
A6	16/32#mm	12mm	8	59
	16/32#mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	11	
	45/64mm	32mm	11	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#mm	12mm	15	
A7	16/32#mm	12mm	8	61
	16/32#mm	23mm	8	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	6	
	8/16#mm	12mm	15	
A8	16/32#mm	12mm	8	60
	16/32#mm	23mm	9	
	32/45mm	23mm	12	
	45/64mm	32mm	12	
	64/80mm	32mm	5	

3 DENSITE DE PROSPECTION DANS LE CHENAL (SUIVI #2)

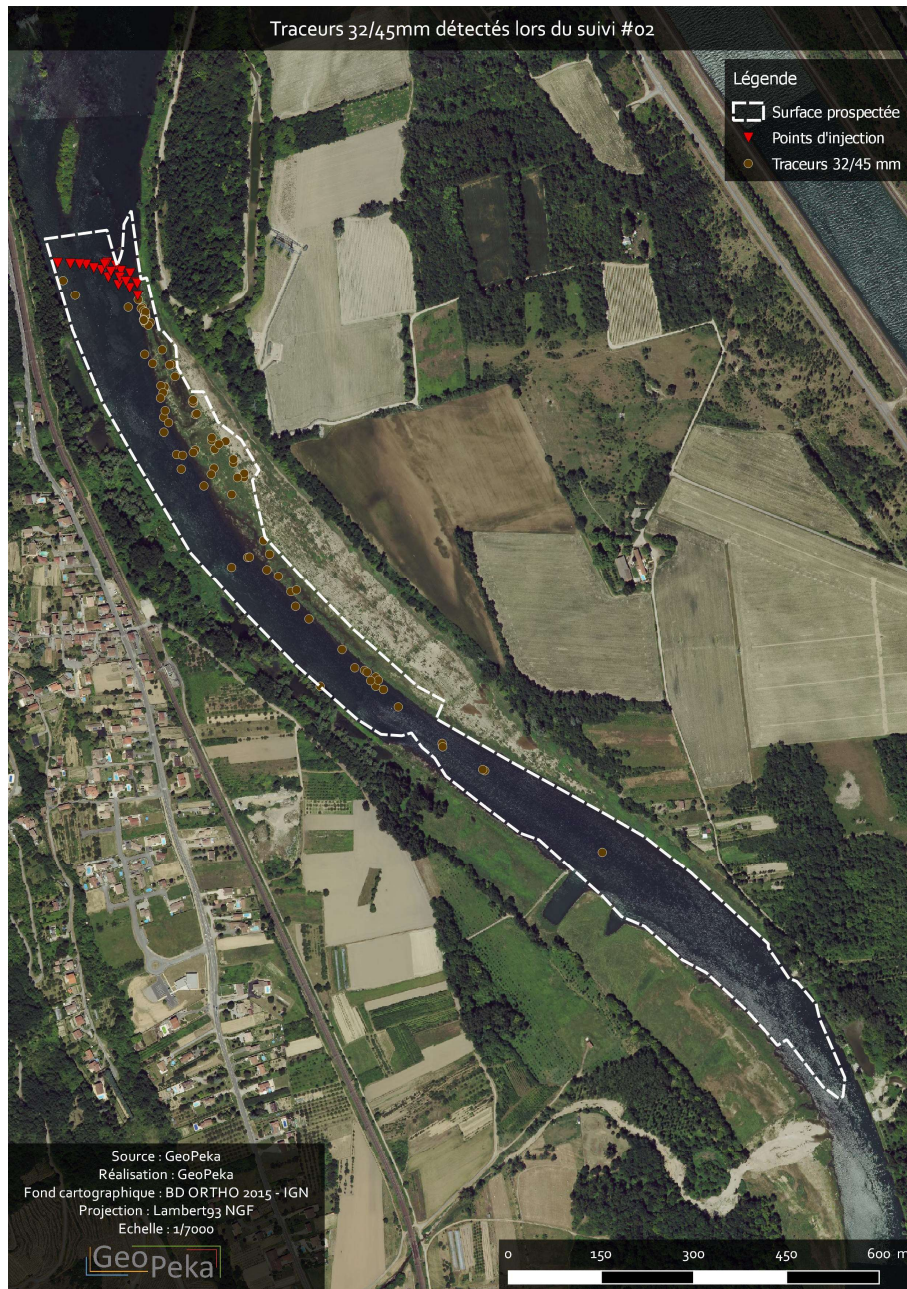


4 LOCALISATION DES TRACEURS PAR CLASSES GRANULOMETRIQUES

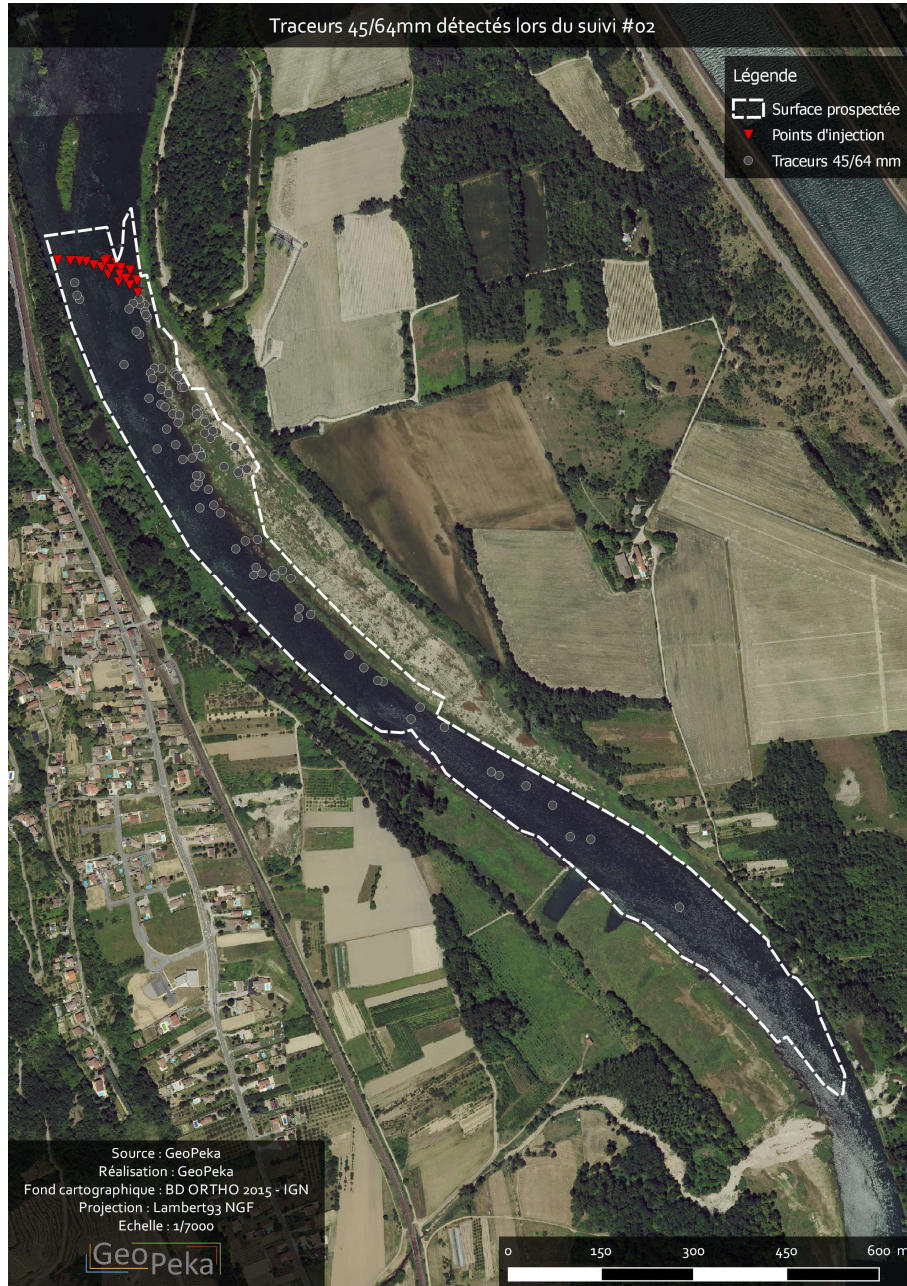




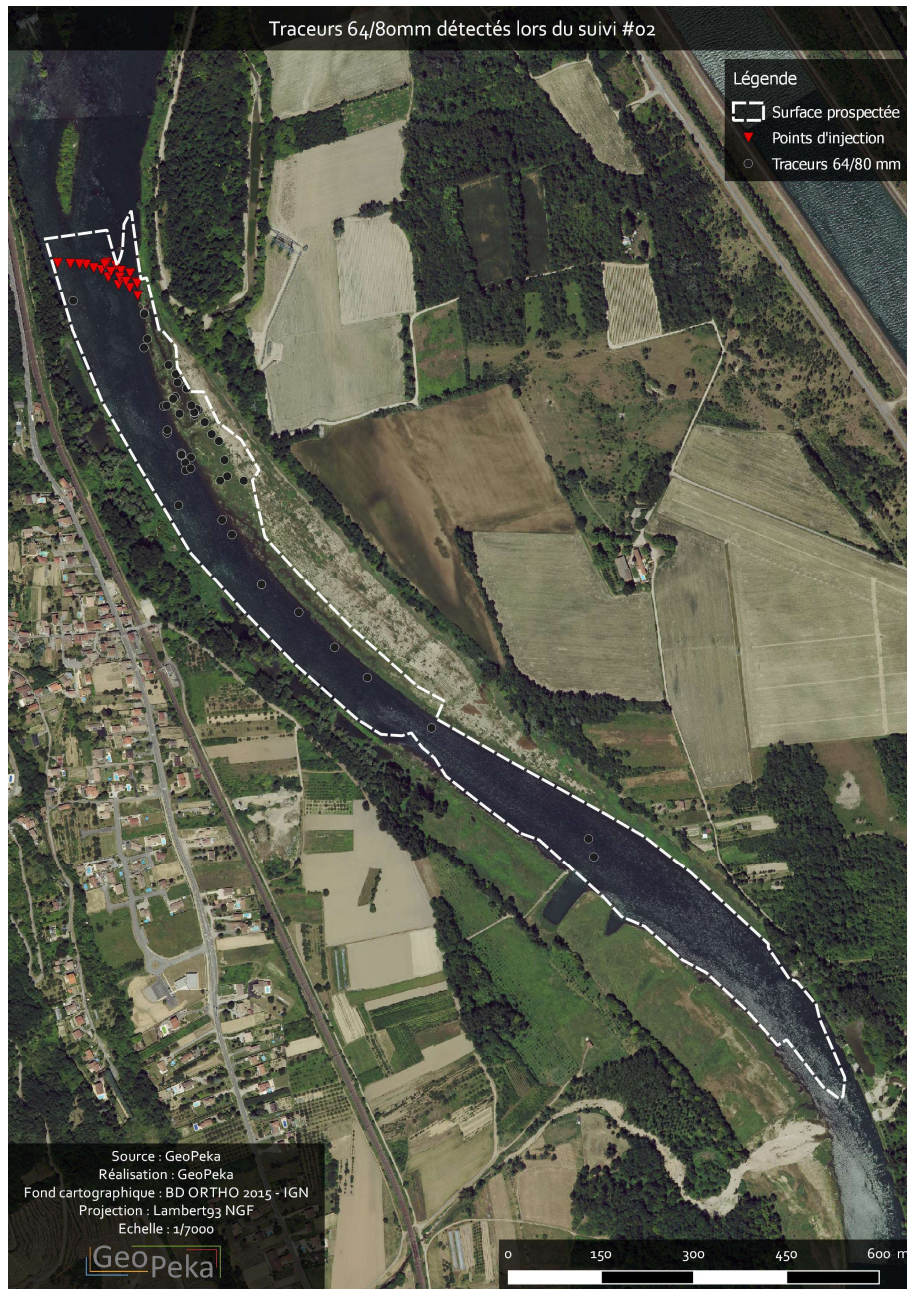
Réserve Naturelle de l'île de la Platière



Réserve Naturelle de l'île de la Platière



Réserve Naturelle de l'île de la Platière



Cette étude a bénéficié des partenaires financiers suivant :



MAISON DURCI
2 rue des Mails
38120 Saint-Egrève

Antenne de la Platière
Ferme des Oves
38550 LE PEAGE DE ROUSSILLON

Téléphone : 04 74 84 35 01
Mél : platiere@cen-isere.org
Web : www.ile.platiere.reserves-naturelles.org
www.cen-isere.org