



HAL
open science

Etude de faisabilité de la mise en place d'une station hydroacoustique à Lyon Perrache

Guillaume Dramais, B. Camenen, Jérôme Le Coz, Jessica Laible, Brahim Moudjed, Céline Berni, Mickaël Lagouy, Adrien Bonnefoy

► **To cite this version:**

Guillaume Dramais, B. Camenen, Jérôme Le Coz, Jessica Laible, Brahim Moudjed, et al.. Etude de faisabilité de la mise en place d'une station hydroacoustique à Lyon Perrache. [Rapport de recherche] INRAE, UR RiverLy. 2024. hal-04652844

HAL Id: hal-04652844

<https://hal.science/hal-04652844v1>

Submitted on 26 Aug 2024

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

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



Observatoire
des Sédiments
du Rhône

Etude de faisabilité de la mise en place d'une station hydroacoustique à Lyon Perrache

Etude de faisabilité de la mise en place d'une station hydroacoustique à Lyon Perrache

Rapport scientifique final

Version du 11 avril 2024

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

Axe A – Comprendre le fonctionnement hydrosédimentaire du fleuve

Action A1 – Etude de faisabilité de la mise en place d'une station hydroacoustique à Lyon Perrache

Personnes impliquées

Guillaume Dramais (INRAE, UR RiverLy, HyR) ; Benoît Camenen (INRAE, UR RiverLy, HyR) ; Jérôme Le Coz (INRAE, UR RiverLy, HyR) ; Céline Berni (INRAE, UR RiverLy, HyR) ; Jessica Laible (INRAE, UR RiverLy, HyR) ; Brahim Moudjed (INRAE, UR RiverLy, HyR) ; Mickaël Lagouy (INRAE, UR RiverLy, HyR) ; Adrien Bonnefoy (INRAE, UR RiverLy, HyR).

Pour citer ce rapport

Dramais, G., Camenen, B., Le Coz, J., Berni, C., Laible, J., Moudjed, B., Lagouy, M., Bonnefoy, A. (2024). *Etude de faisabilité de la mise en place d'une station hydroacoustique à Lyon Perrache*. Rapport final. Observatoire des Sédiments du Rhône – 6^{ème} programme d'action. Action A1. 24 p.

L'OSR est un programme animé par le Graie. Pour toute information vous pouvez contacter

Bertrand Morandi (bertrand.morandi@graie.org)

Résumé

Ce rapport présente l'état d'avancement des réflexions quant à la faisabilité de l'installation d'une station hydroacoustique de suivi en continu des flux de sable en suspension sur le Rhône à Lyon.

Une instrumentation de type ABS (Acoustic Backscatter System) est envisagée dans le tronçon urbain de Lyon, près de Perrache, où un suivi régulier par jaugeages solides du sable en suspension est effectué depuis décembre 2017. Plusieurs instruments sont ici décrits avec leurs avantages et leurs inconvénients. Des sites potentiels d'installation avec leurs contraintes sont aussi examinés. Au regard de nos connaissances actuelles, le matériel le plus adapté et polyvalent semble être le capteur UBSediflow. Il sera vraisemblablement installé dans le tronçon à proximité de la station hydrométrique de Lyon-Perrache.

L'objectif de ce document est de donner aux acteurs les éléments permettant de faire un choix technique pour déclencher les démarches afin d'installer cette station de mesure courant 2024 et ainsi pouvoir commencer ce suivi en continu dans le cadre du programme OSR7.

Mots-clés

Rhône ; Observatoire ; Sédiments ; OSR ; Sable ; Méthodes acoustiques ; Rétrodiffusion

Table des matières

1. Contexte	5
1.1 Suivi des flux de sable sur le Rhône	5
1.2 Intérêt d'une station hydro-acoustique	6
1.3 Intérêt du site de Lyon Perrache	7
2. Revue des solutions techniques	9
2.1 Les instruments du marché	9
2.2 NivusParQ 850	9
2.3 AQUAscet 1000R	10
2.4 UBsediflow	13
2.5 LISST ABS	13
2.6 Choix du matériel	14
3. Sites envisagés	16
3.1 Le Rhône à Lyon	16
3.2 Station CNR/Grand Lyon	18
3.3 Scène Ile Ô	19
3.4 Ponton du SDMIS	20
3.5 Plots hydrolienne	21
4. Conclusion	22
5. Bibliographie	23

1. Contexte

1.1 Suivi des flux de sable sur le Rhône

Les flux de sable en suspension (particules de diamètre $>63\mu\text{m}$) sur le Rhône et ses principaux affluents sont étudiés depuis quelques années, notamment depuis les programmes OSR4 et OSR5 durant lesquels des protocoles de suivi ont été mis en place. Plusieurs sites ont été échantillonnés par jaugeage solide embarqué (Champagneux, Loyette, Perrache, Bourg-lès-Valence, Arles) ou par prélèvements depuis des trailles (Pougny, Pyrimont, Beaumont-Monteux). Plusieurs évènements ont été suivis (Abaissement Partiel des Aménagements de Verbois APAVER, chasses de la Basse-Isère, crues du Rhône). Ces mesures sont coûteuses et nécessitent une bonne expertise des équipes pour réaliser correctement les prélèvements et les analyses. De gros efforts méthodologiques ont été menés ces dernières années avec plusieurs travaux de recherche liés au programme OSR mais impliquant également d'autres équipes et d'autres secteurs hors OSR (l'Isère à Grenoble Campus). Ainsi des techniques de prélèvement et d'analyse ont été comparées pour optimiser les protocoles et améliorer nos connaissances de cette suspension graduée de sable qui par son intermittence et sa dynamique spatiale est complexe.

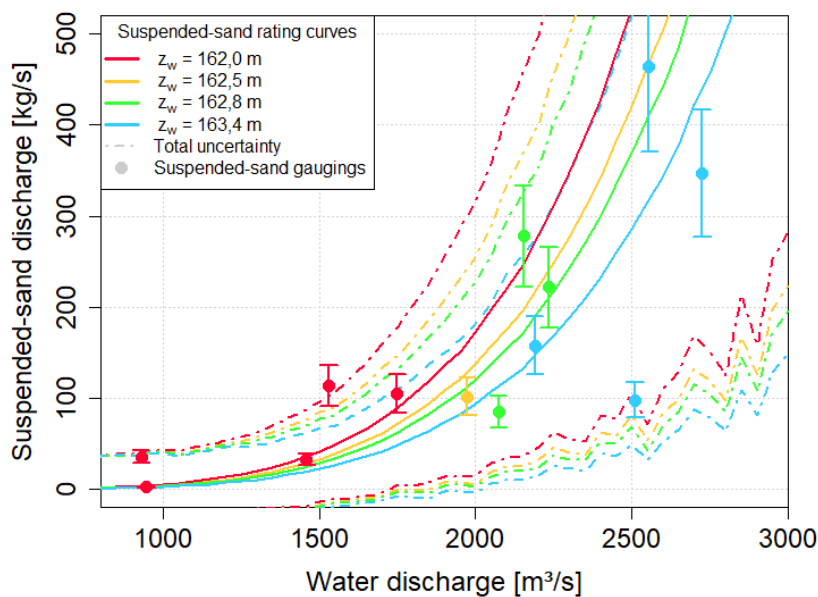


Figure 1 : Courbe de tarage sédimentaire du Rhône à Lyon Perrache. Courbe à double entrée (Hauteur en couleur, Débit liquide en abscisse) pour tenir compte du remous variable du barrage de Pierre-Bénite. Les points sont les jaugeages solides effectués depuis 2017 ; les traits tiretés correspondent aux incertitudes totales au niveau de probabilité de 95%.

Différents travaux ont été publiés par les équipes de l'OSR autour du sujet du sable en suspension. On peut citer sans être exhaustif les thèses d'A. Vergne (2018) sur le développement de méthodologie par suivi acoustique, de G. Dramais (2020) sur le développements et comparaisons des méthodes de jaugeage solide et courbes de tarage sédimentaires (cf. Figure 1) et de J. Laible (2024) sur le développement de suivis acoustiques en continu et sur les incertitudes des mesures granulométriques (Laible et al., 2023) et des jaugeages solides (Laible et al., 2024). On peut citer également les publications de B. Camenen sur la Basse-Isère (Camenen et al., 2018, 2023a) mais aussi les rapports techniques sur les

APAVER, la chasse de la Basse-Isère (Naudet et al., 2015, 2016 ; Camenen et al., 2021) et les rapports intermédiaires des différents programmes OSR qui synthétisent ces travaux (Dramais et al., 2023). Tous ces travaux font de ce domaine un sujet très actif du programme OSR.

1.2 Intérêt d'une station hydro-acoustique

Notre expérience sur les stations hydro-acoustiques s'est faite à la station de l'Isère à Grenoble-Campus (EDF/IGE, site-atelier Arc-Isère de la ZABR), unique station hydro-acoustique pour la mesure en continu des sables, installée dans le cadre de la thèse de J. Laible (2024). Cette station est composée de deux HADCPs (Horizontal Acoustic Doppler Current Profiler) de la marque Nortek (AWAC 400 kHz et Aquadopp 1 MHz) ; elle a été montée par EDF, CNR et INRAE selon les conseils de David Topping de l'USGS (United States Geological Survey), pour reproduire les systèmes de mesure exploités de façon opérationnelle par l'USGS aux Etats-Unis (Colorado, RioGrande, affluent du Mississippi). L'analyse des signaux acoustiques pour estimer les concentrations et tailles des sables a été réalisée par J. Laible (2024) en reprenant la méthode proposée par Topping et Wright (2016).



Figure 2 : Station hydro-acoustique à Grenoble-Campus : capteurs (a) et position de la section « Cableway » sur le campus de Grenoble à Saint-Martin-d'Hères (b).

Les principales conclusions issues des travaux de J. Laible (2024) sont :

- la méthode de Topping et Wright (2016) est applicable aux rivières alpines avec une possible prédiction des concentrations en sable et de son diamètre médian avec un facteur 2, ce qui est intéressant pour les concentrations mais peu informatif sur la granulométrie. La station de Grenoble-Campus est aujourd'hui maintenue par CNR et EDF pour une mesure en continu des sables ;
- les bilans de flux massique à long-terme sont cohérents avec une évaluation par courbe de tarage concentration-débit, mais le suivi acoustique fournit un détail plus fin temporellement et plus juste sur les flux transités à l'échelle événementielle ;
- des améliorations au niveau de la méthode d'analyse hydro-acoustique sont encore nécessaires pour la méthode bi-fréquence qui apparaît encore très sensible aux

calibrations de terrain et en particulier à la granulométrie. La méthode bi-fréquence reste cependant a priori moins biaisée par des variations de taille des particules sableuses que la méthode mono-fréquence. Il s'agit toutefois d'améliorer la prédiction du diamètre médian qui apporte actuellement peu d'information du fait d'une variabilité relativement faible de la granulométrie observée (du même ordre de grandeur que les incertitudes) ;

- la qualité des mesures expérimentales est fondamentale pour une bonne calibration du signal ADCP et une réduction des incertitudes de mesure semble encore utile.
- l'utilisation de HADCPs ne semble pas primordiale sachant que nous n'utilisons pas la mesure de vitesse. L'utilisation d'un capteur de rétrodiffusion multi-fréquences apparaît plus adaptée car offrant une plus grande flexibilité sur le choix des fréquences, pouvant permettre un développement de méthodes utilisant plus de 2 fréquences et moins onéreux (achat d'un unique appareil, installation potentiellement plus simple). Il est important tout de même que l'appareil soit suffisamment puissant pour que le faisceau acoustique ait une portée suffisante pour insonifier (transmettre, diffuser le signal acoustique dans un volume donné) un volume de mesure représentatif sur une rivière comme le Rhône avec une section d'une largeur de près de 150 m, et pour que l'atténuation acoustique par les sédiments fins ne limite pas trop cette portée de mesure en crue.

1.3 Intérêt du site de Lyon Perrache

L'installation d'une première station hydro-acoustique sur le Rhône nécessite un certain nombre de conditions et de choix stratégiques :

- un flux de sable connu et suffisant, y compris près des berges afin que le capteur acoustique puisse observer une suspension de sable représentative du flux total sur la section. La méthode de la concentration index (Santini et al., 2019) doit pouvoir y être appliquée ;
- le tronçon doit être suffisamment homogène et à l'équilibre morphologiquement ;
- le site doit être facilement accessible pour réaliser des jaugeages solides fréquents sur événements ;
- le site doit avoir un intérêt pour l'estimation des flux de sable sur le Rhône d'un point de vue scientifique mais aussi idéalement pour les gestionnaires.

Une dernière condition est aujourd'hui liée à notre politique INRAE locale : le site se doit d'être relativement proche de notre centre afin d'être réactif et participer (modestement) à la réduction de notre empreinte carbone¹.

Pour le site de Perrache, la solution de la courbe de tarage sédimentaire pour mesurer les flux de sable en continu est encore très incertaine (cf. Figure 1). Tout comme pour l'Isère à Grenoble, nous soupçonnons que le site présente des apports en sable limités et variables dans le temps limitant fortement la précision d'une courbe de tarage à l'échelle événementielle. L'option de l'installation fixe d'un capteur acoustique a été proposée pour évaluer les bilans de flux de sable qui transitent à Lyon. Le Rhône à Lyon Perrache, site où de

¹ Entré dans une dynamique de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre, l'UR RiverLy tend à réduire l'impact de ses activités de recherche sur le climat. Pour cela une réflexion est engagée sur de nombreux domaines dont les déplacements de terrain.

nombreux jaugeages solides ont déjà pu être réalisés, montre un potentiel pour la mesure hydro-acoustique et l'application d'une relation de type index de concentration (relation entre une mesure de la concentration en sable sur une zone limitée de la section et la concentration moyenne sur la section, cf. Santini et al., 2019). Il est apparu que la fréquence d'émission acoustique était très importante pour améliorer ce point, ce qui nous a ainsi orientés vers l'utilisation d'un appareil multi-fréquence visant en horizontal ou de façon oblique. En effet, ces appareils permettent l'émission de 4 fréquences différentes, voire plus. Ils ne permettent pas de mesurer la vitesse de l'écoulement mais cette mesure n'est pas nécessaire si nous travaillons à proximité d'une station hydrométrique. Cette station hydro-acoustique nécessitera des jaugeages solides complémentaires, en particulier en crue. L'analyse acoustique sera réalisée à l'aide de l'application logicielle Acoused développée par B. Moudjed (OSR6, Dramais et al., 2023) à partir des travaux théoriques d'A. Vergne (2017), et à l'aide des routines développées par J. Laible (2024), sur la base des travaux de Topping et Wright (2016).

Nous avons bien noté après discussion avec CNR que des sites en amont de Lyon, plus près de retenues où les dépôts de sable sont une problématique, offriraient un intérêt plus grand pour CNR. Mais au-delà de l'intérêt scientifique du suivi, l'idée dans le cadre de l'OSR7 est de pouvoir montrer la faisabilité et l'intérêt de telles stations hydro-acoustiques sur le Rhône.

2. Revue des solutions techniques

2.1 Les instruments du marché

Plusieurs instruments du marché ont été envisagés pour instrumenter le site du Rhône à Lyon Perrache (Tableau 1). Ils ont chacun des avantages et des inconvénients qui sont discutés ci-dessous.

Tableau 1 : Liste des instruments ayant fait l'objet du comparatif

Nom du matériel	Fournisseur	Descriptif commercial	Coût indicatif (k€ HT)
NivuParQ 850	NIVUS	Mesure en continu de la concentration de particules (équivalent TSS) à l'aide d'une nouvelle méthode de mesure ultrasonique utilisant l'écho multifréquence	Capteur : 9.8 Transmetteur : 8.4
AQUAscat 1000L	AQUATEC	Instrument acoustique à haute fréquence avec des applications dans les études sur le transport des sédiments, y compris la mesure des profils de sédiments en suspension, l'altimétrie de précision, les panaches de dragage et la turbulence.	Ensemble : 27* (version avec enregistreur déporté)
UBsediflow	UBERTONE	Profileur acoustique hyperbande, il permet de mesurer l'amplitude du profil de l'écho rétrodiffusé à plusieurs fréquences dans des applications de terrain.	Ensemble : 34*
LISST ABS	SEQUOIA	Capteur acoustique à faible coût mesurant directement la concentration de sédiments en suspension (SSC) en un point. Domaines d'application typiques : Surveillance et études sur les sédiments.	Ensemble : 8.6

*Les offres AQUATEC et NIVUS comprennent une formation

L'instrument retenu devra être d'une part suffisamment robuste pour une mesure en continu sur un support fixe et d'autre part polyvalent et transportable pour des mesures mobiles ponctuelles.

Dans l'idéal, il faudrait que l'instrument dispose d'un capteur de température de l'eau car ce paramètre est fondamental pour l'inversion acoustique.

2.2 NivusParQ 850

Appareil à 4 transducteurs réglables sur 9 fréquences, avec une portée maximale annoncée de 70 cm, il permet d'obtenir des signaux en continu de concentration dans 4 classes granulométriques, il est équipé d'un thermomètre. C'est un capteur déporté compact dont

l'enregistreur doit être installé en surface (Figure 3). Le système d'acquisition du signal et de traitement est compact et ne nécessite aucun développement, plusieurs protocoles de transmission de données distante sont proposés. Développé pour le marché des suivis d'eaux chargées, plutôt orienté assainissement et gestions des eaux pluviales mais aussi hydroélectricité. C'est une solution proposée pour l'instant « clef en main » plutôt orienté vers des clients opérationnels. La méthode d'inversion et de traitement des données n'est pas publique, ce qui pose un problème de reproductibilité. Nivus n'a pas de velléité à développer de nouvelles fonctionnalités logicielles et ne donne pas accès aux données brutes rétrodiffusées, ce qui rend cet instrument inutilisable avec Acoused et les codes développés actuellement à INRAE.



Figure 3 : Capteur et enregistreur NivusPar Q 850 (Source Nivus GmbH)

2.3 AQUAscat 1000R

Appareil à 4 transducteurs indépendants reliés par câble au corps de l'instrument, il est disponible en deux versions, l'une immergeable et l'autre avec un enregistreur déporté. 7 fréquences sont disponibles (300 kHz, 500 kHz, 1 MHz, 2 MHz, 2.5 MHz, 4 MHz and 5 MHz). Il est annoncé avec une portée jusqu'à 10 m. Il nécessite un ordinateur externe pour récupérer localement les données et paramétrer le capteur. Ces chaînes de mesure ne sont pas intégrables actuellement à un système de télétransmission à distance.

L'un des avantages de cet instrument est qu'il est modulable pour une utilisation embarquée par exemple (Figure 4). Les données brutes sont accessibles mais les routines de post-traitement proposées par Aquatec sont programmées en Matlab.

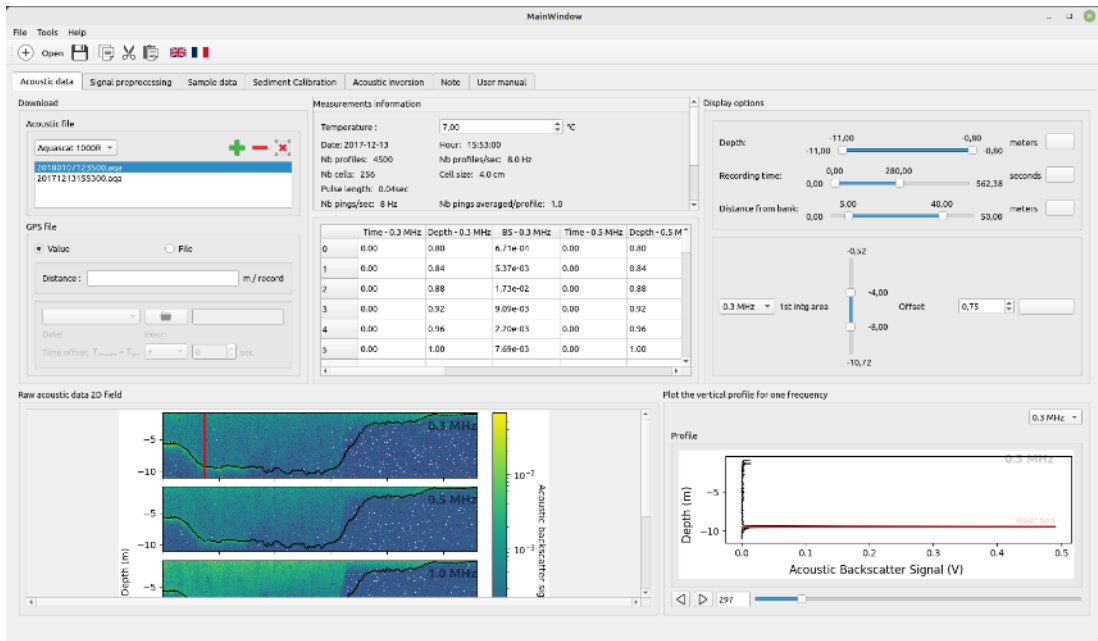
Un problème de l'AQUAscat est que la sonde température, même si elle permet un enregistrement, est mal placée (dans le boîtier électronique), et n'est pas exposée à l'eau donc pas représentative et pas réactive aux variations rapides. Or la mesure de la température est capitale pour l'inversion acoustique.



Figure 4 : AQUAscat 1000R déployé par INRAE sur le Rhône sur un drone aquatique.

Un AQUAscat 1000R a été utilisé par A. Vergne (2017) dans sa thèse avec des applications en laboratoire et sur le terrain, il a pu développer des codes Python de traitement qui sont la base du logiciel AcouSed (voir Figure 5). Il s'agit d'un logiciel qui permet de récupérer les données acoustiques et sédimentaires et faciliter le post et pré traitement des données acoustiques de plusieurs instruments différents (Aquascats et UBSediFlow à ce jour). Une présentation plus détaillée est fournie dans Dramais et al. (2023). Plusieurs mesures effectuées avec le même instrument peuvent être visualisées dans une même étude. Toutes les informations de la mesure sont concaténées dans le premier onglet (Figure 5) qui permet de sélectionner la (ou les zones) du (ou des) enregistrement(s) à analyser et post-traiter (inversion) et de détecter le fond. Le profil du signal acoustique rétro-diffusé est également tracé et sa position peut être visualisée sur l'enregistrement (trait rouge vertical).

(a)



(b)

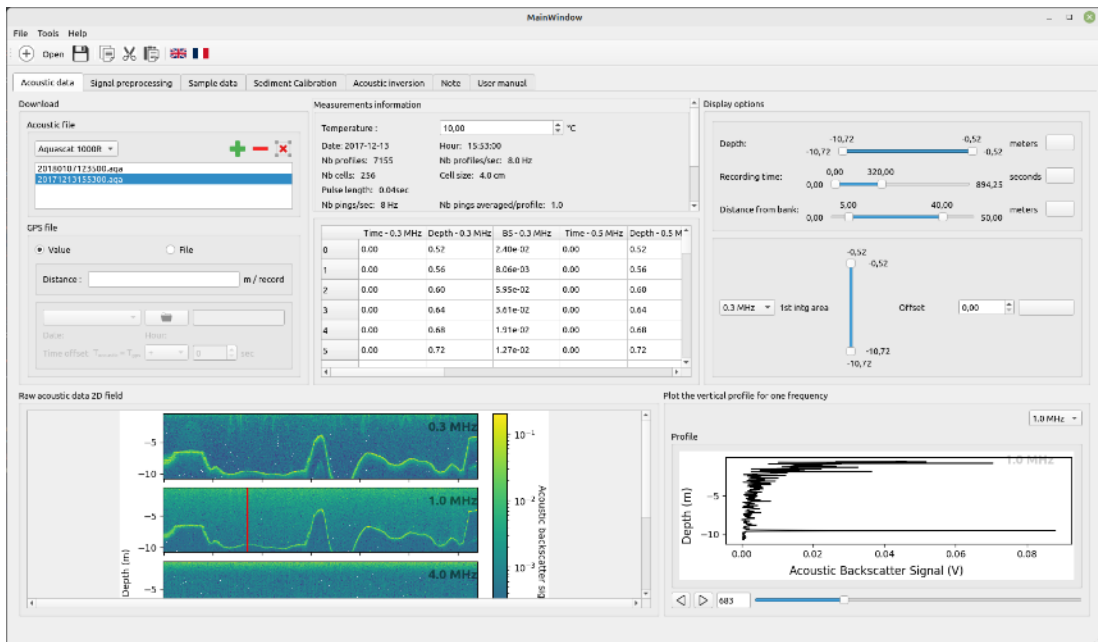


Figure 5 : Illustration du logiciel AcouSed. Mesures réalisées avec l'Aquascot, à la confluence Rhône Isère lors d'un événement de chasse de barrage en janvier 2018 (a), et, à la confluence Rhône Saône en décembre 2017 (b).

Le matériel et le SAV Aquatec a subi récemment une inflation sans précédent, ce point n'est pas à négliger dans le choix de matériel. Une version laboratoire du transmetteur vient de sortir elle est sûrement mieux adaptée à une application en station fixe, sans immersion de la totalité de l'instrument.

2.4 UBsediflow

Le profileur acoustique multifréquence UB-SediFlow permet de mesurer des profils d'amplitude des échos rétrodiffusés le long de 4 faisceaux acoustiques. Le système est composé de deux éléments reliés par un câble :

- 1 module acoustique, comprenant 4 transducteurs et une carte électronique acoustique, et qui est étanche jusqu'à 20 m.
- 1 enregistreur étanche, comprenant une batterie (autonomie de 12 heures) et communiquant par wifi (portée du signal jusqu'à 100 m). L'enregistreur peut être relié au secteur ou alimenté par panneaux solaires.

Les 4 transducteurs (centrés sur 0,5, 1, 2 et 4 MHz) sont à large bande, ce qui permet un réglage fin de la fréquence dans la plage de 0,35 à 5,00 MHz. L'appareil peut potentiellement mesurer à plus de 4 fréquences, ce qui peut aussi être intéressant pour l'analyse acoustique.

Le dispositif est configuré via une interface web et les profils peuvent être visualisés en temps réel. L'enregistreur permet de stocker une grande quantité de données et une télétransmission est possible. L'appareil peut être déployé en mode mobile ou installé en fixe.



Figure 6 : UBsediflow déployé sur une planche à couple d'un bateau du CACOH (CNR)

L'UB-SediFlow a été déployé à plusieurs reprises dans le cadre de campagnes de mesure sur le Rhône, notamment pendant l'APAVR 2021 et plus récemment lors de jaugeages solides à Loyette en décembre 2023 (Figure 6). Les résultats sont encourageants et les données sont en cours d'intégration dans la chaîne de post-traitement Acoused développée actuellement à INRAE. L'équipe d'Ubertone est à même d'aider à l'amélioration des codes en Python et développe elle-même des routines de post-traitement en Python.

Concernant la température, l'UB-sediflow n'a pas de sonde de température actuellement. Cependant, en collaboration avec Ubertone, l'intégration d'une sonde exposée à l'écoulement sera proposée pour la station OSR7.

2.5 LISST ABS

Le LISST ABS (Figure 7) est un instrument monofréquence (8 MHz) ; il est compact et destiné à mesurer les particules sédimentaires (30 à 400 μm) et leur concentration. La portée de

l'instrument est très faible (5 à 10 cm). Il est annoncé comme complémentaire des turbidimètres optiques et est basé sur une correction de l'atténuation par les particules. Ce capteur a été testé par EDF-DTG sur différents sites alpins (Zanker et al. 2023). Leurs conclusions sont que le LISST ABS apparaît être un outil intéressant pour connaître la dynamique temporelle des apports de sable, sous réserve d'un point de mesure représentatif, ce qui est effectivement très complexe à déterminer. La quantification des concentrations en sable se heurte à la question du prélèvement de sable de référence. L'estimation d'un flux local avec un facteur 1.5 à 2 semble néanmoins possible sur les cas testés par cette équipe.



Figure 7 : LISST ABS (Source SEQUOIA)

Ce capteur peut être associé à une chaîne d'acquisition classique avec ces sorties tension, SDI-12 et série. Le LISST ABS est livré avec un logiciel propriétaire et permet l'export d'une concentration sur laquelle peut être réalisée des ajustements/calibrations mais les données brutes acoustiques ne sont pas accessibles directement.

2.6 Choix du matériel

Bien que plus chère, la solution technique choisie est le capteur UB-sediflow de Ubertone, le tableau ci-après (Tableau 2) présente les avantages et inconvénients principaux des différentes solutions envisagées.

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des différentes solutions techniques

Nom du matériel	Fournisseur	Avantages	Inconvénients
NivuParQ 850	NIVUS	Chaîne d'acquisition complète et opérationnelle Coût	Portée maximale 70 cm Solution logiciel fermée, données brutes non accessibles
AQUAscat 1000L	AQUATEC	Matériel déjà éprouvé Portée jusqu'à 10 m	SAV hors UE - coût
UBsediflow	UBERTONE	Equipe de développement française, Python compatible Portée jusqu'à 8 m	Coût de la solution complète
LISST ABS	SEQUOIA	Coût	Portée 5 à 10 cm Solution logiciel fermée, données brutes non accessibles

3. Sites envisagés

Quel que soit le site retenu, il faudrait regarder la bathymétrie de la section, les dépôts (berges, fond) et réaliser des jaugeages solides pour confirmer s'il y a une chance de voir passer du sable en suspension. Selon le capteur acoustique choisi, il sera bien sûr nécessaire aussi d'évaluer le cône de mesure et les échos parasites fond/surface, en fonction de l'angle de tir. Vu qu'on veut mesurer une concentration index locale avec du sable, le tir ne nécessite pas d'être horizontal mais peut être oblique vers le fond et vers le centre du chenal. Il faudra prévoir un support qui permette de régler assez facilement l'angle vertical ainsi qu'un cadre solide pour protéger l'instrument des chocs (embâcles, bateaux...). Il faudra bien sûr avoir en tête une maintenance de l'appareil aisée pour un nettoyage régulier. Des plongeurs de l'équipe RiverLy pourront éventuellement être mobilisés pour cela.

3.1 Le Rhône à Lyon

La rive gauche du Rhône à Lyon est soumise à un ensablement régulier qui nécessite des travaux d'entretien (CNR, 1989, 1991; Grand Lyon, 2017). Des dragages sont effectués régulièrement à hauteur de 1400 m³/an depuis 1989 avec un maximum de 9900 m³ en 1994. Durant la période 1989-1996, de gros volumes ont été dragués. Pendant cette période, l'Ain a été très actif, avec notamment une crue exceptionnelle atteignant plus de 1100 m³/s à Pont-d'Ain en février 1990, et il se peut que les dépôts observés soient liés à cette activité de l'Ain. En aval de Lyon, le Rhône, grossi par les eaux de la Saône, est régulé par l'aménagement de Pierre-Bénite, mis en service en 1967.

Le site de Perrache est suivi depuis 2017 pour déterminer des flux de sable en suspension par jaugeages solides. Ce site a été choisi pour plusieurs raisons :

- le site présente une géométrie relativement simple (Rhône chenalisé, retenue de Pierre-Bénite) et un flux de sable important pouvant être approché par une courbe de tarage (cf. Figure 1). Cependant, la courbe de tarage calée sur les jaugeages solides de janvier 2018 ne semble pas valable pour les événements jaugés plus récemment (sensibilité probable à la disponibilité des apports amont), ce qui ajoute un intérêt à la mise en place de la station acoustique ;
- les apports de sable du Haut-Rhône sont mal connus et la connaissance fine des flux en aval peut permettre de mieux comprendre les différents apports de l'Ain, du Haut-Rhône et de la possible reprise locale (Camenen et al., 2023b) ;
- le site est accessible et sécurisé même en cas de crue importante, et à proximité du site INRAE de Villeurbanne où sont les moyens techniques de jaugeage solide et analyse des échantillons ;
- une station hydrométrique de la CNR est implantée sur ce tronçon.

Ce site de Lyon Perrache a permis de tester différents préleveurs de sédiments en suspension. Des courbes de tarage sédimentaires ont été également testées sur ce secteur pour quantifier les flux et tester la sensibilité de ces méthodes.

Différents sites pouvant potentiellement accueillir la station ABS ont été visités. Ils sont localisés sur la carte en Figure 8.



Figure 8 : Localisation des différents potentiels sites sur le Rhône à Lyon pour l'installation d'une station hydro-acoustique.

3.2 Station CNR/Grand Lyon

Située en rive droite, cette station hydrométrique est utilisée par l'exploitant du Barrage de Pierre-Bénite et le CACOH pour déterminer le débit du Rhône à Perrache. Le local technique (Figure 9) est propriété du Grand Lyon avec des restrictions d'accès et des alarmes.



Figure 9 : Cabane de mesure du Grand Lyon au niveau de Perrache

L'échelle limnimétrique (Figure 10) et le capteur de la CNR sont situés plus en aval. Le chemin de câble (Figure 11) traverse la sortie d'autoroute en souterrain (20 m) puis suit l'autoroute (90 m) avant de plonger dans le Rhône (~8 m).

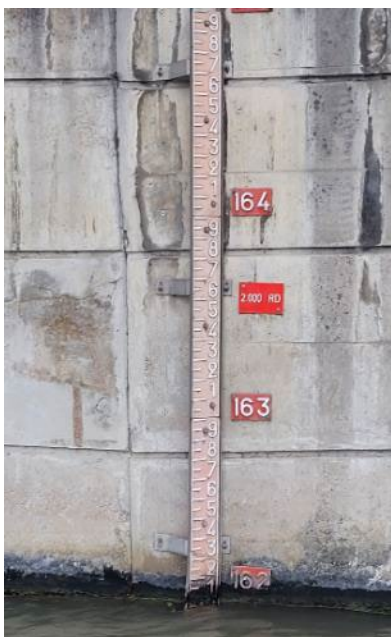


Figure 10 : Echelle limnimétrique de la station de Perrache

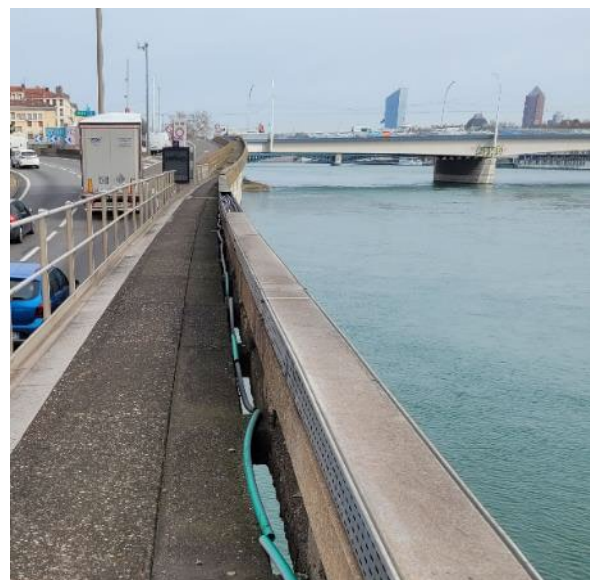


Figure 11 : Chemin de câble le long de l'autoroute

Inconvénients :

- Une telle longueur de câble est inenvisageable, il faudrait mettre une logette intermédiaire qui serait plus exposée au vandalisme.
- Installation : il faudra des plongeurs pour installer, pour la maintenance et le démontage. A moins d'utiliser un support basculant fixé hors d'eau.

3.3 Scène Ile Ô

Située en rive gauche en face de la station hydrométrique CNR, cet « établissement flottant » (Figure 12, Figure 13 et Figure 14) est un ouvrage en béton qui suit les variations de hauteur d'eau du Rhône. Il est amarré à des Duc-d'Albe.

Il est situé entre le Pont Galliéni et le pont SNCF. Un ponton privatif est situé à l'aval de l'ouvrage (Figure 12), il a lui-même des bollards d'amarrage (Figure 13). Le bollard le plus éloigné du quai pourrait être équipé d'un bras vertical pivotant permettant la mise en place et la maintenance du capteur avec une intervention limitée de plongeurs. L'accès à ce ponton est sécurisé, il pourrait se faire à pied ou en bateau.



Figure 12 : Ponton aval de L'île Ô



Figure 13 : Amarrage possible d'un bras articulé pour immersion du capteur



Figure 14 : Scène L'Île Ô depuis la rive droite

Avantages :

- Accès sécurisé et emplacement éventuel du capteur déporté du quai (plus proche de la zone active de l'écoulement)
- En face de la station CNR
- Moins de navigation que près du ponton des pompiers.
- Le régisseur général a l'air d'accord pour une installation de ce type.

Inconvénients :

- L'Île Ô suit les variations du Rhône ; les données seront donc à corriger mais il en est de même pour un capteur fixe (avec le niveau d'eau au-dessus qui varie, et avec le risque de réflexions parasites pour des niveaux faibles) ;
- On peut éventuellement être relié au secteur via les Duc d'Albe mais c'est peut-être compliqué (Grand Lyon). Possibilité de mettre un petit panneau solaire. L'idéal serait tout de même d'être sur secteur, plus batterie/panneau solaire en cas de coupure ;
- La présence d'une navigation peut impacter les mesures (présence de bulles) et aussi accroître le risque de casse (choc).

3.4 Ponton du SDMIS

Deux pontons des pompiers (SDMIS) sont situés en rive gauche l'un en amont (Figure 15), qui est mobile, et l'autre en aval de la station hydrométrique de Perrache.

Le ponton aval est électrifié (pas celui de l'amont) et muni de pieux fixes. Par contre il est à côté de la mise à l'eau publique et de la station-service pour bateaux. Il y a donc beaucoup de navigation dans ce secteur, ce qui peut être problématique pour les mesures d'un part, du fait des potentielles perturbations des mesures par la navigation dans le faisceau (présence de bulles en particulier), et d'autre part à cause du risque de casse si un bateau accoste ou vient taper contre l'installation.

Le ponton amont n'est pas vraiment propice à l'installation d'un panneau solaire : très proche du quai il est presque à portée de main pour du vandalisme.



Figure 15 : Ponton amont du SDMIS

3.5 Plots hydrolienne

Plusieurs plots (4) ont été installés plus en amont, juste en amont du pont SNCF en rive droite côté Feysine, pour y installer des hydroliennes avec le soutien de VNF (cf. Figure 8 et Figure 16). Ces plots ont été abandonnés et pourraient être utilisés pour installer la station. L'accès au réseau serait possible si VNF accepte l'utilisation existante. Cependant l'accès à ces plots est difficile et dangereux pour l'installation et la maintenance de la station. De plus, de fait de leur positionnement dans une veine rapide, de nombreux bois morts peuvent atteindre le plot et potentiellement endommager la station. L'échec des hydroliennes est en partie dû à la casse subie lors des crues récentes du fait du bois-mort. Ce site est donc mis de côté.



Figure 16 : Plot hydrolienne

4. Conclusion

L'objet de ce rapport est de proposer une réflexion pour la mise en place de la première station hydro-acoustique pour la mesure du sable en continu sur le Rhône dans le cadre du futur programme OSR7.

L'ensemble des travaux réalisés dans le cadre du programme OSR6 nous a menés à choisir comme site le secteur de Lyon-Perrache, principalement pour des raisons scientifiques mais aussi du fait d'une relative bonne connaissance de ce site et de sa proximité avec le site INRAE de Villeurbanne. Plusieurs choix de sites d'installation ont été explorés et leurs avantages et inconvénients ont été étudiés. Le choix final et l'installation de la station sera fait au cours de la première année de l'OSR7 (courant 2024) en fonction des différentes contraintes. Cette première étude nous oriente cependant vers le site de l'île Ô.

Le capteur multi-fréquence UBSediflow est envisagé pour cette station hydro-acoustique. Le choix de ce système plutôt que deux HADCP de fréquences différentes comme pour la station de Grenoble-campus (première station hydro-acoustique pour la mesure du sable en France) a été fait pour des raisons de coût et de facilité d'installation mais aussi pour la possibilité offerte d'avoir plus de deux fréquences d'émission pouvant permettre plus de possibilités en termes de développement méthodologique, en lien avec le logiciel AcouSed développé dans le programme OSR6 et sur financements complémentaires INRAE et CNR.

5. Bibliographie

- Camenen, B., Dramais, G., Bouche, M., Stepanian, J., Lauters, F., Reynaud, S., Menu, S., Pierrefeu, G., Le Coz, J., Laible, J., Thollet, F., Bonnefoy, A., Lagouy, M., Fretaud, T. & Nunes, P. (2022). Synthèse des mesures hydro-sédimentaires lors de la chasse de la Basse-Isère de janvier 2021. Rapport CNR/EDF/Inrae , 91 p. <https://hal.science/OSR/hal-03559617v1>
- Camenen, B., Dramais, G., Laible, J., Le Coz, J., Lauters, F. & Pierrefeu, G. (2023a). Quantification of continuous sand flux time-series downstream of a dam during a flushing event. *Environmental Fluid Dynamics* (sous presse), doi : 10.1007/s10652-023-09955-9
- Camenen, B., Masquelier, F., Bonnefoy, A., Kieffer, L., & Dramais, G. (2023b). Origin of sand suspension measured in the River Rhône at Lyon-Perrache during a flood. 9th conference on Gravel-Bed Rivers (GRB9), Villareca, Chili, Jan. 2023. <https://hal.science/OSR/hal-04186348v1>
- Camenen, B., Naudet, G., Dramais, G. Le Coz, J & Paquier A. (2019). A multi-technique approach for evaluating sand dynamics in a complex engineered piedmont river system. *Science of the Total Environment*, 657:485-497. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.394 <https://hal.science/OSR/hal-02553061v1>
- Dramais, G. (2020). Observation et modélisation des flux de sable dans les grands cours d'eau. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1 <https://hal.science/OSR/tel-03188258v1>
- Dramais, G., Camenen, B., Laible, J., Moudjed B. (2023). Mesures in situ et modélisation pour la quantification de la charge sableuse. Rapport final. Observatoire des Sédiments du Rhône – 6ème programme d’action. Action A1. 41 p. <https://hal.science/OSR/hal-04228327v1>
- Laible (2024). Improving methods for the hydroacoustic monitoring of suspended sand concentration and grain size: Application to the Isère River at Grenoble Campus. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1
- Laible, J., Camenen, B., Le Coz, J., Pierrefeu, G., Lauters, F. & Dramais, G. (2023). Comparison of grain size distribution measurements of sand-fine sediment mixtures using laser diffraction systems. *Journal Soils & Sediments*, 23: 2310-2325, doi: 10.1007/s11368-023-03470-6 <https://hal.science/OSR/hal-04303103v1>
- Laible, J., Dramais, G., Le Coz, J., Camenen, B., Calmel, B., Topping, D.J., Santini, W. & Pierrefeu, G. (2024). River suspended-sand flux computation with uncertainty estimation, using water samples and high-resolution ADCP measurements. *Earth Surface Dynamics* (en révision), doi : 10.5194/egusphere-2023-2348
- Naudet, G., Dugué, V., Camenen, B., Le Coz, J., Dramais, G. & Paquier, A. (2015). Étude de la dynamique hydrosédimentaire au niveau de la confluence entre l'Isère et le Rhône. Rapport Irstea/EDF/CNR, 112 p. <https://hal.science/OSR/hal-02606157v1>
- Naudet, G., Dugué, V., Camenen, B., Le Coz, J., Dramais, G. & Paquier, A. (2016). Étude de la dynamique hydrosédimentaire au niveau de la confluence entre l'Isère et le Rhône (Phase 2). Rapport Irstea/EDF/CNR, 105 p. <https://hal.science/OSR/hal-04087433v1>
- Santini, W., Camenen, B., Le Coz, J., Vauchel, P., Guyot, J.-L., Lavado, W., Carranza, J., Paredes, M., Pères-Arévalo, J. J., Arévalo, N., Espinoza-Villar, R., Julien, F. & Martinez, J.M. (2019). An index concentration method for suspended load monitoring. *Earth Surface Dynamics*, 7(2): 515-536. doi: .5194/esurf-7-515-2019. <https://hal.science/hal-02610009v1>

Topping, D. J. and Wright, S. A. (2016). Long-term continuous acoustical suspended-sediment measurements in rivers - theory, application, bias, and error. Professional Paper 1823, U. S. Geological Survey.

Vergne, A. (2017). Mesure acoustique des sédiments en suspension dans les rivières [Acoustic measurement of suspended sediments in rivers]. Thèse de doctorat, Université of Grenoble / Irstea Lyon. <https://hal.science/OSR/tel-02115348v1>

Zanker, S., Legout, C., Le Guern, J., (2023). Mesure du sable en suspension par acoustique active. Tests préliminaires du capteur LISST ABS pour la gestion sédimentaire du barrage hydroélectrique de Livet sur la Romanche. Colloque SHF « apport des nouvelles technologies à l'étude du transport sédimentaire », Grenoble, France.



Observatoire des Sédiments du Rhône

Dispositifs scientifiques cadres



Partenaires scientifiques



Partenaires techniques et financiers

