



HAL
open science

Étude du fonctionnement des pièges à particules dans le canal hydraulique

Céline Berni, A. Buffet, B. Camenen, A. Dabrin, M. Lagouy, M. Launay, C. Le Bescond, Jérôme Le Coz, M. Masson, E. Perret, et al.

► To cite this version:

Céline Berni, A. Buffet, B. Camenen, A. Dabrin, M. Lagouy, et al.. Étude du fonctionnement des pièges à particules dans le canal hydraulique. [Rapport de recherche] irstea. 2017, pp.32. hal-02607080

HAL Id: hal-02607080

<https://hal.inrae.fr/hal-02607080>

Submitted on 9 Aug 2022

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

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

OSR4 2015-2017

Etude du fonctionnement des pièges à
particules dans le canal hydraulique



Observatoire
Sédiments
Rhône

Action III.2

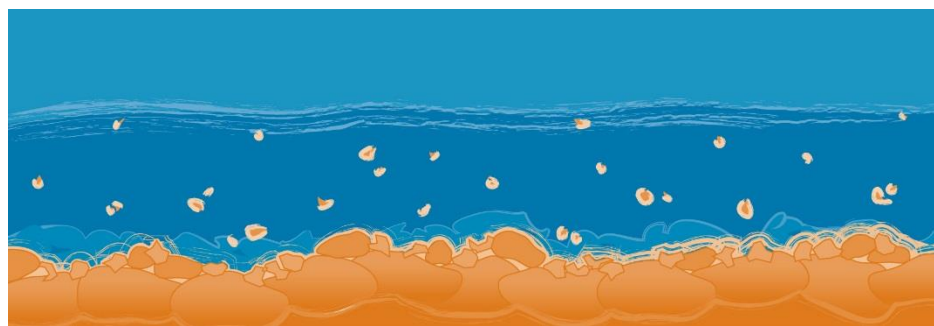
Version du 5 décembre 2017



2015 - 2020



Donnons un avenir à notre fleuve



Personnes impliquées	Equipe de recherche
Céline Berni (CB), Alexis Buffet (AB), Benoît Camenen (BCa), Aymeric Dabrin (AD), Mickaël Lagouy (MiL), Marina Launay (ML), Chloé Le-Bescond (CIB), Jérôme Le Coz (JLC), Matthieu Masson (MM), Emeline Perret (EP), Fabien Thollet (FT)	Irstea – Centre de Lyon-Villeurbanne

Etude du fonctionnement des pièges à particules dans le canal hydraulique

Résumé

Les pièges à particules sont utilisés dans le cadre de l'OSR pour le prélèvement de matières en suspension (MES) en vue de leur analyse physico-chimique. Sur la station de mesure du Rhône à Jons, des prélèvements de MES sont également réalisés par centrifugation et sont considérés comme l'échantillonnage de référence ponctuel. Les analyses granulométriques réalisées sur les échantillons de MES issus de ces deux techniques de prélèvements montrent que les particules collectées à l'aide d'un piège à particules sont plus grossières que celles collectées par centrifugation. Des tests en milieu contrôlés ont été réalisés dans le canal hydraulique d'Irstea Lyon-Villeurbanne afin d'établir des recommandations pour optimiser le déploiement in situ des PAP, corriger des résultats d'analyses physico-chimiques, voire améliorer le design des PAP. Ce document présente le protocole suivi lors des différentes expériences, ses améliorations successives ainsi que les résultats obtenus.

Les expériences menées semblent indiquer que le biais granulométrique observé sur le terrain entre les prélèvements au piège à particules et la centrifugeuse est dû à une perte de sédiments fins. Nous n'avons pas observé de récolte de sédiments grossiers significative non représentative des sédiments en suspension. Il semble que la mise en place du piège perché sur une berge permette de s'affranchir de bouffées de sédiments plus grossiers lors d'évènements particuliers. Des pistes sont envisagées pour améliorer l'efficacité du piège et pourront faire l'objet d'un projet ultérieur. Lors de ce projet, nous pourrions étudier également l'efficacité propre du piège et non du piège dans son environnement en l'alimentant directement par un tuyau.

D'autre part, nous avons choisi dans un premier temps d'étudier les pièges à particules à débit et concentrations constants. Par la suite, nous pourrions également étudier le potentiel d'intégration des flux du piège avec des écoulements instationnaires.

Mots-clés

Expériences de laboratoire, efficacité, flux de sédiment, piège à particules, débit.

Table des matières

1- Contexte	4
2- Objectifs	5
3- Premières expériences (2015).....	5
Protocole	5
Résultats	7
Granulométrie	7
Flux	9
Lacunes des premières expériences.....	11
4- Deuxième jeu d'expériences (2016).....	11
Protocole 2016	11
Résultats	13
Flux	13
Granulométrie	16
5- Troisième jeu d'expériences (2017)	18
Protocole	18
Résultats	20
Flux	20
Granulométrie	22
6- Inter-comparaison des trois jeux d'expérience.....	25
Conclusions.....	26
Références.....	27
Annexes	28
Résultats d'analyse des concentrations en MES sur les prélèvements des expériences menées en 2015.....	28
Résultats des analyses granulométriques (par diffraction Laser) sur les prélèvements des expériences menées en 2015.....	29

1- Contexte

Une des principales actions de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR) vise à quantifier les flux des matières en suspension (MES) et de contaminants particulaires associés, à l'échelle du Rhône du Léman à la Méditerranée et de ses principaux affluents. Pour répondre à cet objectif, un réseau de stations de suivi en continu des concentrations en MES et de prélèvements de particules a été mis en place depuis 2010. Sur la station principale du Rhône à Jons, les prélèvements de matières en suspension (MES) pour le suivi qualitatif sont réalisés par centrifugation et avec un piège à particules. La méthode de prélèvement par piège à particules est particulièrement intéressante compte tenu de son faible coût et de son caractère intégratif. Le piège à particules se présente sous la forme d'une boîte en inox 316 (40x30x25cm) percée de trois trous sur les faces avant et arrière qui permettent de faire circuler l'eau. A l'intérieur, deux cloisons font chuter la vitesse de l'eau et entraînent la décantation des MES au fond de deux bacs amovibles (**Figure 1**).

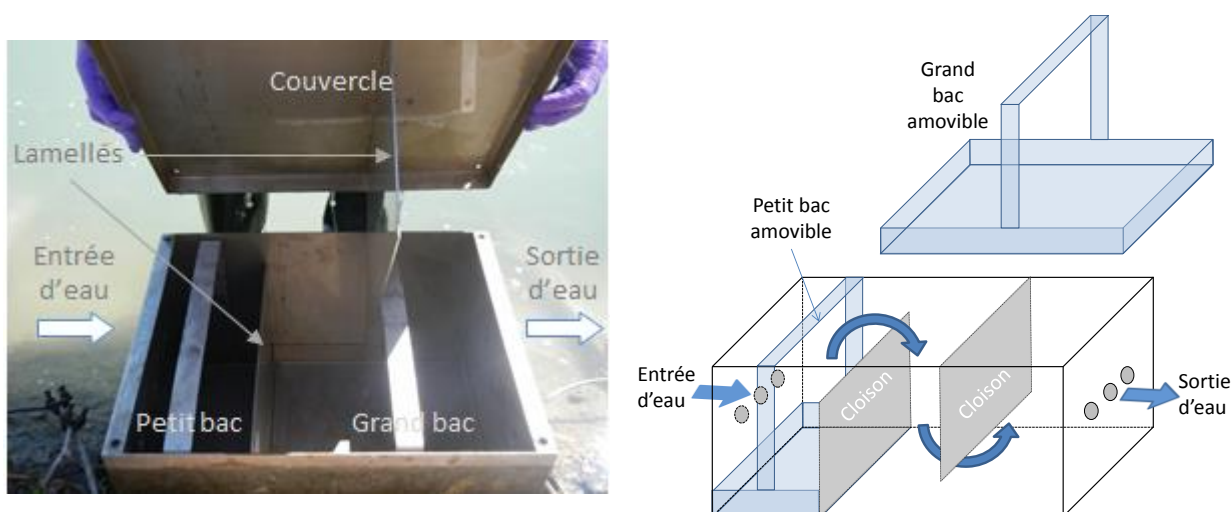


Figure 1 Présentation d'un piège à particules immergé en inox de dimension 40x30x25 cm.

La représentativité des échantillons issus du piège est validée par comparaison avec l'échantillon issu de centrifugation considéré comme une référence ponctuelle (thèse de M. Launay, 2014).

Cependant, la comparaison des granulométries des échantillons prélevés par le piège à particules et la centrifugeuse suscitent des questions (Pohlert *et al.*, 2011, Masson *et al.*, soumis). Il semblerait en effet que lors de forts débits, le piège à particules récolte significativement plus de particules grossières (en relatif, **Figure 2**).

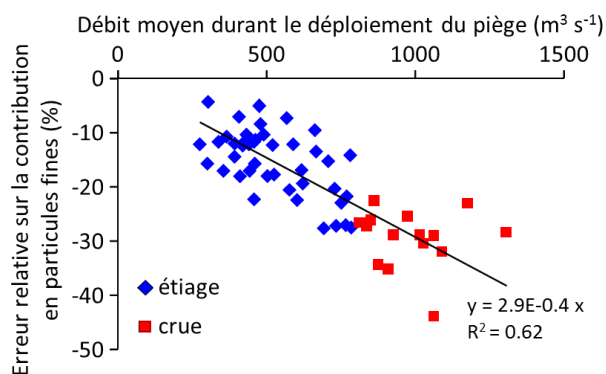


Figure 2 Différences de contributions en particule fines (proportions des particules <20 µm) entre des échantillons de MES prélevées par PàP et par centrifugation (exprimée sous forme d'erreur relative) à Jons entre 2012 et 2016 en fonction du débit de la rivière durant le déploiement des PàP.

Nous souhaitons donc à travers cette action, étudier le fonctionnement des pièges à particules (PAP) en milieu contrôlé dans le canal hydraulique pour comprendre les conditions de dépôt et le tri granulométrique des particules dans les pièges et en particulier les biais granulométriques selon leurs conditions d'exposition. Nous pourrions explorer plus facilement plusieurs conditions : débits, ouverture des PAP.

Nous souhaitons quantifier l'importance relative de deux processus que nous imaginons être à l'origine de ces différences : perte de particules très fines et échantillonnage de sables non représentatifs de la suspension fine homogène.

Nous présentons dans ce rapport le bilan des expériences menées dans le canal du hall hydraulique d'Irstea Lyon.

2- Objectifs

Les objectifs finaux pour cette action sont d'établir des recommandations pour optimiser le déploiement in situ des PAP, corriger des résultats d'analyse physico-chimique, voire améliorer le design des PAP.

3- Premières expériences (2015)

Protocole

Ces expériences ont été réalisées en Juillet 2015, dans le canal inclinable du laboratoire d'hydraulique et d'hydromorphologie d'Irstea Lyon-Villeurbanne. Le tableau ci-dessous récapitule les différentes personnes impliquées dans ces expériences.

Date	Opérateurs	Action
15/07/2015	AB-FT-BCa	Expérience 1
16/07/2015	AB-EP	Expérience 2
17/07/2015	AB-FT	Expérience 3
18/07/2015	AB-EP	Expérience 4
19/07/2015	AB-EP-FT	Expérience 5
24/07/2015	AB-FT	Analyses MES / granulo – Pré-traitement données
01/12/2015	CB	Traitement des données – Bilan
02/12/2015	CB-FT-AB-MM-AD-EP	Réunion d'avancement / perspectives 2016
03/12/2015	MiL	Réalisation d'un modèle réduit de PAP (plans et sous-traitance)

Durant ces tests, deux pièges à particules de taille réelle (40x30x25cm) ont été installés dans le canal, le premier à 7 m de l'amont du canal (piège amont), le deuxième à 12 m (piège aval). Ces pièges ont été arrimés au canal pour les maintenir en position (voir **Figure 3**).

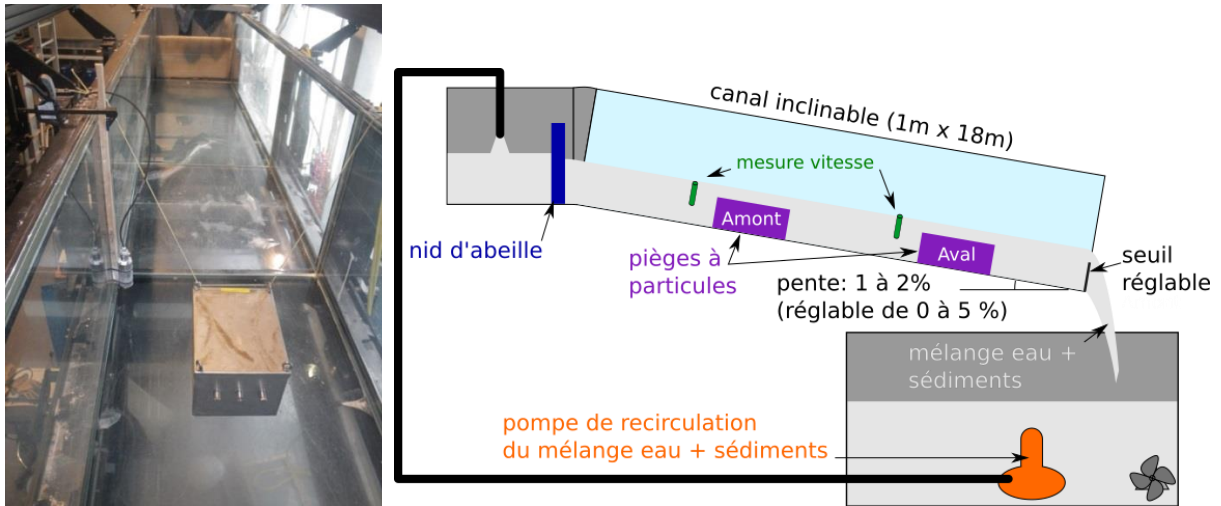


Figure 3 Installation des pièges à particules dans le canal, à gauche : photo du piège amont, à droite, schéma des expériences.

Un réservoir en sous-sol est équipé d'un agitateur et d'une pompe capable de faire recirculer dans le canal une eau chargée en sédiments avec un débit pouvant atteindre 100 L/s. Des billes de verre avec un diamètre médian de l'ordre de 60 μm ont été utilisées pour ces expériences afin de simuler des matières en suspension. Elles ont été introduites initialement dans le réservoir.

De l'eau chargée a ensuite recirculé pendant 4h30 environ dans le canal. Les pièges étaient immergés. Durant ces cinq expériences, trois conditions de débits ont été étudiées (43, 70 et 95 m^3/s). Pour le plus grand débit (95 m^3/s), trois configurations d'ouverture différentes des trous en entrée et en sortie du piège ont également été étudiées. Pour chaque expérience, la vitesse à l'amont de chaque piège, le débit dans le canal, la concentration en matières en suspensions (MES) ainsi que la masse et la distribution granulométrique des particules récoltées dans les deux bacs amovibles du piège à particules ont été mesurés (Figure 4 Erreur ! Source du renvoi introuvable.).

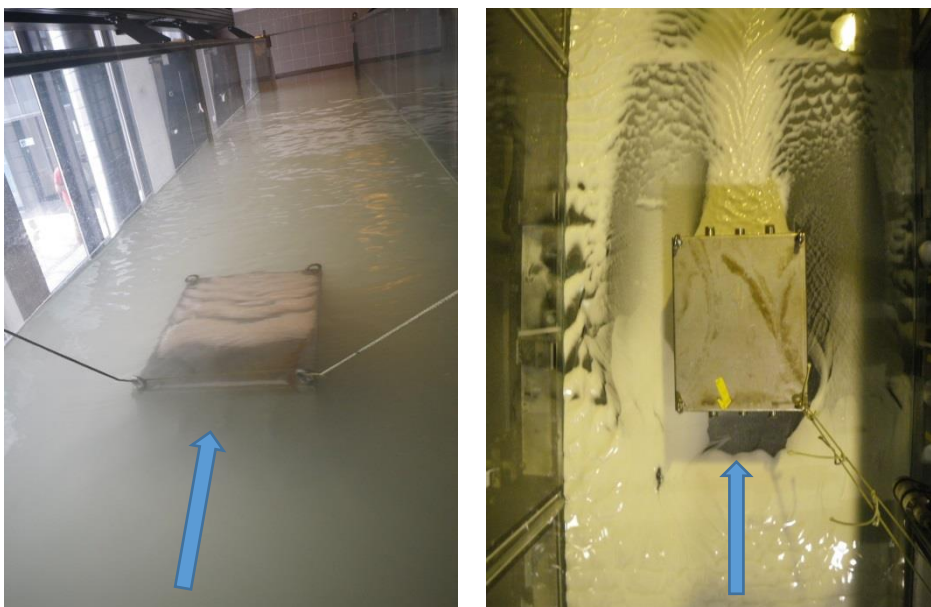


Figure 4 Pièges à particules dans l'écoulement pendant l'expérience (à gauche) et après l'expérience (à droite). La flèche indique le sens de l'écoulement durant l'expérience.

Les données pour les différentes expériences sont récapitulées dans le **tableau 1** ci-après.

Table 1 Récapitulatif des conditions d'expérimentation et des résultats obtenus pour les pièges déployés en amont et en aval du canal hydraulique lors des 5 expériences.

		Expérience 1		Expérience 2		Expérience 3		Expérience 4		Expérience 5	
		15/07/2015		16/07/2015		17/07/2015		20/07/2015		21/07/2015	
Piège		Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval
Débit (L/s)		43		70		95		95		95	
Concentrations moyennes en MES (g/L)		0.16	0.22	0.35	0.35	1.03	2.07	1.04	0.81	1.11	1.11
Masses (g)	Petit bac	102	66	246	181	669	605	779	734	1992	1906
	Grand bac	49	32	150	114	510	342	673	564	2181	1870
	Totale	151	98	396	295	1179	947	1452	1298	4173	3776
Nombre de trous ouverts	Entrée	1		1		1		1		3	
	Sortie	1		1		1		3		3	
Vitesses (m/s)	Amont x=5.8m	0.17	0.14	0.28	0.21	0.44	0.30	0.44	0.30	0.40	0.30
	Aval x=11m										
Durée d'exposition des pièges (h)		4.37	4.37	4.17	4.17	4.32	4.32	4.12	4.12	4.36	4.36
Pente (%)		1.05	1.05	1.21	1.21	1.51	1.51	1.55	1.55	1.56	1.56
Hauteur d'eau (mm)		185	185	117	117	207	207	200	200	202	202

Les vitesses à l'amont du PàP varient de 15 à 45 cm/s. Compte tenu du fait que les PàP sont installées sur le terrain en bord de cours d'eau, ces valeurs semblent pertinentes à étudier. Les concentrations varient de 0.1 à 2 g/L en moyenne. Ces concentrations peuvent sembler supérieures à celles habituellement mesurées sur le terrain hors période de crue, mais la durée de l'expérience a été réduite en conséquence. Elle est de l'ordre de 4h – 4h30. En période de crue, on observe sur certaines rivières comme l'Isère, la Durance ou l'Arve, des concentrations nettement supérieures. La pente varie de 1 à 1,5 %.

Résultats

Granulométrie

Les distributions granulométriques des particules récoltées dans les deux pièges sont présentées pour deux expériences, une avec un débit de 95 L/s et l'autre avec un débit de 43 L/s (**Figure 5** et **Figure 6**). Les distributions granulométriques des particules récoltées dans le petit bac et le grand bac des pièges amont et aval sont comparées. Le matériau utilisé pour simuler les MES lors des expériences (billes de verre) a également été analysé et est présenté pour référence. Pour le débit le plus faible, les granulométries des particules du petit bac, du grand bac et de référence sont sensiblement différentes. Les sédiments récoltés par le piège à particules sont globalement plus fins que ceux injectés dans le réservoir. On retrouve dans les PAP des sédiments fins (de diamètre de l'ordre de 20 microns) qui ne semblent pas avoir été injectés et certains sédiments grossiers disparaissent. Comme sur le terrain, les petits bacs des deux PAP amont et aval récoltent des sédiments plus grossiers que les grands bacs en relatif. Cette différence est moins marquée pour le débit le plus fort.

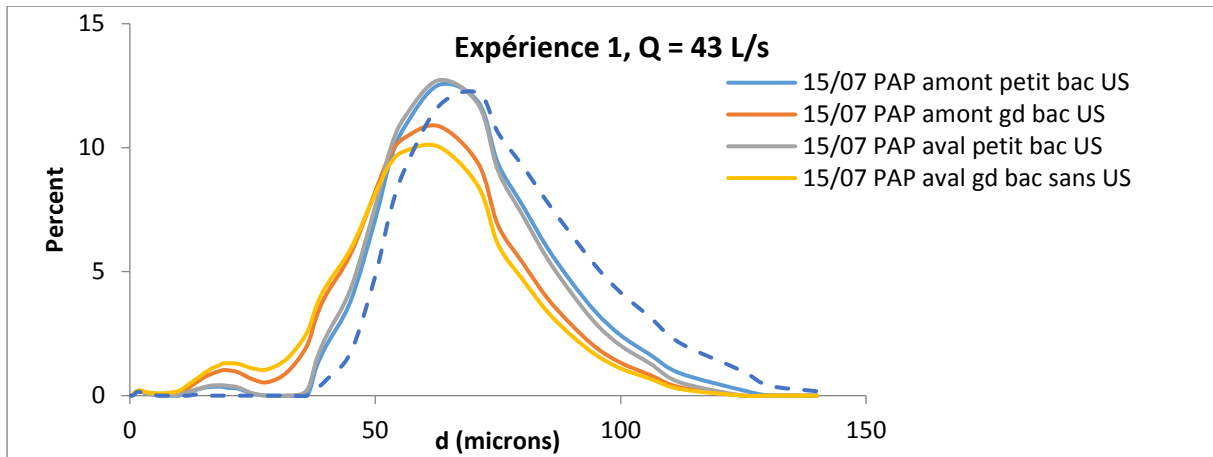


Figure 5 Distribution granulométrique des échantillons récoltés par les PAP amont et aval lors de l'expérience 1.

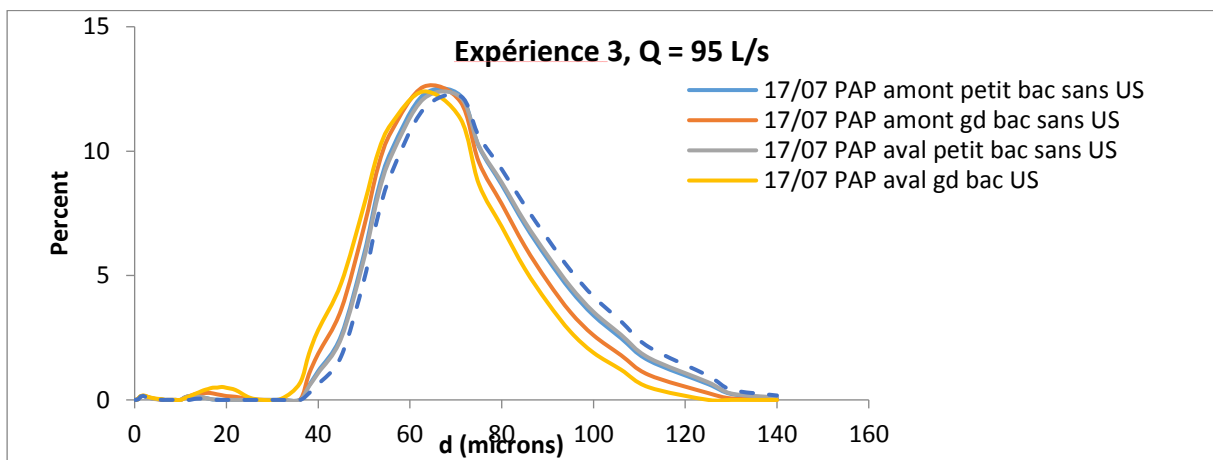


Figure 6 Distribution granulométrique des échantillons récoltés par les PAP amont et aval lors de l'expérience 3.

Le fait que les particules grossières soient plus présentes, de façon relative, dans le premier bac pour le plus faible débit semble indiquer que pour ce débit, la plupart des particules grossières se déposent dès le premier bac et ne peuvent atteindre le deuxième. Pour mieux comprendre les différences avec la granulométrie de référence, il faut pouvoir distinguer ce qui est relatif à la mise en suspension des sédiments dans le système et ce qui est relatif au fonctionnement du piège. En effet, l'absence de particules grossières peut être due à la sédimentation de celles-ci dans le réservoir en sous-sol, la présence de particules fines à d'éventuels résidus d'expériences précédentes. Conclure nécessite l'analyse de la granulométrie de prélèvements dans l'écoulement, ce qui n'a pas été fait durant cette expérience. De plus, l'étendue granulométrique du matériau utilisé pour simuler les MES est faible et ne permet pas d'obtenir des biais granulométriques très significatifs, au-delà des incertitudes de mesure.

La légère différence entre les granulométries des particules piégées dans les deux grands bacs (amont et aval) pour les deux expériences est peut-être due à l'absence ou la présence des ultrasons (sans US ou US) lors de l'analyse granulométrique. Cependant, ces différences sont faibles et le sédiment utilisé très peu cohésif. Nous n'analyserons donc pas plus en détail cet effet.

Nous cherchons ensuite à comparer les granulométries des différentes expériences entre elles. Les granulométries des deux bacs des deux pièges à particules sont moyennées pour chaque expérience (Figure 7).

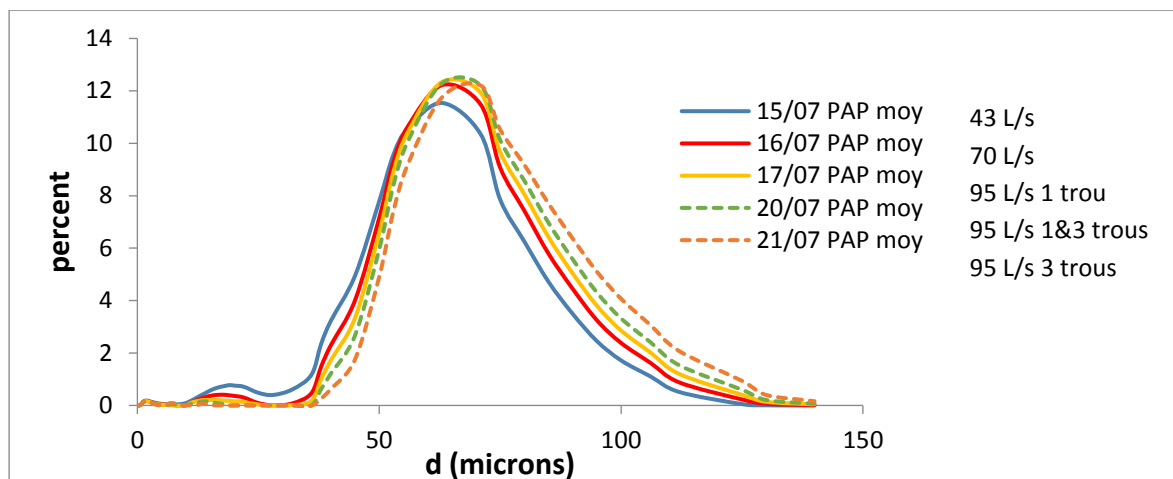


Figure 7 Comparaison des distributions des sédiments (moyennées sur les deux bacs et les deux PAP amont et aval) pour les 5 expériences différentes.

Comme sur le terrain, le mode fin semble disparaître au profit du grossier à forts débits. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour l'expliquer :

- Les fines ne peuvent pas déposer.
- Il y a plus de grossiers qui entrent dans le PAP.

Pour conclure, il est nécessaire de quantifier l'efficacité des pièges.

Flux

Pour quantifier l'efficacité des pièges, nous avons besoin de connaître le flux de sédiment qui passe à travers le piège. Compte tenu des données acquises, nous pouvons le calculer soit à partir du débit liquide (Q) qui entre dans le canal, soit à partir des mesures de vitesse (U) en amont des pièges. La méthode qui se base sur la mesure de vitesse devrait être en soit plus précise mais elle est plus sujette aux incertitudes, les deux seront donc comparées. Nous calculons par ailleurs la masse de sédiments collectée dans les pièges par unité de temps. Le rapport entre le flux à travers le piège et la masse collectée par unité de temps permet d'obtenir l'efficacité du piège.

Le **tableau 2** ci-dessous présente les résultats des deux méthodes. Ces données sont également présentées sous forme de graphiques (**Figure 8** et **Figure 9**).

Table 2 Efficacités des pièges à particules estimées via le débit liquide ou la vitesse de l'écoulement. Uamont est la vitesse à l'amont du piège, S, la section du ou des trous ouverts, Scanal la section mouillée du canal, Q, le débit qui s'écoule.

		Expérience 1		Expérience 2		Expérience 3		Expérience 4		Expérience 5	
		Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval
Flux mesuré (kg/s) = masse piégée/tps		0.010	0.006	0.026	0.020	0.076	0.061	0.098	0.088	0.266	0.241
Flux estimé à travers le piège (kg/s)	Méthode 1 : Uamont * S * C	0.009	0.010	0.031	0.023	0.142	0.195	0.144	0.076	0.418	0.314
	Méthode 2 : Q * S / Scanal * C	0.012	0.016	0.066	0.067	0.149	0.299	0.156	0.121	0.492	0.493
Efficacité	Méthode 1 (vitesse U)	1.09	0.65	0.86	0.84	0.53	0.31	0.68	1.15	0.64	0.77
	Méthode 2 (débit Q)	0.80	0.39	0.40	0.29	0.51	0.20	0.63	0.73	0.54	0.49

En premier lieu, on observe que les efficacités évaluées par l'une ou l'autre méthode sont différentes, les tendances sont cependant similaires (**Figure 8**). Le flux mesuré augmente globalement avec le débit ou avec le nombre de trous ouverts à l'entrée. Le flux estimé à l'aval pour l'expérience 3, que ce soit via le débit ou via la vitesse est nettement plus important que celui piégé. Durant cette expérience, la concentration en MES à l'aval a chuté, de 4.6 g/L, 10 minutes après le début de l'expérience à 0.8 g/L en fin d'expérience. La moyenne de ces valeurs donne certainement trop d'importance au pic de concentration du début de l'expérience. Les variations sont plus faibles à l'amont, de 1.4 g/L à 0.6 g/L. On peut s'interroger sur l'impact du piège amont sur le piège aval.

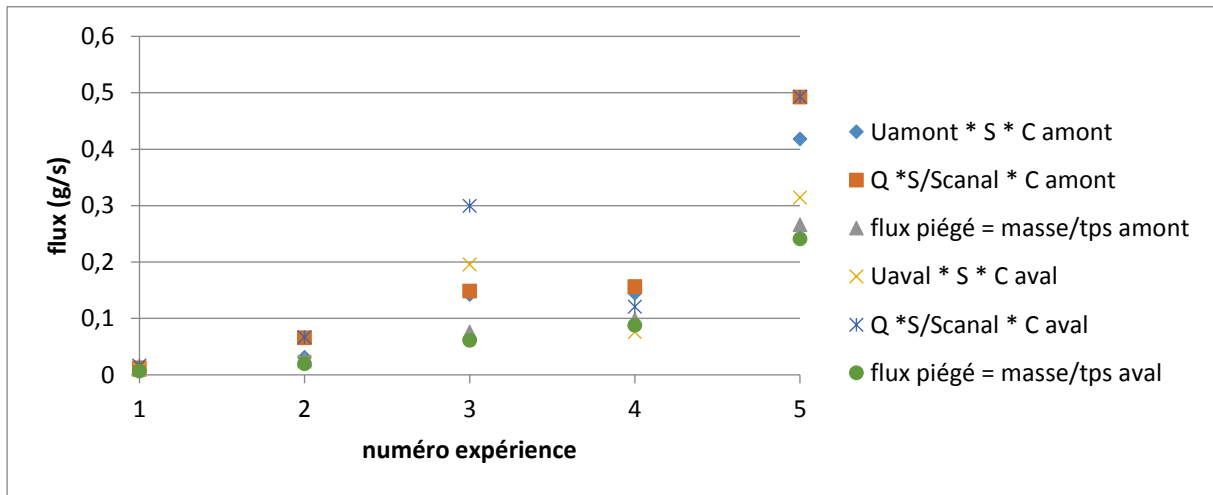


Figure 8 Flux de sédiments passant à travers les pièges amont et aval calculés avec deux méthodes et flux de sédiments piégés dans les pièges amont et aval pour les 5 expériences différentes.

Pour ce qui est de l'efficacité, celle-ci diminue globalement avec le débit (**Figure 9**). Elle semble augmenter lorsque trois trous sont ouverts plutôt qu'un en entrée comme en sortie. Si on ouvre plus en sortie qu'en entrée (1 trou en entrée, 3 trous en sortie, expérience 4 ; Table 1), elle est maximale. Il faut cependant noter que dans ce cas, nous avons considéré la section d'entrée comme section de référence. La vitesse étant mesurée environ 1m en amont du piège, on peut imaginer que la vitesse d'entrée effective de l'eau dans le piège soit différente lorsque l'on change le nombre de trou ouverts en sortie. Peut-être serait-il judicieux de considérer une section moyenne dans ce cas.

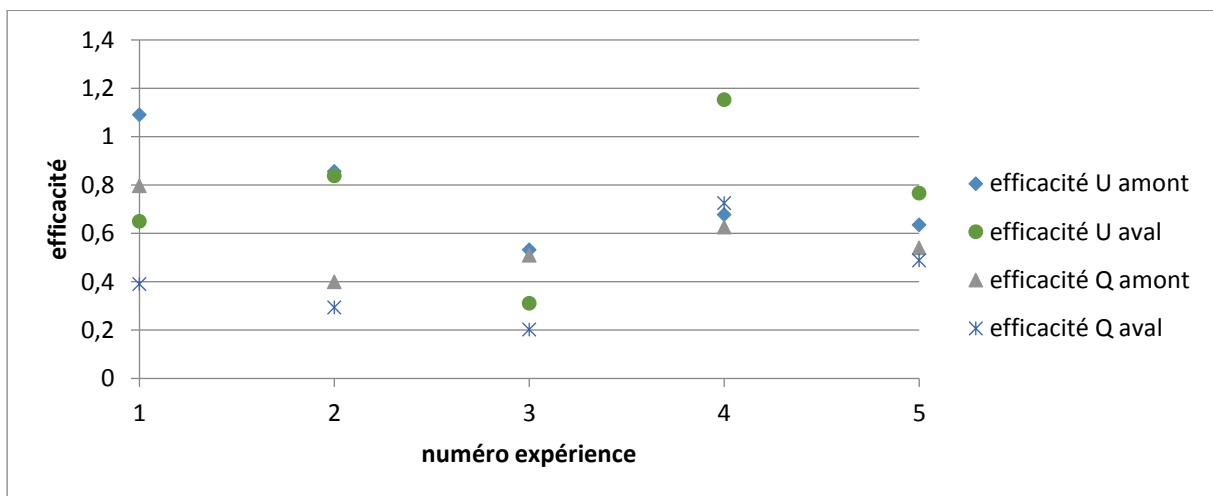


Figure 9 Efficacités des pièges amont et aval estimées via le débit (Q) ou la vitesse (U) en amont du piège.

Lacunes des premières expériences

Pour pouvoir conclure quant à la cause des différences de granulométrie des particules prélevées sur le terrain par piège à particules et par centrifugation, nous aurions besoin de calculer une efficacité par classe granulométrique. Il est nécessaire pour cela de faire des prélèvements dans l'écoulement, à la même altitude que l'entrée du piège, et d'en faire l'analyse granulométrique. Cette analyse granulométrique n'a pas été faite pour ces premières expériences.

Les efficacités et les granulométries semblent différentes pour les pièges amont et aval. Nous observons d'autre part un sillage sur les dépôts autour du piège à la fin de l'expérience (**Figure 4**). Ces éléments suggèrent que dans le canal de 1 m de large, un piège grandeur réelle perturbe significativement les conditions d'écoulement, ce qui ne permet pas de reproduire un écoulement similaire aux écoulements sur le terrain. Un modèle réduit de PAP à l'échelle 1/3 sera donc utilisé lors des prochaines expériences.

Les différences de flux et d'efficacité entre les deux méthodes, basées sur la vitesse ou sur le débit, suggèrent que la mesure de flux doit être affinée avec plus de prélèvements d'eau pour une meilleure intégration temporelle ou des mesures de vitesse plus précises.

Enfin, le matériau utilisé (billes de verre) pour simuler les MES dans ces premières expériences était centré sur un diamètre médian (60 μm) trop élevé par rapport aux cours d'eau étudiés (pour référence, le diamètre médian des sédiments dans le Rhône à Jons est plus de l'ordre de 20 μm). La distribution granulométrique du matériau utilisé est trop éloignée de la distribution multimodale des MES généralement observées dans les rivières du bassin du Rhône : l'utilisation d'un sédiment naturel sera privilégiée lors des prochaines expériences. Elle permettra de mieux suivre la variabilité des concentrations en MES via les turbidimètres déployés dans le canal, qui sont peu sensibles à un matériau comme les billes de verre. Un sédiment de distribution granulométrique plus dispersée permettra également de mieux visualiser les différences d'efficacité du piège pour les particules grossières et fines.

4- Deuxième jeu d'expériences (2016)

Protocole 2016

Ce deuxième jeu d'expériences a été réalisé en mars-avril 2016, toujours dans le canal inclinable du laboratoire d'hydraulique et d'hydromorphologie d'Irstea Lyon-Villeurbanne. Le tableau ci-dessous récapitule les différentes personnes impliquées dans ces expériences.

Date	Opérateurs	Action
30/03/2016	FT - MM	Expérience 1
31/03/2016	FT - MM - AB	Expérience 2
31/03/2016	EP - MM	Expérience 3
01/04/2016	FT - AB	Expérience 4
04/04/2016	FT - AB	Expérience 5
04/2016	CLB - MM	Analyses MES / granulo – Pré-traitement données
04-05/2016	CB - MM	Traitement des données – Bilan
15/12/2016	CB, CIB, JLC, MM, FT, ML, AB	Réunion d'avancement / perspectives 2017

Durant ces tests, un piège à particules de taille réduite (échelle 1/3) a été installé dans le canal, arrimé au canal pour le maintenir en position (voir **Figure 10**). Nous avons choisi pour ce modèle réduit de ne conserver qu'une entrée et qu'une sortie, contrairement au modèle de terrain. Le diamètre est le même que sur le terrain, ce qui implique des vitesses d'écoulement plus importantes dans le piège et peuvent réduire son efficacité, comme nous le verrons par la suite.



Figure 10 Installation de piège réduit dans le canal, à gauche : photo du piège vue de dessus, à droite, vue de dessous à travers le fond du canal.

Nous avons, pour ces expériences, utilisé du sédiment naturel de l'Arc en Maurienne afin d'avoir une granulométrie plus étendue et représentative de celle qui circule dans le Rhône. Ces sédiments ont été introduits initialement dans le réservoir.

De l'eau chargée a ensuite recirculé pendant 2h environ dans le canal. Le piège était immergé. La **Figure 11** présente de protocole suivi pour ces expériences.

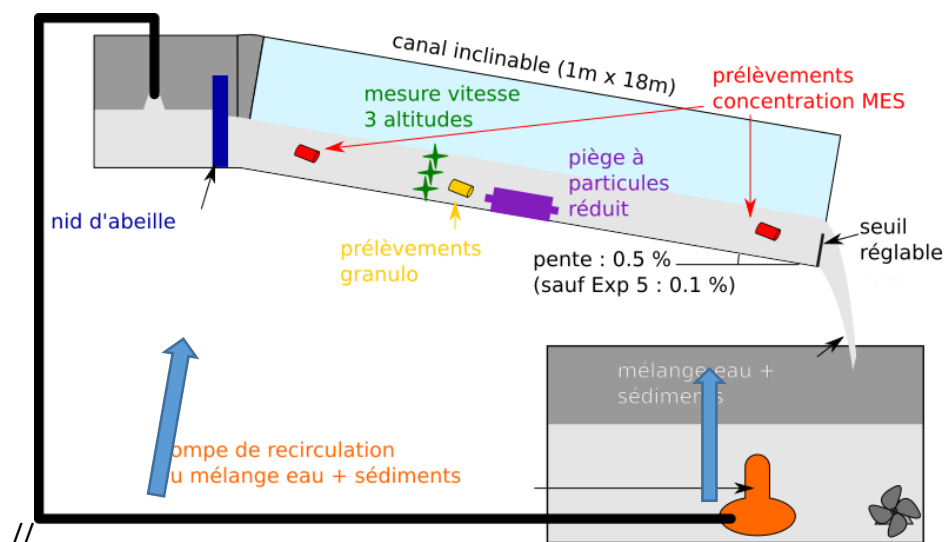


Figure 11 Schéma des expériences en canal hydraulique menées en 2016 sur le piège à particules miniature.

Durant ces cinq expériences, plusieurs conditions de débit ont été testées entre 25 et 70 L/s, soit des vitesses de 15 à 90 cm/s.

Pour chaque expérience, la vitesse à l'amont du piège miniature en trois altitudes, le débit dans le canal, la concentration en MES en amont et en aval du canal, la granulométrie des sédiments à l'entrée du piège ainsi que la masse et la distribution granulométrique des sédiments récoltés dans les deux bacs amovibles du piège à particules ont été mesurés.

Les données pour les différentes expériences sont récapitulées dans le **tableau 3** ci-dessous.

Table 3 Récapitulatif des conditions d'expérimentation et des résultats obtenus pour le piège modèle réduit lors des 5 expériences menées en 2016.

	Expérience 1 (30/03/2016)	Expérience 2 (31/03/2016)	Expérience 3 (31/03/2016)	Expérience 4 (01/04/2016)	Expérience 5 (04/05/2016)
Pente du canal (%)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.1
Débit ciblé (L/s)	40	50	60	70	25
Concentration moyenne en MES (mg/L)	283	223	209	189	105
Durée d'exposition du piège	2h10	2h03	2h05	2h00	3h05
Vitesse de courant mesurée (m/s) :					
en surface	0.50	0.63	0.64	0.94	0.19
Au milieu	0.47	0.49	0.60	0.74	0.16
Au fond	0.41	0.43	0.54	0.62	0.12
Masse de sédiment récoltée (g) :					
–Dans le petit bac	13.04	9.55	7.12	6.77	0.27
–Dans le grand bac	22.29	12.4	13.63	13.74	0.64

La concentration de matières en suspensions dans l'écoulement était de l'ordre de 200 mg/L. L'inclinaison du canal était de 0.5% sauf pour l'expérience à plus faible débit (expérience 5) pour laquelle la pente a été diminuée à 0.1% afin d'avoir une hauteur d'eau suffisante pour immerger le piège.

Résultats

Flux

De la même manière que pour les expériences menées en 2015, il est possible de calculer une efficacité globale du piège. Plusieurs méthodes ont été utilisées afin d'estimer la sensibilité des résultats au choix de la méthode.

Les vitesses ayant été mesurées à trois altitudes, nous avons fait le choix de regarder soit les vitesses à mi-hauteur d'eau (c'est-à-dire environ l'altitude du piège), soit les vitesses moyennées sur la verticale.

Les concentrations en MES ont été mesurées tout au long de l'expérience (5 échantillons par expérience, voir **Figure 12**). Nous avons soit fait une moyenne de ces mesures, soit intégré ces mesures dans le temps (méthode des trapèzes).

A partir de ces mesures et de la méthode 1 exposée p.9, l'efficacité globale du piège a été estimée pour les 5 expériences. Elle est présentée **Figure 13**. Les résultats ne dépendent que très peu de la

méthode choisie pour estimer la vitesse ou la concentration. Les efficacités obtenues sont globalement beaucoup plus faibles que celles obtenus pour les expériences de 2015 avec un piège grandeur réelle. Ceci est dû au fait que la section d'entrée est la même pour le piège miniature et pour le piège de taille réelle. Ainsi le rapport des aires entre section d'entrée et section du corps est beaucoup plus grand pour le piège miniature, engendrant de plus grandes vitesses dans le piège et donc un piégeage moindre des sédiments.

On retrouve d'autre part le fait que l'efficacité diminue avec le débit, sauf pour le débit le plus faible pour lequel l'efficacité chute drastiquement (**Figure 13**).

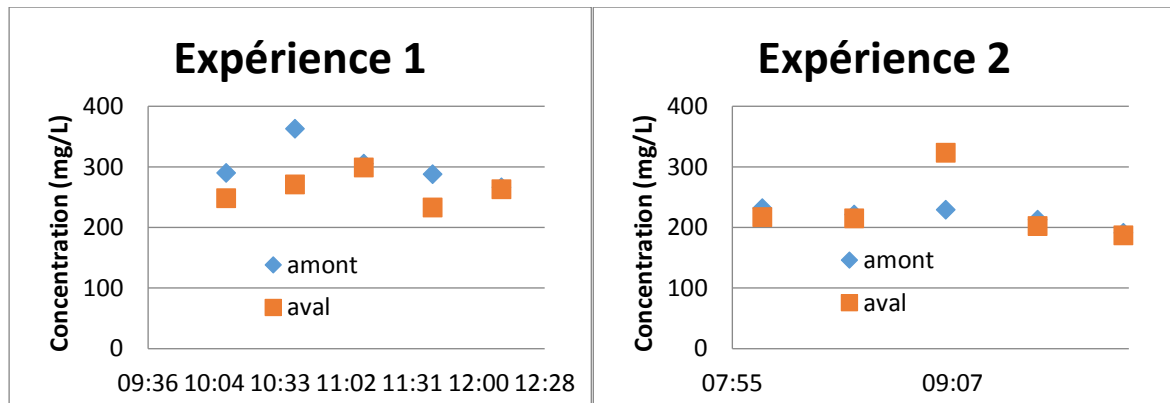


Figure 12 Série temporelle de concentration en MES pendant les expériences 1 et 2.

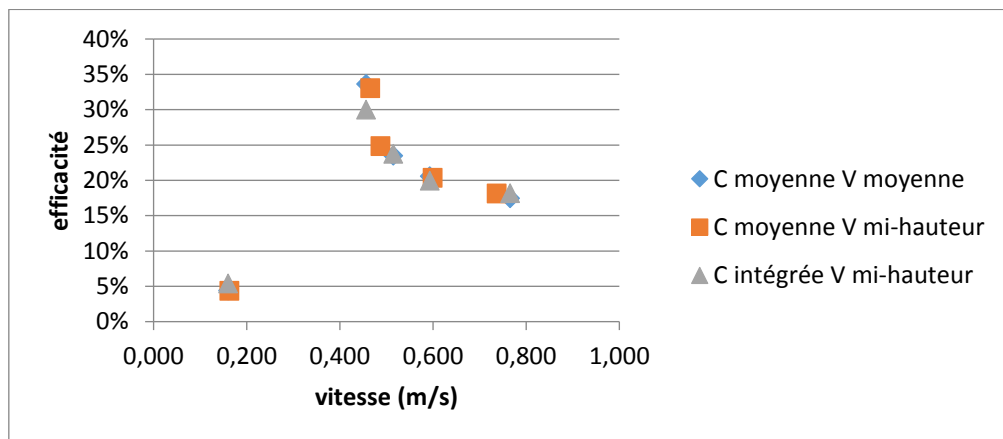


Figure 13 Efficacité globale du piège à particules miniature pour les 5 expériences menées en 2016 en fonction de la vitesse d'écoulement.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées. Tout d'abord, à plus faible débit, la turbulence dans l'écoulement est moindre et on peut imaginer le gradient de concentration sur la verticale beaucoup plus fort. Cette hypothèse semble confortée par une estimation grossière du nombre de Rouse (nombre adimensionnel qui qualifie la faculté de mise en suspension d'une particule dans un écoulement) :

$$Ro = \frac{w_s}{\kappa u^*}$$

Où $\kappa = 0.41$ est la constante de Von Karman, $w_s = 2.5$ mm/s est la vitesse de chute du sédiment estimée à partir du diamètre médian et u^* la vitesse de frottement estimée à partir de la vitesse de l'écoulement.

A l'équilibre, il est en effet possible d'estimer un profil de concentration à partir de ce nombre adimensionnel et la concentration C_0 à une altitude donnée z_0 comme :

$$C(z) = C_0 \left(\frac{z_0}{z} \right)^{R_0}$$

Les profils de concentration obtenus sont présentés **Figure 14**. La concentration est effectivement bien plus variée sur la verticale pour l'expérience 5 que pour les autres. On peut imaginer que si le prélèvement est effectué légèrement plus bas que l'entrée du piège (prélèvement à 4cm du fond par exemple pour une entrée à 5cm du fond), le flux entrant dans le piège est surestimé et l'efficacité sous-estimée. Cependant, la variabilité d'un échantillon sur l'autre est faible (voir **Figure 15**) ce qui semble aller à l'encontre de cette hypothèse, compte tenu du fait que ceux-ci ont été fait manuellement sans contrôle précis de la hauteur de prélèvement.

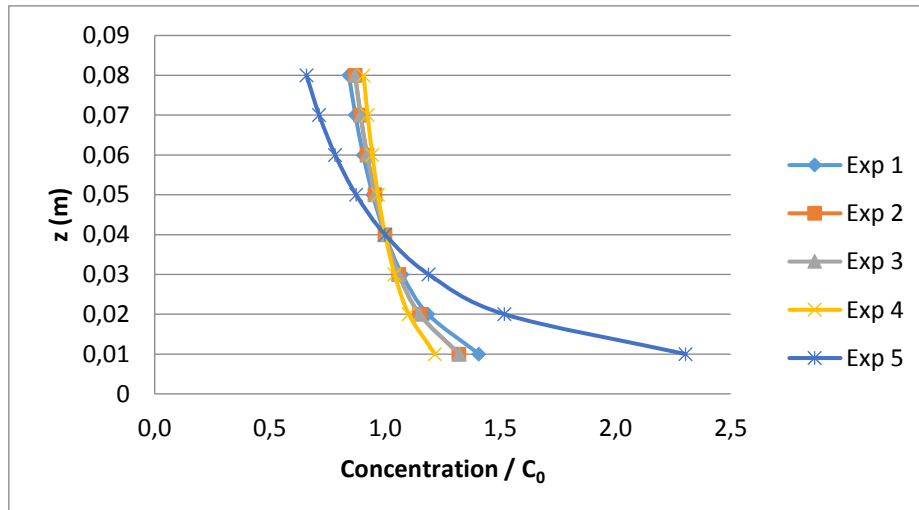


Figure 14 Profils de concentration estimés à partir du nombre de Rouse pour les 5 expériences menées en 2016.

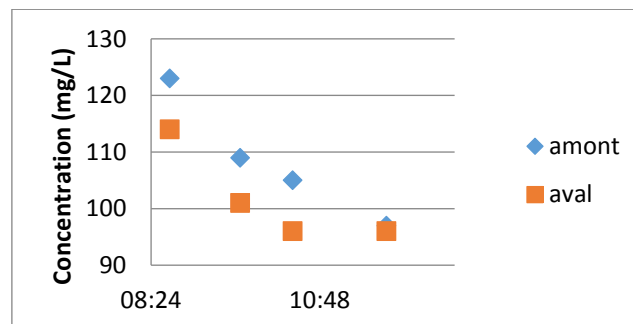


Figure 15 Série temporelle des concentrations en MES pour l'expérience 5.

Une seconde hypothèse serait que la suspension a évolué au cours des expériences. L'analyse de la distribution granulométrique des sédiments pourra permettre d'infirmier ou de conforter ce point.

Granulométrie

Lors de ces expériences, la distribution granulométrique des sédiments à l'entrée du piège (dans l'écoulement) et récoltés par le piège a été mesurée à l'aide du granulomètre laser d'Irstea. Toutes les granulométries présentées ont été faites après un passage aux ultrasons des échantillons. L'ensemble de ces distributions pour les 5 expériences est présenté **Figure 16**. Plusieurs points peuvent être soulignés.

Petit bac et grand bac récoltent des sédiments d'une granulométrie sensiblement identique. La granulométrie de ces sédiments est par contre significativement distincte de celle des sédiments en suspension à l'amont du piège. Les sédiments en suspension sont nettement plus fins que ceux récoltés dans le piège. Le mode grossier dominant dans les pièges est à peine visible dans les échantillons en suspension.

La granulométrie évolue également au fil des expériences. Les sédiments grossiers se déposent dans la bêche au sous-sol et ne sont plus remis en suspension. Les sédiments en suspension comme les sédiments récoltés par le piège sont de plus en plus fins. Cette différence de granulométrie peut expliquer en particulier le fait que l'efficacité ait diminué au fil des expériences. L'absence de sédiments grossiers plus faciles à piéger conduit à une diminution de l'efficacité.

Pour conclure, nous aurions besoin de mieux connaître la granulométrie des sédiments injectés et la nature de l'écoulement, ce que nous allons voir par la suite.

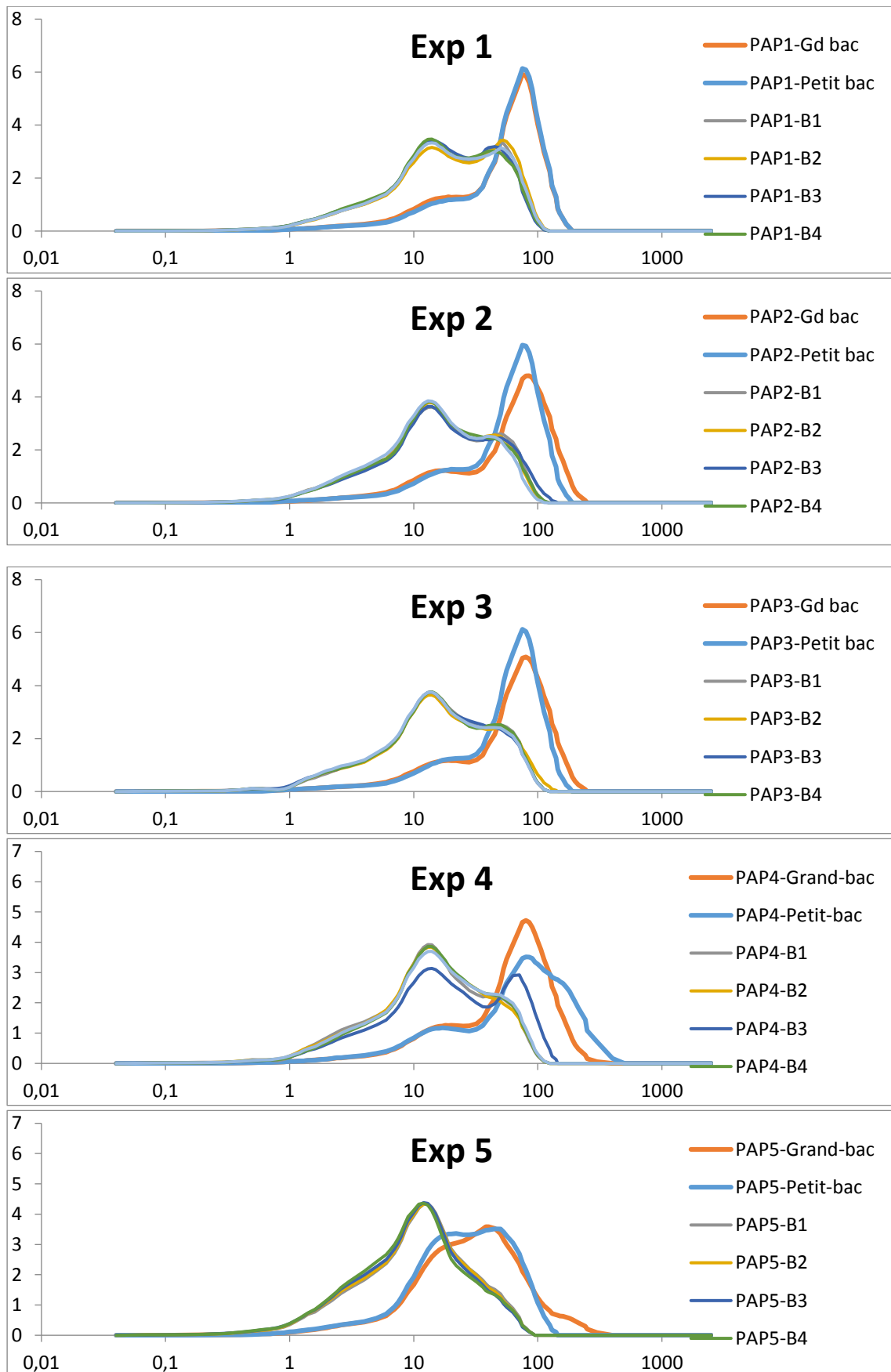


Figure 16 Distribution granulométrique des sédiments en suspension (B1 à B4) et des sédiments récoltés dans le piège pour les expériences 1 à 5 menées en 2016.

5- Troisième jeu d'expériences (2017)

Protocole

Les expériences du troisième jeu se sont déroulées entre le 10 et le 28 mars 2017. Le tableau ci-dessous récapitule les différentes personnes impliquées dans ces expériences.

Date	Opérateurs	Action
10/03/2017	FT, CB, AB	Expériences 1 et 2
16/03/2017	CB, CIB, AB	Expérience 3
17/03/2017	AB, FT, CB	Expérience 4
20/03/2017	CB, AB, FT	Expérience 5
21/07/2017	AB, FT	Expérience 6
22/03/2017	FT	Expérience 7
28/03/2017	AB	Expérience 8
03-04/2017	CIB, CB, FT, AB	Analyses MES / granulo – Pré-traitement données
04-06/2017	CB, CIB, MM	Traitement des données – Bilan
13/06/2017	CB, CIB, MM, FT, AB, JLC, ML	Réunion d'avancement / perspectives OSR 5

Nous avons cherché avec de nouveau jeu d'expériences à répondre à plusieurs questions soulevées par les jeux d'expériences précédents. Quelle est la variabilité de la concentration sur la verticale ? Quel est l'impact du fond ? Sur le terrain les pièges sont plutôt perchés sur une berge, en quoi cette position impacte-t-elle la collecte des sédiments les plus grossiers dont on imagine la concentration plus forte proche du fond ? Et enfin, quel peut être l'effet d'un profilé sur le piège ? Nous avons également cherché à affiner la mesure de vitesse en amont du piège.

Le protocole que nous avons retenu est présenté **Figure 17** et se décline comme suit :

- Une berge constituée de briques et de galets a été installée en rive droite du canal (voir **Figure 18**).
- Les vannes sont ouvertes et la pompe allumée de sorte à atteindre le débit souhaité au moins une heure avant la mise en place du piège afin d'assurer un écoulement plus homogène.
- Après une heure (a minima), deux prélèvements d'eau en amont et en aval du canal sont effectués (deux flacons à chaque fois pour mesurer granulométrie et concentration en MES).
- Le piège est mis en place dans les 5 minutes qui suivent.
- Après 15 minutes et 4 fois en tout pendant les 2 heures qui suivent, deux (x2) prélèvements d'eau sont effectués à deux altitudes différentes, au fond, au contact de la berge et à l'altitude de l'entrée du piège 5cm au-dessus. Analyses MES et granulométrie
- Pendant toute la durée du déploiement du piège, la vitesse est mesurée le long d'un maillage, juste en amont du piège et éventuellement 1 m plus en amont en plusieurs altitudes et distances du bord du canal.
- Juste avant d'étendre les pompes et de vider le canal, deux prélèvements d'eau (x2) en amont et en aval du canal sont effectués. Analyses MES et granulométrie
- Les pompes sont éteintes après environ 2h d'exposition du piège. Le piège est retiré une fois le canal vide.

L'expérience 1 a consisté en un test préalable sans sédiments. Nous avons, pour les expériences 2 à 7, utilisé du sédiment naturel de l'Arc en Maurienne. Pour les expériences 5 à 7, nous avons mis en place un déflecteur afin de mieux profiler l'amont du piège (voir **Figure 19**).

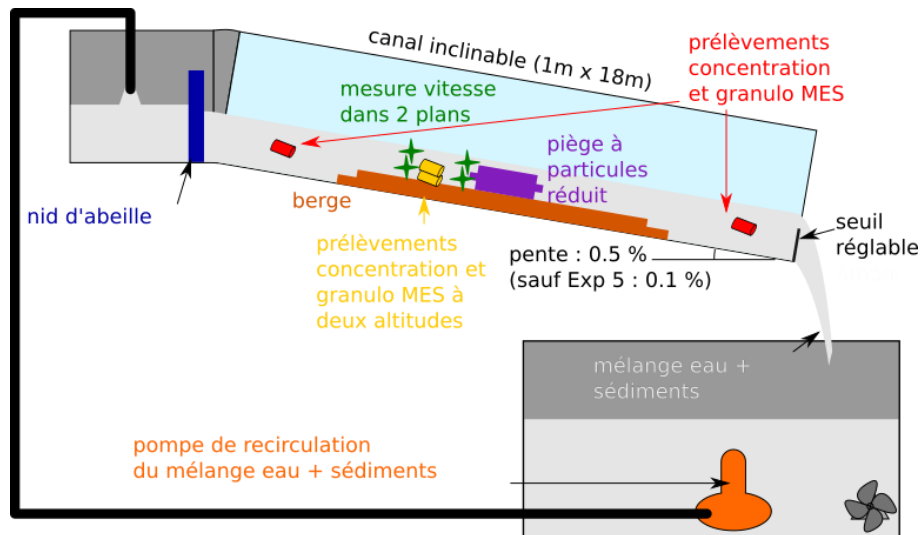


Figure 17 Schéma des expériences en canal hydraulique menées en 2017 sur le piège à particules miniature.

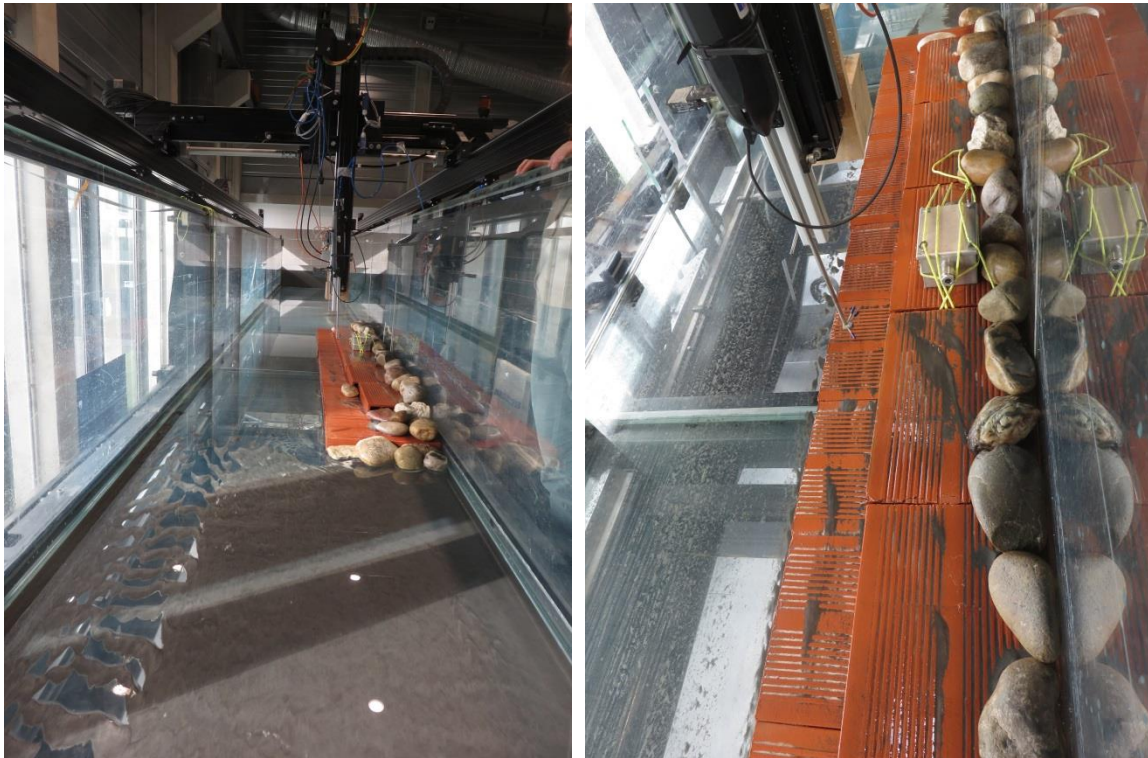


Figure 18 Installation du piège à particules miniature dans le canal hydraulique., à gauche : vue d'ensemble du canal lors des 8 expériences menées en 2017, à droite, la berge de briques et galets avec le piège miniature installé. Le mat vertical au centre permet de prendre la mesure de vitesse à la position voulue dans la longueur, la largeur et la profondeur du canal.



Figure 19 Piège à particules miniature fixé sur une brique constituant la berge, avec un déflecteur installé sur la face orientée vers l'amont du canal.

Résultats

Flux

Le **tableau 4** ci-dessous récapitule les résultats principaux obtenus quant aux flux de sédiments à travers le piège. Nous avons choisi 3 débits pour ces expériences, 25, 50 et 75 L/s. Ces débits sont similaires à ceux des expériences précédentes mais du fait que le piège soit sur une berge, les vitesses au niveau de l'entrée du piège sont bien plus faibles (70% de la vitesse débitante environ et entre 8 et 22 cm/s contre 15 à 40 et 15 à 75 cm/s pour les expériences de 2015 et 2016 respectivement).

Les concentrations dans l'écoulement sont également plus faibles que pour les expériences 2016, de l'ordre de 100 mg/L. Elles sont nettement plus élevées sur le fond sur la berge, pouvant atteindre 1g/L. Cependant, nous avons mesuré 4 fois la concentration au fond et à l'altitude du piège durant chaque expérience et les écarts entre ces 4 mesures sont nettement plus importants pour cette valeur au fond. On peut se demander à quel point nous ne ramassons pas les sédiments déposés sur la berge lors du prélèvement. Ces résultats semblent indiquer qu'il en soit un fort gradient sur la verticale.

Nous avons effectué des mesures dans le chenal principal à plusieurs altitudes pour confirmer la présence d'un gradient. Les concentrations obtenues sont présentées **Figure 20**. La concentration augmente significativement en s'approchant du fond du canal. Notons que de façon plutôt inattendue, la concentration proche du fond dans le canal est plutôt plus faible qu'en berge.

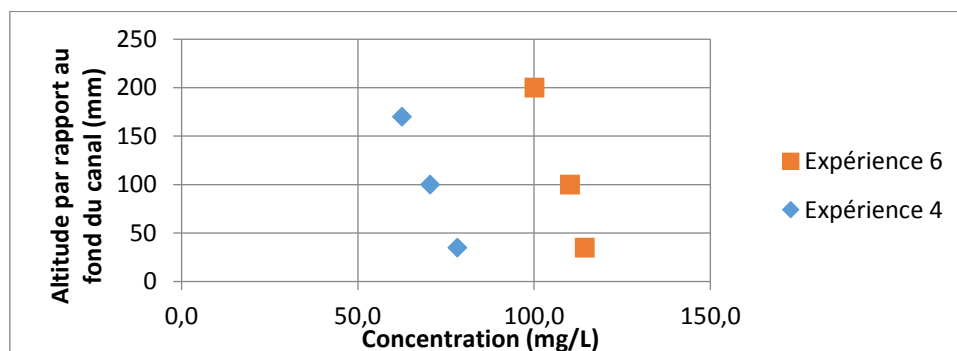


Figure 20 Gradient vertical de concentration en MES dans le chenal principal au centre du canal lors des expériences 4 et 6.

Table 4 Récapitulatif des conditions d'expérimentation et des résultats obtenus pour les 8 expériences menées en 2017 dans le canal hydraulique sur le piège à particules miniature.

		Expérience 1	Expérience 2	Expérience 3	Expérience 4	Expérience 5	Expérience 6	Expérience 7	Expérience 8
Date		10/03/20 17	10/03/20 17	16/03/20 17			21/03/20 17	22/03/20 17	28/03/20 17
Débit (m ³ /s)		50	50	75	25	50	75	25	50
Présence du déflecteur		non	non	non	non	oui	oui	oui	non
Heure de lancement du débit		10h30	11h44	12h05	11h50	12h00	12h03	11h30	12h00
Heure de positionnement du piège			13h15	13h51	13h22	13h34	13h33	13h05	13h38
Heure de fin du débit		11h35	15h25	16h00	15h34	15h44	15h34	16h00	16h10
Durée d'exposition du piège (minutes)			130	129	132	130	121	175	152
Pente du canal (%)		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Hauteur d'eau relevée à la main (cm)		22	22	24	18.5	22	25	19	22
Concentration moyenne en MES (mg/L)	au fond	eau claire	1352	370	504	370	243	88	92
	au niveau du piège	eau claire	85	165	77	97	123	58	62
	dans l'écoulement principal	eau claire	88	156	70	76	124	50	62
Vitesse débitante (m/s)		0.23	0.23	0.31	0.14	0.23	0.30	0.13	0.23
Vitesse locale (m/s)	au niveau du piège		0.17	0.20	0.08	0.13	0.22	0.09	0.19
	au niveau du piège 1m en amont		0.20		0.09	0.15	0.27	0.11	0.22
Masse récoltée dans le piège (g)	dans le petit bac		0.98	2.09	0.16	0.31	1	0.11	0.18
	dans le grand bac		1.47	3.26	0.41	0.51	1.86	0.24	0.34
Efficacité du piège	Vitesse piège / C piège		0.19	0.19	0.10	0.07	0.13	0.06	0.04
	Vitesse débitante / C écoulement		0.14	0.13	0.07	0.05	0.09	0.04	0.04
	Vitesse piège / C piège intégrée		0.19	0.19	0.11	0.08	0.13	0.06	0.04

Les efficacités constatées pour ce jeu d'expériences sont beaucoup plus faibles que précédemment : entre 4 et 20 %. La tendance avec la vitesse (voir **Figure 21**) est moins nette. On peut par contre observer une tendance avec la concentration en MES (voir **Figure 22**). L'efficacité semble augmenter avec la concentration en sédiments de l'écoulement. La présence du déflecteur ne semble pas avoir d'effet.

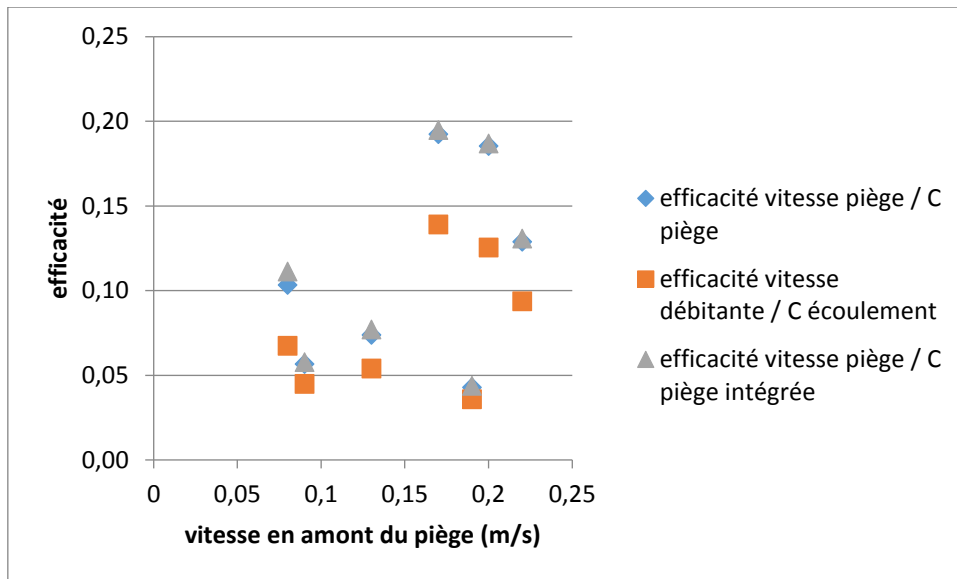


Figure 21 Efficacité du piège en fonction de la vitesse à l'amont.

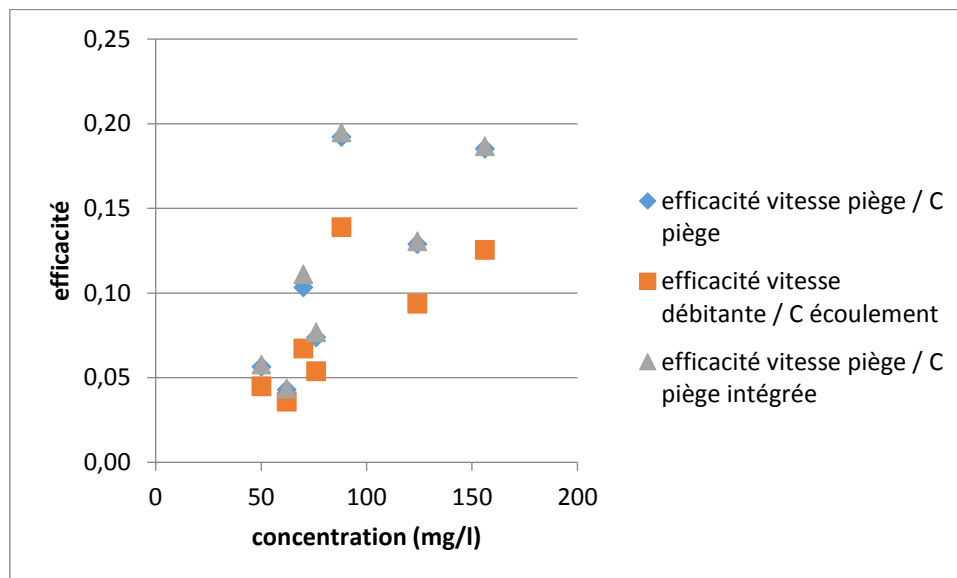


Figure 22 Efficacité du piège en fonction de la concentration à l'amont du piège.

Granulométrie

Nous avons récolté pour ces expériences de 2017 un jeu de données important sur la granulométrie des sédiments que nous avons injecté dans le canal, ceux en suspension, dans la veine et juste en amont du piège, à l'altitude du piège comme au fond contre la berge, et ceux récoltés dans le piège. Les distributions granulométriques moyennes (pour les échantillons en suspension, l'ensemble des distributions granulométriques obtenues, soit 4 en général, ont été moyennées) sont présentées **Figure 23**.

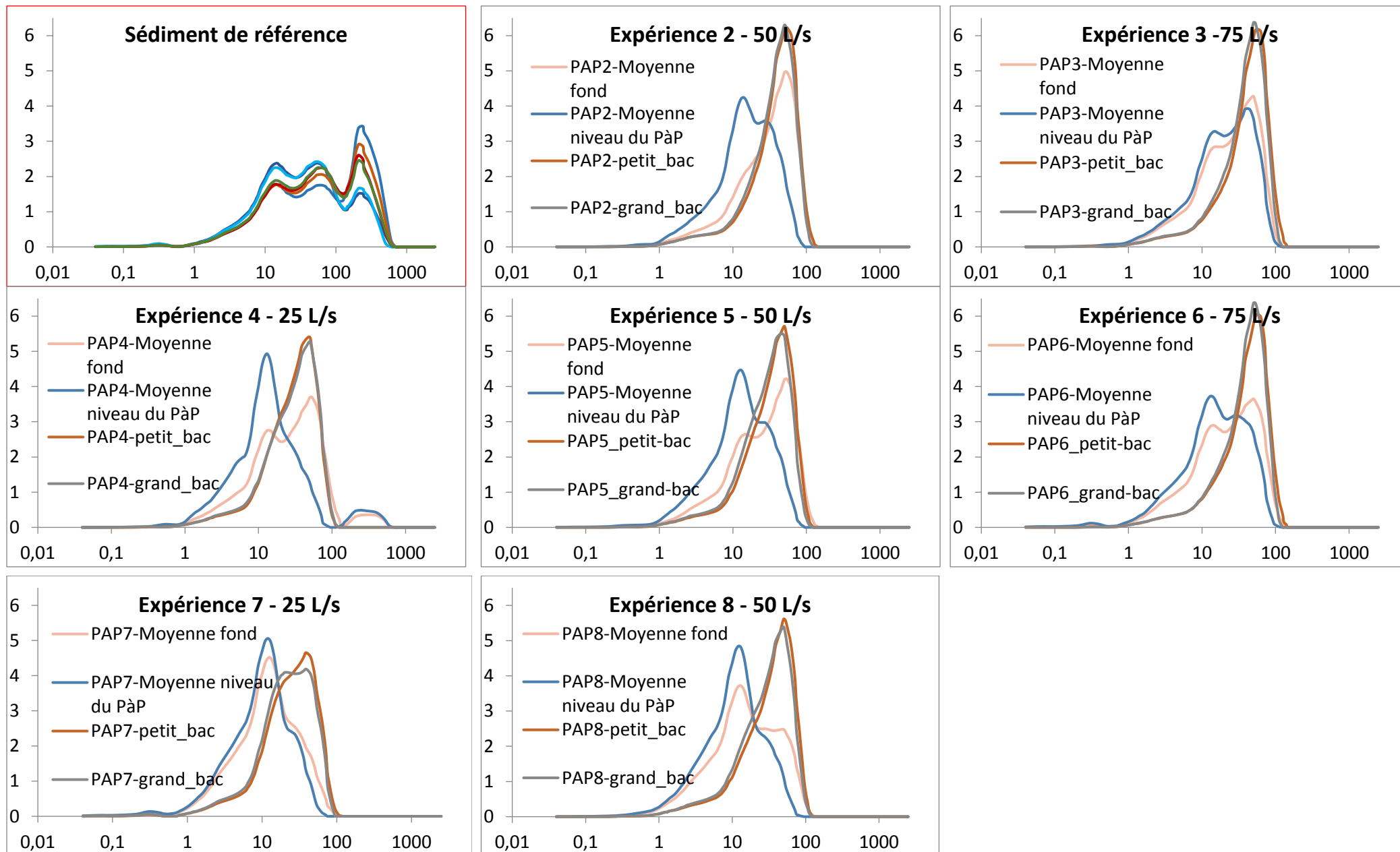


Figure 23 Distributions granulométriques (densité de fréquence en fonction du diamètre en microns) des sédiments en suspensions et récoltés dans le piège pour l'ensemble des expériences de 2017. Chaque colonne correspond à un débit. La succession dans une ligne reprend le déroulé dans le temps (donné également par le numéro de l'expérience). Le graphique en haut à gauche représente la distribution granulométrique des sédiments injectés dans le canal pour lesquels 6 sous-échantillons analysés indépendamment ont été réalisés.

Les mêmes constats que pour les expériences menées en 2016 peuvent être faits, à savoir que les sédiments en suspension sont globalement plus fins que les sédiments récoltés dans le piège. Au fur et à mesure des expériences, on constate également une perte des sédiments grossiers en suspension (en comparant notamment les expériences 2, 5 et 8 pour lesquelles la proportion relative des deux modes à 10 et 30 microns environ change au fil des expériences au profit du mode le plus fin à 10 microns).

Il apparaît que les débits les plus forts sont plus à même de remobiliser les sédiments grossiers qui sont alors un peu plus présents en suspension. Cet écart est également constaté pour les sédiments récoltés dans le piège.

D'une manière générale, on ne constate pas de différence flagrante entre les granulométries des particules récoltées dans le petit bac et le grand bac, ni de différence avec ou sans réflecteur.

La granulométrie de référence est nettement différente de la granulométrie effective lors des expériences, que ce soit en suspension ou dans le piège. Les particules de diamètre supérieur à 100 microns n'étaient pas en suspension dans l'écoulement à l'exception de l'expérience 4. Nous avons constaté des différences entre expériences menées en 2016. Nous avons donc veillé pour les expériences de 2017 à mettre en route l'écoulement au moins une heure avant la mise en place du piège afin que la suspension soit stable. Le débit préalable à l'expérience 4 était plus important que le débit de l'expérience proprement dite (50L/s au lieu de 25L/s) et a duré plus longtemps, ce qui peut expliquer l'apparition de sédiments grossiers en suspension. On peut noter cependant que ces sédiments n'ont pas été piégés. La mise en place du piège sur la berge permet de s'affranchir d'éventuelles bouffées de sédiments grossiers dues à des événements particuliers.

Nous avons souhaité pour aller plus loin, appliquer la technique de démodulation développée par Marina Launay lors de sa thèse (dans le cadre de l'OSR 3) afin d'avoir une vue d'ensemble plus robuste. Toutes les distributions granulométriques ont été démodulées. Deux résultats sont donnés en exemple **Figure 24**. Comme nous l'avons vu sur les granulométries présentées, alors que 4 modes sont injectés dans le canal avec un mode de granulométrie supérieure à 100 microns, nous n'en retrouvons que 3 dans l'écoulement.

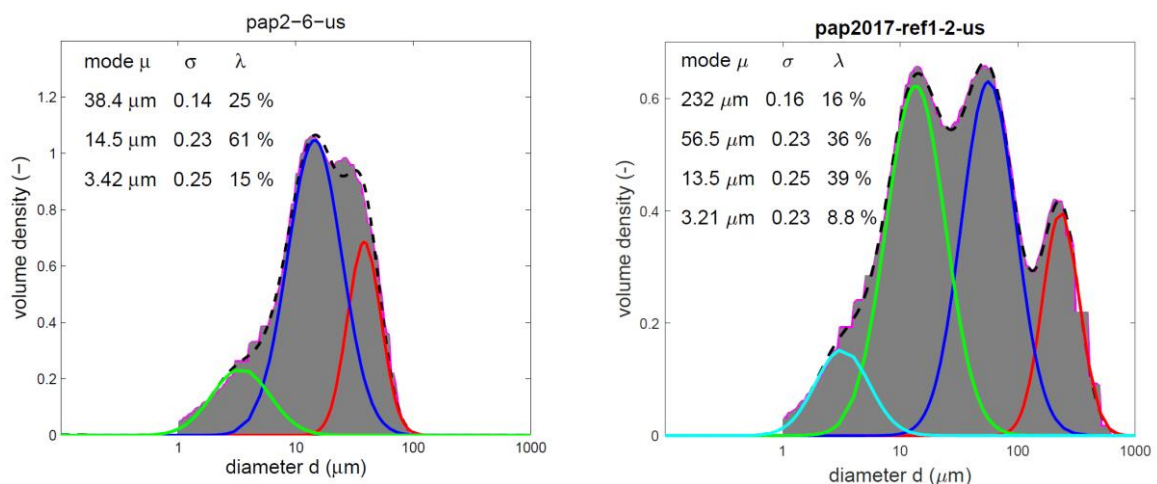


Figure 24 Démodulation de la distribution granulométrique des sédiments juste en amont du à l'altitude de l'entrée du piège (pap2-6-us) et injectés dans le canal (pap2017-ref1-2-us). Données issues de l'expérience 2. L'histogramme gris représente avec la courbe rose la distribution mesurée tandis que les 3 ou 4 courbes bleu, vert rouge ainsi que leur somme en noir pointillé, représente la démodulation qui en est faite.

Pour cette même expérience 2, nous avons comparé la proportion de chaque mode des différents échantillons et représenté cette proportion en fonction du diamètre moyen du mode. Comme constaté sur les distributions granulométriques, la granulométrie des sédiments injectés n'est pas celle qu'on retrouve dans l'écoulement. Que ce soit au niveau du piège où en amont ou en aval, les sédiments sont de tailles comparables dans l'écoulement. Ils sont significativement plus grossiers au fond contre la berge. La proportion des modes des sédiments dans le piège a été pondérée sur ce graphique par l'efficacité locale. On constate que les sédiments piégés ne représentent qu'une petite fraction des sédiments en suspension. Les trois modes présents sont globalement décalés vers les modes grossiers mais c'est simplement l'effet d'un piégeage moins efficace ou de la reprise dans le piège des fractions les plus fines.

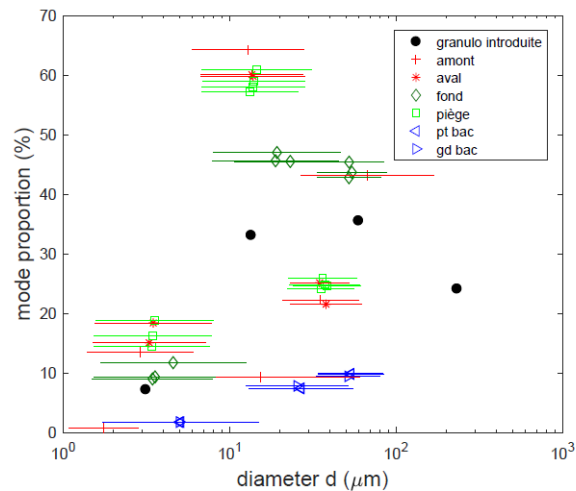


Figure 25 Proportion des modes granulométriques en fonction du diamètre médian de ces modes. Pour les sédiments dans le piège, cette proportion est pondérée par l'efficacité locale. Les traits horizontaux représentent la largeur du mode à mi-hauteur (σ).

6- Inter-comparaison des trois jeux d'expérience

Dans cette partie, nous chercherons à comparer les trois jeux d'expériences afin de confirmer certaines tendances et de répondre plus précisément aux objectifs initiaux.

Les comparaisons se feront au niveau de l'efficacité dite locale, calculée à partir des vitesses et des concentrations en MES juste en amont du piège (et non pas de la vitesse débitante et de la concentration moyenne dans l'écoulement) compte tenu des données disponibles. Nous ne reviendrons pas sur les distributions granulométriques et les efficacités par classe.

Les efficacités locales sont présentées **Figure 26** en fonction de la concentration en MES d'une part et de la vitesse à l'amont du piège d'autre part. Comme décrit ci-dessus, on peut noter la grande différence entre les tests avec le piège grandeur réelle (2015) et ceux avec le piège miniature (2016 et 2017). Cette différence est vraisemblablement due au fait que la section d'entrée est la même pour les deux pièges, conduisant une réduction plus faible des vitesses dans le piège miniature.

Si on se focalise sur les expériences avec le piège miniature, on remarque que l'efficacité augmente avec la concentration en MES. Une concentration plus importante favorise peut-être la sédimentation des particules dans le piège. Cette question mériterait d'être approfondie car elle est critique quant à la représentativité des échantillons collectés sur la durée. Il semblerait judicieux de mieux quantifier comment les pièges intègrent les flux de matières en suspension dans le temps en menant des expériences en écoulement instationnaire.

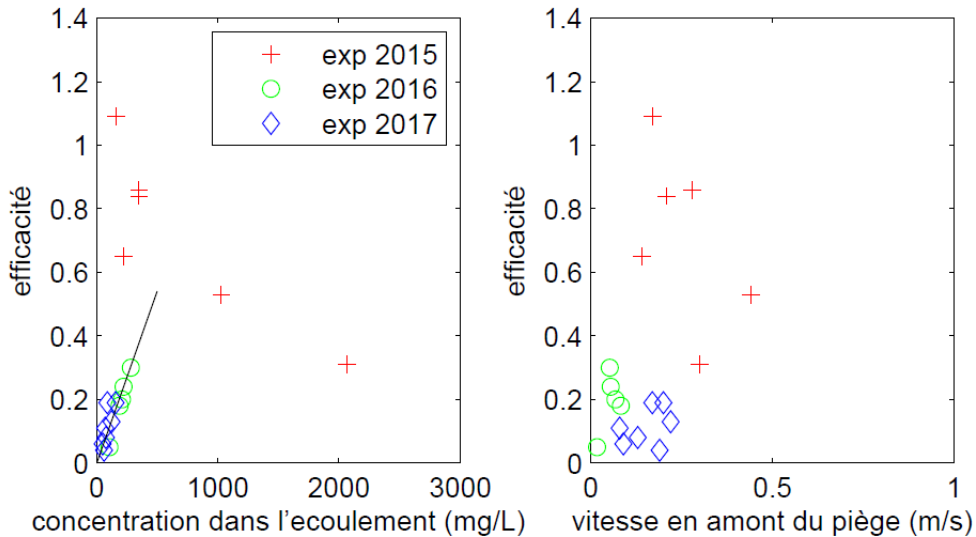


Figure 26 Efficacité locale en fonction de la concentration et de la vitesse à l'amont du piège pour les 3 jeux d'expériences.

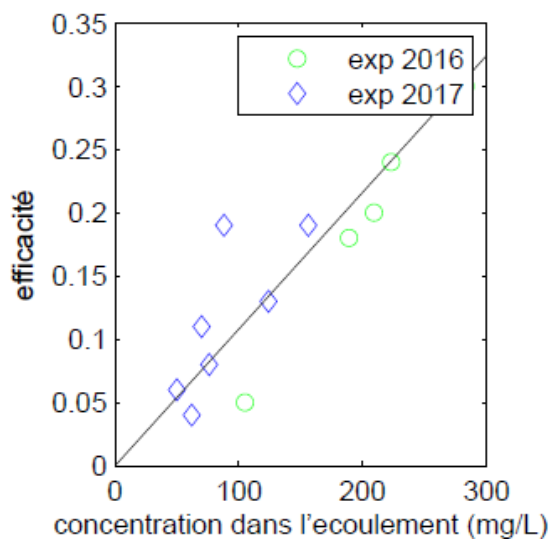


Figure 27 Efficacité locale en fonction de la concentration et de la vitesse à l'amont du piège pour les expériences 2016 et 2017 avec le piège miniature.

Conclusions

Cette action de l'OSR a consisté en une étude détaillée des pièges à particules en conditions contrôlées. Ces expériences étaient nouvelles et le protocole a été affiné au fur et à mesure des expériences. Trois jeux d'expériences ont été conduits, lors desquels nous nous sommes intéressés à l'influence du débit sur l'efficacité du piège et sur le tri des particules. Alors que certaines tendances semblaient émerger des premières expériences avec un piège grandeur nature, les expériences suivantes avec un piège miniature n'ont pas permis de conclure quant à l'influence de la vitesse en amont du piège.

Ces expériences ont cependant révélé différents points intéressants.

Tout d'abord, il s'avère que la section d'entrée du piège est critique quant à la capacité de piégeage des particules dans le piège. Si cette conclusion n'est pas nouvelle, on réalise ici l'ampleur de cet effet. Il pourrait être judicieux de tester d'autres pièges en ajoutant par exemple des parois intermédiaires pour améliorer l'efficacité des pièges.

Pour ce qui est du piège miniature, l'analyse par démodulation montre que les sédiments collectés, s'ils présentent une distribution granulométrique plus proche de celle du fond contre la berge que celle à l'altitude de l'entrée, peuvent être simplement issus de la suspension à l'altitude de l'entrée du piège. Ils n'ont pas été nécessairement remobilisés par la présence du piège. En effet, les quantités de sédiments grossiers collectés sont inférieures à celle en suspension à l'altitude du piège. Les sédiments collectés sont globalement plus grossiers par perte des sédiments fins. On se heurte ici à l'efficacité moindre du piège miniature et de nouvelles expériences avec une section réduite devraient être envisagées afin de confirmer ces résultats sur un piège de conception plus proche de celui utilisé sur le terrain.

Enfin, il semblerait que l'efficacité du piège dépende de la concentration des matières en suspension. Cette tendance pourrait impacter la représentativité de cet échantillonnage intégratif. Il serait intéressant de procéder à des expériences similaires en écoulement instationnaire.

Références

Masson, M., Angot, H., Le Bescond, C., Launay, M., Dabrin, A., Miège, C., Le Coz, J., Coquery, M. Sampling of suspended particulate matter using particle traps in the Rhône River: relevance and representativeness for the monitoring of contaminants. Submitted to Sci Total Environ.

Pohlert, T., Hillebrand, G., Breitung, V., Effects of sampling techniques on physical parameters and concentrations of selected persistent organic pollutants in suspended matter, J. Environ. Monit., 2011,13, 1579-1588, DOI:10.1039/C1EM10045A, Received 17 Jan 2011, Accepted 27 Apr 2011

Schulze, T., Ricking, M., Schroter-Kermani, C., Korner, A., Denner, H.D., Weinfurtner, K., Winkler, A., Pekdeger, A., 2007. The German Environmental Specimen Bank - Sampling, processing, and archiving sediment and suspended particulate matter. J. Soils Sediments 7, 361-367.

Annexes

Résultats d'analyse des concentrations en MES sur les prélèvements des expériences menées en 2015

n°	Lieu prélèvement	Date	Code échantillon	masse du filtre g	masse après filtration g	Delta m g	Volume l	Concentration (g/l)
1	Amont	15/07/2015 10:00	1D	0.17179	0.18604	0.01425	0.05	0.285
2	Aval	15/07/2015 10:00	3D	0.17336	0.19847	0.02511	0.052	0.483
3	Amont	15/07/2015 11:00	3A	0.1785	0.18407	0.00557	0.05	0.111
4	Aval	15/07/2015 11:00	5C	0.17694	0.18349	0.00655	0.046	0.142
5	Amont	15/07/2015 11:57	5F	0.16833	0.17677	0.00844	0.054	0.156
6	Aval	15/07/2015 11:57	6B	0.17104	0.17856	0.00752	0.052	0.145
7	Amont	15/07/2015 13:10	5B	0.16927	0.17489	0.00562	0.053	0.106
8	Aval	15/07/2015 13:10	4E	0.16904	0.17467	0.00563	0.053	0.106
9	Amont	16/07/2015 09:45	1D	0.1694	0.20955	0.04015	0.052	0.772
10	Aval	16/07/2015 09:45	3B	0.1672	0.20406	0.03686	0.055	0.670
11	Amont	16/07/2015 10:47	4F	0.17049	0.18729	0.0168	0.053	0.317
12	Aval	16/07/2015 10:47	4G	0.16877	0.18596	0.01719	0.053	0.324
13	Amont	16/07/2015 11:51	X1	0.17269	0.18257	0.00988	0.055	0.180
14	Aval	16/07/2015 11:51	X2	0.1717	0.18284	0.01114	0.054	0.206
15	Amont	16/07/2015 12:57	Y1	0.16838	0.17528	0.0069	0.053	0.130
16	Aval	16/07/2015 12:57	Y2	0.16923	0.17937	0.01014	0.054	0.188
17	Amont	17/07/2015 09:32	V1	0.16962	0.2514	0.08178	0.057	1.435
18	Aval	17/07/2015 09:32	V2	0.17039	0.42858	0.25819	0.056	4.611
19	Amont	17/07/2015 10:33	V3	0.16926	0.24364	0.07438	0.053	1.403
20	Aval	17/07/2015 10:33	V4	0.17688	0.31446	0.13758	0.057	2.414
21	Amont	17/07/2015 11:38	W1	0.17719	0.21435	0.03716	0.054	0.688
22	Aval	17/07/2015 11:38	W2	0.17746	0.22246	0.045	0.056	0.804
23	Amont	17/07/2015 12:54	W3	0.17498	0.20688	0.0319	0.054	0.591
24	Aval	17/07/2015 12:54	W4	0.17655	0.22245	0.0459	0.057	0.805
25	Amont	20/07/2015 10:56	X5	0.17227	0.25631	0.08404	0.056	1.501
26	Aval	20/07/2015 10:56	X6	0.17068	0.22774	0.05706	0.054	1.057
27	Amont	20/07/2015 11:56	X7	0.16888	0.22253	0.05365	0.056	0.958
28	Aval	20/07/2015 11:56	X8	0.171	0.21725	0.04625	0.054	0.856
29	Amont	20/07/2015 13:02	X9	0.16901	0.20833	0.03932	0.052	0.756
30	Aval	20/07/2015 13:02	X10	0.17006	0.211	0.04094	0.052	0.787
31	Amont	20/07/2015 14:07	X23	0.16918	0.22306	0.05388	0.056	0.962
32	Aval	20/07/2015 14:07	X11	0.16959	0.19942	0.02983	0.052	0.574
33	Amont	21/07/2015 09:55	Y3	0.16824	0.24884	0.0806	0.051	1.580
34	Aval	21/07/2015 09:55	Y4	0.16815	0.25622	0.08807	0.056	1.573
35	Amont	21/07/2015 11:09	Y5	0.1703	0.24332	0.07302	0.055	1.328
36	Aval	21/07/2015 11:09	Y6	0.16943	0.24898	0.07955	0.052	1.530
37	Amont	21/07/2015 12:06	Y7	0.16825	0.21094	0.04269	0.046	0.928
38	Aval	21/07/2015 12:06	Y8	0.16875	0.21925	0.0505	0.053	0.953
39	Amont	21/07/2015 13:10	Y9	0.16973	0.2034	0.03367	0.056	0.601
40	Aval	21/07/2015 13:10	Y10	0.17357	0.21954	0.04597	0.057	0.806

Résultats des analyses granulométriques (par diffraction Laser) sur les prélèvements des expériences menées en 2015

Nom échantillon	Ultrasons	d10 (µm)	d50 (µm)	d90 (µm)
15/07 PAP amont petit bac	US	42.06	60.77	84.19
15/07 PAP amont gd bac	US	20.99	54.24	77.41
15/07 PAP aval petit bac	US	40.89	59.61	81.96
15/07 PAP aval gd bac	sans US	18.07	51.74	75.31
15/07 PAP pt bac	US	41.475	60.19	83.075
15/07 PAP gd bac	mixte	19.53	52.99	76.36
15/07 PAP moy	mixte	30.5025	56.59	79.7175
16/07 PAP amont petit bac	sans US	45.28	63.11	88.24
16/07 PAP amont gd bac	sans US	38.15	58.36	80.86
16/07 PAP aval petit bac	sans US	43.62	61.81	85.91
16/07 PAP aval gd bac	sans US	34.73	57.51	80.12
16/07 PAP pt bac	sans US	44.45	62.46	87.075
16/07 PAP gd bac	sans US	36.44	57.935	80.49
16/07 PAP moy	sans US	40.445	60.1975	83.7825
17/07 PAP amont petit bac	sans US	45.99	63.78	89.16
17/07 PAP amont gd bac	sans US	43.1	61.34	84.94
17/07 PAP aval petit bac	sans US	46.16	64.14	89.84
17/07 PAP aval gd bac	US	39.35	58.8	81.27
17/07 PAP pt bac	sans US	46.075	63.96	89.5
17/07 PAP gd bac	mixte	41.225	60.07	83.105
17/07 PAP moy	mixte	43.65	62.015	86.3025
20/07 PAP amont petit bac	US	46.67	64.62	90.53
20/07 PAP amont gd bac	US	44.59	61.96	85.71
20/07 PAP aval petit bac	US	47.49	65.54	92.18
20/07 PAP aval gd bac	US	44.5	62.2	86.49
20/07 PAP pt bac	US	47.08	65.08	91.355
20/07 PAP gd bac	US	44.545	62.08	86.1
20/07 PAP moy	US	45.8125	63.58	88.7275
21/07 PAP amont petit bac	US	49.13	67.09	94.54
21/07 PAP amont gd bac	US	47.15	64.85	90.7
21/07 PAP aval petit bac	US	48.85	67.01	94.52
21/07 PAP aval gd bac	US	46.62	64.26	89.66
21/07 PAP pt bac	US	48.99	67.05	94.53
21/07 PAP gd bac	US	46.885	64.555	90.18
21/07 PAP moy	US	47.9375	65.8025	92.355

Les données des expériences 2016 et 2017 peuvent être obtenues sur demande.



Observatoire des Sédiments du Rhône



Provence-Alpes-Côte d'Azur



Observatoire des Sédiments du Rhône

GRAIE – OHM Vallée du Rhône

66 bd Niels Bohr – CS 52132

69603 Villeurbanne Cedex

www.graie.org/osr/

Contact : dad.roux@graie.org