



HAL
open science

OSR5 2018-2020 Etude et amélioration de l'efficacité d'échantillonnage des pièges à particules

Céline Berni, Yann Bonenfant, Alexis Buffet, B. Camenen, Chloé Le Bescond, Jérôme Le Coz, Hugo Lepage, Matthieu Masson, Fabien Thollet

► **To cite this version:**

Céline Berni, Yann Bonenfant, Alexis Buffet, B. Camenen, Chloé Le Bescond, et al.. OSR5 2018-2020 Etude et amélioration de l'efficacité d'échantillonnage des pièges à particules. [Rapport de recherche] INRAE. 2019. hal-02931691

HAL Id: hal-02931691

<https://hal.science/hal-02931691>

Submitted on 7 Sep 2020

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

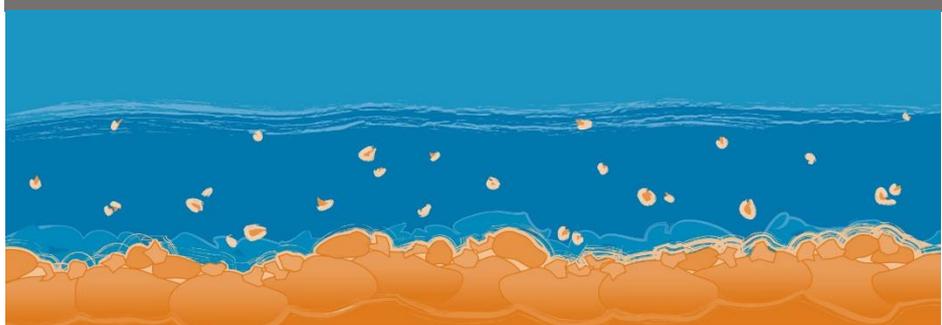
OSR5 2018-2020

Etude et amélioration de l'efficacité d'échantillonnage des pièges à particules

Version du 11 Mai 2020



Plan Rhône



Etude et amélioration de l'efficacité d'échantillonnage des pièges à particules

Personnes impliquées (par ordre alphabétique)	Equipe de recherche
Céline Berni	Hydraulique des rivières, RiverLy, Irstea
Yann Bonenfant	Hydraulique des rivières, RiverLy, Irstea
Alexis Buffet	Hydraulique des rivières, RiverLy, Irstea
Benoît Camenen	Hydraulique des rivières, RiverLy, Irstea
Chloé Le-Bescond	LAMA, RiverLy, Irstea
Jérôme Le Coz	Hydraulique des rivières, RiverLy, Irstea
Hugo Lepage	IRSN
Matthieu Masson	LAMA, RiverLy, Irstea
Fabien Thollet	Hydraulique des rivières, RiverLy, Irstea

Les pièges à particules sont utilisés dans le cadre de l'OSR pour le prélèvement de matières en suspension (MES) en vue de leur analyses physico-chimiques. 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 contrôlé ont été réalisés dans le canal hydraulique d'Irstea Lyon-Villeurbanne lors de l'OSR 4 pour quantifier l'efficacité du piège plongé dans un écoulement.

Nous avons mené durant cette nouvelle action OSR plusieurs expériences afin de quantifier l'efficacité du piège en alimentation directe. Deux pièges, un piège grandeur nature et le piège miniature développé pour l'action dans l'OSR4 ont été testés pour plusieurs débits d'alimentation et de concentration en MES. Dans la gamme des concentrations en MES testées, la concentration en MES ne s'est pas avérée un paramètre de contrôle. La vitesse d'alimentation est par contre un paramètre clef, ainsi que la taille des particules. Nous avons établi une loi pour quantifier l'efficacité en fonction du diamètre des particules et de la vitesse de l'écoulement à l'entrée du piège. Cette loi reproduit relativement bien l'ensemble des expériences menées. Elle permet également de prédire les granulométries qui ne sont pas captées de façon efficaces par le piège. Ces particules sont tels que leur vitesse de chute soit 10 fois plus faible que la vitesse dans le piège au niveau de la section de surverse, c'est-à-dire la vitesse à l'entrée du piège divisée par 180.

Nous avons ensuite essayé d'appliquer les résultats obtenus à des expériences plus proches des conditions in-situ (expériences en canal). Les résultats sont peu concluants. Le travail réalisé permet toutefois de prédire qualitativement les granulométries les moins bien captées. Il est fort probable que les processus liés à l'écoulement à l'amont du piège soient critiques pour quantifier l'efficacité globale du piège. Il pourrait être intéressant d'approfondir la comparaison entre l'utilisation du piège en alimentation directe ou plongé in-situ dans l'écoulement.

R A P P O R T	5
1. CONTEXTE	7
1.1. Problématique	7
1.2. Les premiers résultats de l'OSR 4	7
1.3. Stratégie adoptée dans le cadre de l'OSR 5	8
2. EXPERIENCES ET RESULTATS	8
2.1. Protocole	8
2.2. Résultats	9
3. APPLICABILITE	10
3.1. Expériences en canal	10
3.2. Résultats	11
4. CONCLUSION	12
5. REFERENCES	12
A N N E X E S	13

R A P P O R T

1. CONTEXTE

1.1. Problématique

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 particuliers 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 qui permet de collecter suffisamment de matière en période de faible débit. 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, Masson et al., 2018).

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., 2018). En effet, lors de forts débits en particulier, le piège à particules récolte significativement plus de particules grossières (en relatif). Ces biais granulométrique pourraient modifier significativement les concentrations en contaminants. Il est en effet connu que les contaminants ont une plus forte affinité pour les plus petites particules qui ont les surfaces spécifiques les plus importantes (e.g. Duinker et al., 2016). Pour l'instant, Masson et al. (2018) n'ont observé aucun biais significatifs sur les concentrations en mercure et polychlorobiphényles (PCB) mesurées dans des particules échantillonnées avec les pièges à particules de l'OSR malgré des biais granulométriques relativement important (jusqu'à 40% d'erreur).

Nous souhaitons donc à travers cette action, étudier le fonctionnement des pièges à particules (PAP) en milieu contrôlé 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 : en particulier débit, granulométrie des sédiments et concentration.

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 durant l'OSR 5 après un bref retour sur les résultats obtenus dans l'OSR 4.

1.2. Les premiers résultats de l'OSR 4

Des expérimentations contrôlées en canal hydraulique de laboratoire ont été conduites pour mieux caractériser le fonctionnement hydro-sédimentaire des pièges à particules, et mieux comprendre les phénomènes de ségrégation des particules, en lien avec les conditions de déploiement dans les cours d'eau. Ces expériences ont été menées dans le laboratoire HHLab d'Irstea pour différentes conditions de vitesse d'écoulement et de concentration et tailles de particules, à l'aide d'un piège à particules standard puis d'un modèle réduit à l'échelle 1/3.

Les expérimentations se sont heurtées à différentes difficultés (dimensionnement du piège, maintien d'une concentration et d'une granulométrie stable de MES, choix des sédiments, variabilité des concentrations sur la verticale) qui nous ont empêché de tirer des conclusions définitives lors de l'OSR4. Cependant, les résultats obtenus ont montré que les particules échantillonnées étaient globalement plus grossières que les particules en suspension, d'autant plus que le débit est fort. Cette différence est

liée à une efficacité de piégeage plus faible des 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.

1.3. Stratégie adoptée dans le cadre de l'OSR 5

Nous avons choisi pour continuer d'avancer dans cette action de faire appel à un stagiaire qui est venu 6 mois à Irstea, de juillet à décembre 2019, encadré par Céline Berni. Durant ce stage, après consultation de l'ensemble des personnes impliquées, nous avons choisi d'étudier dans un premier temps le piège ex-situ, c'est-à-dire en l'alimentant directement à l'aide d'un tuyau. Nous souhaitons ainsi distinguer l'efficacité propre du piège de son efficacité dans le milieu. Cette étude présente d'autant plus d'intérêt que les pièges sont déployés in-situ (en grande majorité) mais aussi ex-situ (à la station SORA d'Arles) dans le cadre de l'OSR.

La Figure 1 résume les mécanismes en jeu et illustre ces deux types de déploiements.

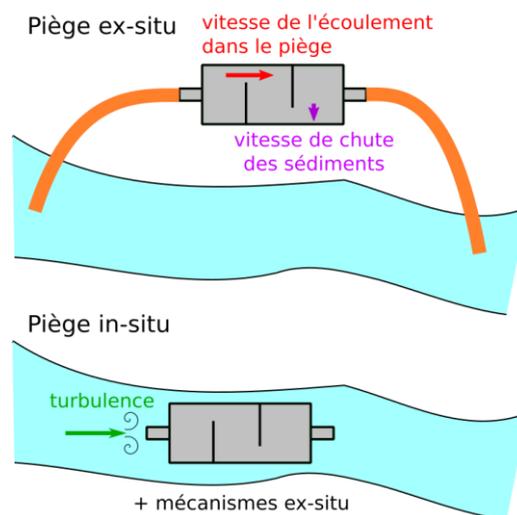


Figure 1 Mécanismes liés au piégeage des sédiments lors du déploiement du piège à particules in-situ ou ex-situ.

2. EXPERIENCES ET RESULTATS

Le détail des résultats et du protocole appliqué lors de ces expériences est présenté dans le rapport de stage de Yann Bonenfant, rapporté en annexe de ce document. Nous en résumons brièvement le contenu et complétons l'analyse des dernières expériences, ce qui n'avait pas été possible dans le temps imparti au stage et à la rédaction du rapport.

2.1. Protocole

Les expériences menées lors de l'OSR consistent à alimenter directement le piège à particules d'un mélange eau + sédiment à un débit donné. Des prélèvements sont régulièrement conduits en amont et en aval du piège afin de caractériser la concentration en sédiment et la granulométrie de la suspension qui entre mais aussi qui sort du piège. Ce jeu de données, ainsi que l'analyse des sédiments récoltés, nous permettent de calculer l'efficacité du piège par classes granulométriques mais aussi l'efficacité moyenne du piège dans plusieurs conditions de débit, de concentrations en MES et de granulométrie différents

Ainsi, nous avons exploré plusieurs débits d'entrée, deux sédiments présentant des granulométries différentes et plusieurs concentrations. Le piège grandeur nature tel qu'il est utilisé sur le terrain et le mini-piège qui avait été dessiné pour les expériences en canaux ont tous les deux été testés.

2.2. Résultats

L'analyse menée et présentée dans le rapport de stage en annexe conduit à un certain nombre de conclusions.

- La concentration ne semble que peu influencer l'efficacité du piège.
- Un sédiment d'une taille spécifique est piégé de la même façon qu'il soit mélangé à des sédiments plus grossiers ou plus fins.
- La vitesse de l'écoulement dans la section de surverse (ou de sous-verse) du piège est le paramètre clef qui pilote l'efficacité.

La **Figure 2** présente les efficacités par classe de l'ensemble des expériences en fonction du diamètre. Les expériences E14 à E16 ont été réalisées avec le petit piège (symboles pleins), les E17 à E20 avec le piège grandeur nature (croix). Pour chaque expérience, l'efficacité du piège augmente en fonction du diamètre, ce qui est bien la signature du fait que les gros grains sont mieux piégés que les petits et sont donc finalement surreprésentés dans les échantillons prélevés par le piège.

Pour un piège donné, les courbes sont globalement rangées de gauche à droite en fonction de la vitesse de l'écoulement à l'entrée du piège. L'efficacité d'un piège pour une taille de sédiment donnée est d'autant plus faible que la vitesse de l'écoulement est forte.

Enfin, l'efficacité du petit piège pour un diamètre et une vitesse donnés est plus faible que celle du piège grandeur nature. Nous avons vu lors de l'action précédente que cette différence d'efficacité s'expliquait simplement. En effet, pour une vitesse d'écoulement donnée à l'entrée du piège, du fait de la géométrie des pièges, la vitesse dans le piège pour le petit piège est plus grande que pour le grand. Afin de s'affranchir de cet effet et d'être en mesure de comparer les résultats obtenus pour les 2 pièges, nous avons considéré l'efficacité en fonction du rapport entre la vitesse dans le piège (dans la section de surverse) et la vitesse de chute d'un sédiment d'une taille donnée (**Figure 3**). Les courbes se superposent globalement quelle que soit la vitesse de l'écoulement ou la taille du piège. Deux expériences semblent sortir du lot mais ce sont cependant des expériences pour lesquelles nous avons émis des doutes sur la qualité des résultats (les efficacités calculées de façons différentes sont significativement différentes, voir le rapport de Y. Bonenfant en annexe). Ainsi, un piège capte bien (c'est-à-dire au moins la moitié) les sédiments qui sont tels que leur vitesse de chute est supérieure à 1/10 de la vitesse de l'écoulement dans le piège. La forme de ces courbes est globalement bien reproduite par la courbe noire en tangente hyperbolique dont l'équation est donnée par :

$$\text{efficacité} = \frac{\left(\tanh \left(1.2 \log \left(\frac{\omega_s}{V_{surverse}} \right) + 1.1 \right) + 1 \right)}{2}$$

où ω_s est la vitesse de chute d'un sédiment de taille donnée calculée à partir de la formule de Soulsby. Nous n'avons pas de sens physique particulier à donner à ce type de courbe si ce n'est qu'elle reproduit un comportement de type seuil avec une certaine dispersion que l'on peut attribuer au caractère aléatoire de la position d'une particule d'une certaine taille dans le piège au niveau de la sous-verse par exemple.

Cette courbe peut permettre d'estimer grossièrement à partir de la vitesse de l'écoulement en amont le diamètre des sédiments qui seront efficacement piégés.

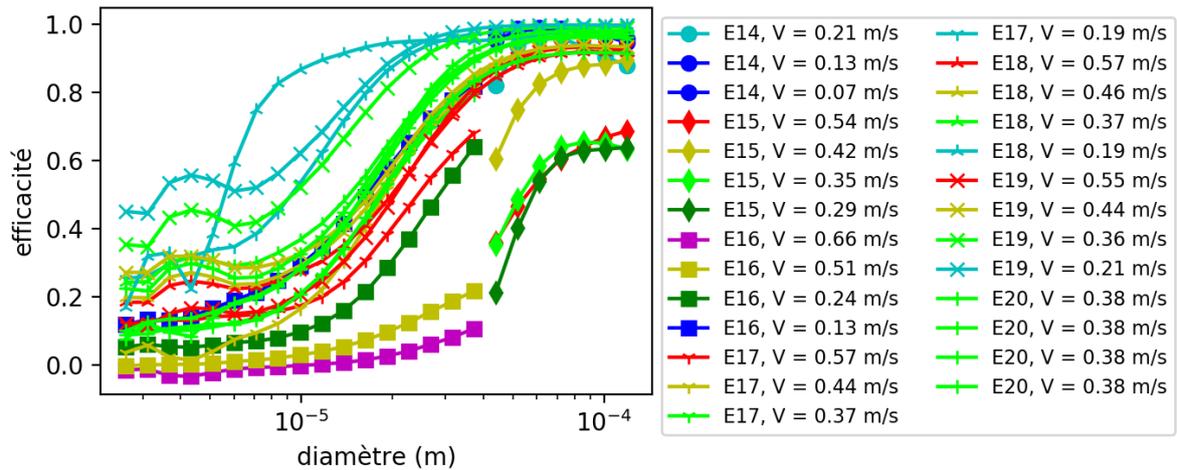


Figure 2 Efficacité en fonction du diamètre.

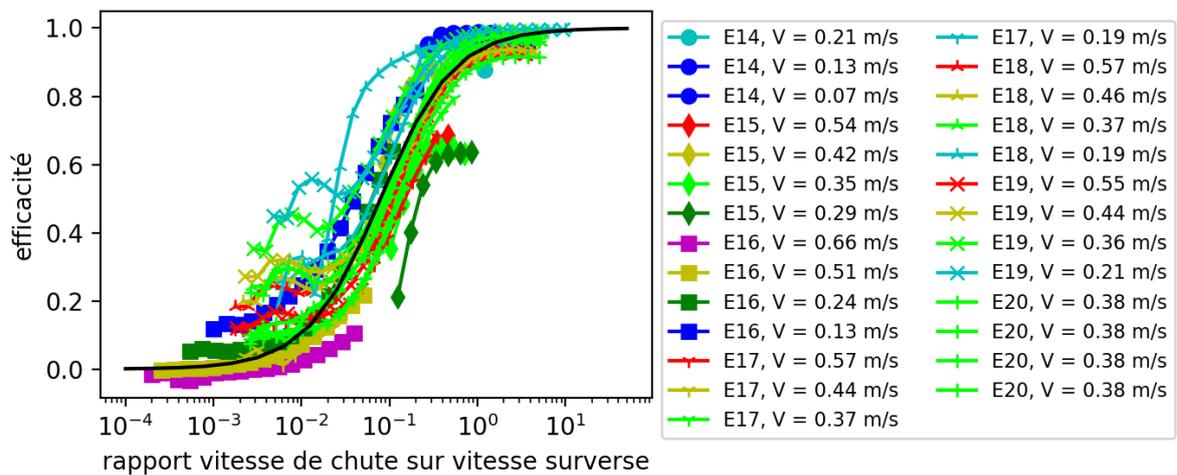


Figure 3 Efficacité du piège en fonction du rapport entre la vitesse de chute correspondant à un diamètre de sédiment donné et la vitesse de l'écoulement dans la surverse du piège.

3. APPLICABILITE

3.1. Expériences en canal

Afin de nous rendre compte de l'applicabilité des résultats obtenus à des expériences in-situ, nous avons réalisé deux expériences dans le canal inclinable d'Irstea Lyon, comme lors de l'OSR précédent.

Ces expériences ont consisté à mettre petit piège puis grand piège dans le canal, pendant une durée déterminée, en les immergeant dans un écoulement chargé et lent (vitesse de l'ordre de 4 cm/s).

La distribution granulométrique des sédiments en suspension dans l'écoulement et des sédiments récoltés, ainsi que la concentration en MES et la vitesse de l'écoulement ont été mesurées.

3.2. Résultats

A partir des données récoltées, nous avons pu d'une part calculer l'efficacité réelle du piège mais aussi celle prédite à partir des expériences précédentes (courbe en tangente hyperbolique) et d'autre part prédire la granulométrie relative des sédiments collectés.

Les résultats obtenus sont présentés pour les deux expériences réalisées **Figure 4**.

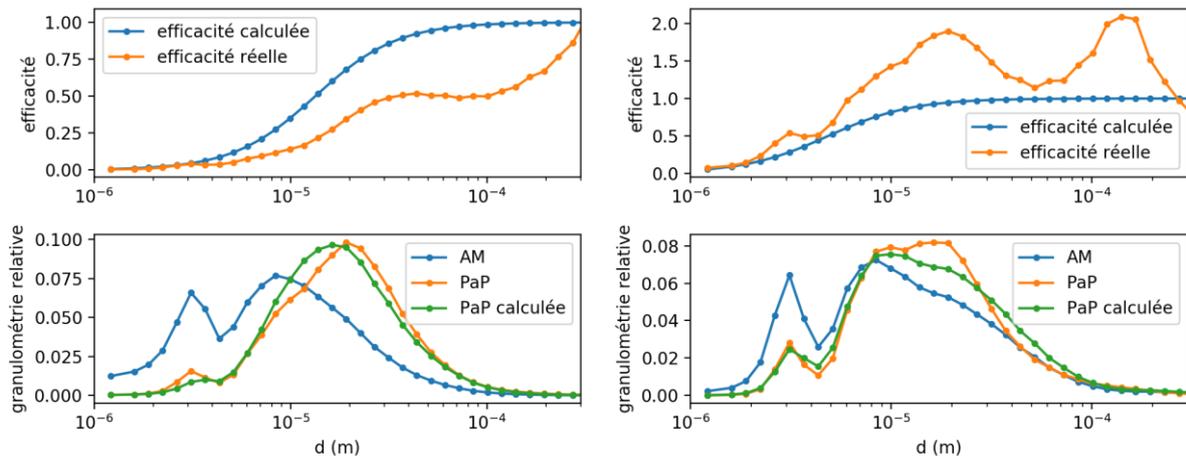


Figure 4 Efficacités et granulométries relatives pour deux expériences dans le canal incliné, avec le petit piège à gauche, et le grand piège à droite. En haut, en bleu l'efficacité « théorique » calculée à partir des expériences avec alimentation directe, en orange, celle calculée à partir des granulométries, concentration et vitesse mesurées lors des expériences. En bas, en bleu, la granulométrie relative de l'écoulement à l'amont, en orange, la granulométrie relative des sédiments piégés et en vert, la granulométrie piégée prédite à partir de la granulométrie amont et de la courbe d'efficacité théorique.

L'accord entre la courbe d'efficacité théorique et celle observée réellement dans le canal est grossier. Il permet cependant de bien retrouver la forme de la distribution granulométrique des sédiments récoltés dans le piège à partir de la granulométrie mesurée en amont (graphiques du bas, superposition des courbes vertes et jaunes). Le travail effectué permet de prédire les granulométries les moins bien captées. L'écart observé entre la théorie (relative aux expériences ex-situ) et la pratique (relative aux expériences in-situ) est certainement due à la difficulté sur le terrain à mesurer une efficacité.

La comparaison des résultats obtenus en alimentation directe et dans le canal montre clairement que même si l'écoulement en amont du piège doit jouer un rôle certain dans l'efficacité du piège, qualifier son efficacité propre permet une relativement bonne applicabilité sur le terrain. Nous confirmons ainsi que le piège à particules déployé sur le Rhône peut, si les vitesses sont faibles, permettre de rassembler un échantillon de sédiments qui soit intégratif et exploitable pour la mesure de contaminants mais la masse piégée n'est pas proportionnelle au flux qui transite dans le cours d'eau.

4. CONCLUSION

Nous avons mené durant cette action OSR plusieurs expériences afin de quantifier l'efficacité du piège en alimentation directe. Deux pièges, un piège grandeur nature et le piège miniature développé pour l'action dans l'OSR4 ont été testés pour plusieurs débits d'alimentation et de concentration en MES. Dans le panel de concentrations testées, celle-ci ne s'est pas avérée un paramètre de contrôle. La vitesse d'alimentation est par contre un paramètre clef, ainsi que la taille des sédiments. Nous avons établi une loi pour quantifier l'efficacité en fonction du diamètre des sédiments et de la vitesse de l'écoulement à l'entrée du piège. Cette loi reproduit relativement bien l'ensemble des expériences menées. Elle permet également de prédire les granulométries qui ne sont pas captées de façon efficace par le piège. Ces sédiments sont tels que leur vitesse de chute soit 10 fois plus faible que la vitesse dans le piège au niveau de la section de surverse, c'est-à-dire la vitesse à l'entrée du piège divisée par 180. Une amélioration possible consisterait alors à augmenter la perte de charge dans le piège. On peut imaginer par exemple d'obstruer en partie les surverses et sous-verses.

Nous avons ensuite appliqué les résultats obtenus à des expériences plus proches des conditions in-situ (expériences en canal). L'efficacité par classe in-situ diffère significativement de celle modélisée ex-situ. Le travail réalisé permet cependant effectivement de prédire les granulométries les moins bien captées. Il pourrait être intéressant d'approfondir la comparaison entre l'utilisation du piège en alimentation directe ou plongé in-situ dans l'écoulement et d'analyser l'effet d'une modification du profil d'entrée du piège sur ces différences.

5. REFERENCES

Duinker, J.C., 1986. The role of small, low-density particles on the partition of selected PCB congeners between water and suspended matter (north-sea area). *Neth. J. Sea Res.* 20, 229-238.

Launay, M., 2014. Fluxes of Suspended Particulate Matters, Particulate Mercury and PCBs in the Rhône River from Lake Geneva to the Mediterranean Sea, p. 432. Manuscrit de thèse de l'Université de Lyon.

Masson, M., Angot, H., Le Bescond, C., Launay, M., Dabrin, A., Miège, C., Le Coz, J., Coquery, M., 2018. Sampling of suspended particulate matter using particle traps in the Rhône River: Relevance and representativeness for the monitoring of contaminants, *Science of the Total Environment*, 637-638, pp. 538-549.

Pohlert, T., Hillebrand, G., Breitung, V., 2011. Effects of sampling techniques on physical parameters and concentrations of selected persistent organic pollutants in suspended matter, *Journal of Environmental Monitoring*, 13 (6), pp. 1579-1588.

A N N E X E S

Annexe 1 – Rapport de stage de Yann Bonenfant

Rapport de stage

Yann BONENFANT

Juillet 2018 à Décembre 2018

Tutrice de stage : Céline BERNI

Enseignant référent : Emmanuel MIGNOT

Etablissement / Formation : INSA Lyon – Génie Mécanique

Etablissement d'accueil : IRSTEA – Centre de Lyon-Villeurbanne

Sommaire

Glossaire	17
Présentation de l'institut.....	18
Présentation du cadre.....	18
Présentation du stage.....	19
Présentation de l'état de l'art.....	21
Corps technique du rapport.....	21
Mise en place du banc d'essai.....	21
Expériences, points de fonctionnement et paramètres.....	23
Protocole	25
Plan d'expériences.....	27
Résultat des expériences banc d'essai.....	29
Distribution granulométrique des PM	29
Efficacité par classes.....	30
Efficacité totale	33
Efficacité totale moyenne.....	35
Contenu relatif des bacs.....	38
Eléments conclusifs.....	40
Travail ultérieur.....	41
Ouverture : résultats de l'expérience en canal	41
Discussion et conclusion.....	43
Références bibliographiques	44
Annexes	45
Annexe 1 : Suppression de deux points de E15	45
Annexe 2 : Concentration LISST et filtration.....	47

Glossaire

AM / AV	:	Amont /Aval (du piège à particule)
C	:	Concentration
Classe	:	L'ensemble des diamètres de 1 à 500 μm est divisé en 36 classes caractérisées par un diamètre minimal, maximal et médian. Les 36 classes divisent le logarithme du diamètre médian de façon égale.
Par classe/total(e)	:	qualifie la donnée en indiquant si elle concerne l'ensemble de la masse (total) ou si elle est propre à chaque classe de diamètre (par classes).
Granulométrie	:	Distribution des tailles d'une collection d'éléments
m	:	Masse
MES	:	Matière en suspension
PAP / PAP-mini / PAP-réel	:	Piège à particules (taille 1/3 ou réelle)
PDF	:	Point de fonctionnement
PE / GR	:	Petit et grand bac du PAP
PM	:	Prélèvement(s) manuel(s)
Q	:	Débit
t	:	Temps
Transport sédimentaire	:	Discipline qui étudie le transport des sédiments par les cours d'eau
V	:	Vitesse

Présentation de l'institut

Le stage est réalisé au sein de l'Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture, ou Irstea. Il s'agit d'un EPST (Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique) français, au même titre que l'INRA (Institut National de Recherche Agronomique) avec qui le processus de fusion débuté en 2018 donnera naissance à un unique institut en 2020. Irstea est sous la cotutelle des Ministères chargés de la Recherche et de l'Agriculture.

En 2017, son budget est de 109 millions d'euros dont 24% proviennent de ressources propres. L'effectif total s'élève à 1202 collaborateurs statutaires ou contractuels dont 869 chercheurs, ingénieurs, doctorants et post-doctorants.

Irstea possède 9 centres sur le territoire national à Rennes (35), Anthony (92), Nogent-sur-Vernisson (45), Lyon-Villeurbanne (69), Grenoble (38), Aix-en-Provence (13), Montpellier (34), Bordeaux (33) et Clermont-Ferrand (63). Chaque centre possède ses propres unités de recherche et partenariats en région. En 2015, le nombre de projets partenariaux s'élève à 76, impliquant 150 entreprises. Membre de l'Alliance ANCRE (Alliance Nationale de Coordination pour la Recherche sur l'Energie), de l'Institut IAVFF (Institut Agronomique, Vétérinaire et Forestier de France) et membre fondateur de l'Alliance AllEnvi (Alliance nationale de la recherche pour l'environnement), Irstea est pleinement investi dans le dispositif français de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. L'institut s'exporte également à l'international via des réseaux de recherche comme le PEER (Partnership for European Environmental Research).

Irstea est le premier EPST à obtenir la certification ISO 9001 pour l'ensemble de son système de management par la qualité. Sa forte collaboration avec le secteur privé lui permet d'être labélisé Carnot depuis 2006.

Irstea conduit des recherches en environnement au sein de trois départements distincts : Eaux, Territoires et Ecotechnologies. En intégrant les sciences du vivant, les sciences dures et les sciences sociales dans ses travaux sur les risques naturels, la biodiversité, l'eau et les territoires, l'institut se donne comme objectif de répondre aux défis engendrés par les changements globaux de notre environnement via des solutions concrètes et des transferts de connaissance à la société civile. Ainsi l'institut travaille sur autant de domaines différents que le génie des procédés frigorifiques, les écosystèmes forestiers, les pollutions et écosystèmes aquatiques, la neige et les avalanches ou l'optimisation des procédés en agriculture, agroalimentaire et environnement. Ces domaines se répartissent en 14 Unités de Recherche (UR) et 5 Unités Mixtes de Recherche (UMR).

Présentation du cadre

Le site de Lyon-Villeurbanne sur lequel s'est déroulé le stage effectue des travaux de recherche dans le domaine de l'eau. Les activités du centre se concentrent sur deux unités de recherche. La première, *REVERSAAL - Réduire, réutiliser, valoriser les ressources des eaux résiduaires* mène des travaux sur la gestion des eaux usées, des rejets urbains et le traitement des boues d'épuration (déchets des stations d'épuration). Le stage s'est déroulé dans la deuxième unité de recherche du site, *Riverly*, plus importante en nombre de collaborateurs et qui porte ses recherches sur la gestion des cours d'eau en menant des travaux sur l'écohydrologie, l'écotoxicologie, l'hydrologie

des bassins versants, l'hydraulique des rivières, la chimie des milieux aquatiques et la pollution agricole diffuse. Prédire les conséquences du changement climatique sur les hydrosystèmes, protéger l'environnement aquatique et gérer les risques émergents sont autant d'objectifs que se fixe l'unité de recherche. L'équipe *Hydraulique des rivières* accueillant le stage étudie plus spécifiquement les écoulements des cours d'eau et les transports de polluants et sédiments associés.

Pour mener à bien leurs travaux, les équipes du site de Lyon-Villeurbanne disposent, en plus de laboratoires, d'un hall hydraulique. Cette plateforme expérimentale de 300 m² possède deux canaux de 18m de long : le « canal large » et le « canal inclinable » ont des largeurs respectives de 3m et 1m. Le premier représente une rivière à l'échelle 1/100 et se divise en trois parties : le lit mineur au centre et le lit majeur de part et d'autre. De la fausse herbe ou des faux arbres peuvent être disposés sur le lit majeur pour observer l'effet de l'occupation du sol en plaine d'inondation sur le débordement de la rivière. Le deuxième canal est plus spécifiquement dédié à l'étude du transport sédimentaire. Les simulations effectuées dans ces canaux peuvent venir appuyer des modélisations numériques ou compléter, voire remplacer, des expériences sur le terrain. Ces grands canaux présentent la particularité d'être entièrement vitrés permettant ainsi de suivre les écoulements par mesure optique. Sur la Figure 1, le canal large est au premier plan et le canal inclinable au second plan.



© Irstea / T. Fournier

Figure 5 : Hall hydraulique du site de Lyon-Villeurbanne

Présentation du stage

Le stage est effectué dans le cadre de l'OSR (Observatoire des Sédiments de Rhône), un programme de recherche visant la production et le rassemblement des données propres au transport sédimentaire du Rhône. Des scientifiques de l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire), d'Irstea ou encore du CNRS (Centre national de la recherche scientifique) collaborent avec des gestionnaires du fleuve comme l'Agence de l'eau, la CNR (Compagnie Nationale du Rhône) ou EDF (Electricité de France) au sein de cet observatoire.

En transport sédimentaire, on distingue les MES qui sont les sédiments en suspension dans le cours d'eau, des sédiments plus grossiers charriés sur le fond du lit. L'une des missions de l'OSR est le suivi des flux de MES le long du Rhône et ses affluents. Pour ce faire, différentes stations instrumentées sont réparties sur le fleuve et les rivières. Le programme étudie tout autant les concentrations de MES que leur composition et les contaminants qu'ils transportent. En effet, c'est via les MES que transitent, au sein des cours d'eau, de nombreux contaminants comme les PCB ou le mercure. Leur suivi donne donc des informations sur la dynamique des flux de

contaminants le long du fleuve, du Lac Léman à la Méditerranée. Ce suivi des MES fait l'objet de missions sur le terrain où les opérateurs recourent à différentes manipulations, la plus simple étant le prélèvement manuel d'eau de la rivière ou du fleuve suivi d'une filtration pour séparer les sédiments et l'eau claire. Cette méthode présente l'inconvénient de ne collecter que très peu de sédiments, rendant les analyses de contaminants difficiles. Des méthodes plus robustes existent également. La première est appelée la centrifugation : une partie du débit du fleuve alimente une centrifugeuse qui sépare les MES et l'eau claire grâce à la force centrifuge. Les MES sont ensuite récupérés par l'opérateur à la fin des 4h de manipulation pour être analysés. Il a été montré par des travaux précédents que les MES centrifugées étaient représentatives de celles de l'écoulement du cours d'eau. Cette représentativité se traduit par une granulométrie identique : les proportions des différentes tailles de MES sont conservées. Une autre méthode de prélèvement de MES est utilisée au sein de l'OSR : des pièges à particules (PAP) sont immergés en berge le long du Rhône et ses affluents. Le PAP est une boîte en inox 316 possédant deux ouvertures circulaires permettant l'entrée et la sortie de l'eau (Figure 2 et 3). A l'intérieur, une surverse et une souverse (lamelles ou cloisons) permettent la sédimentation des MES qui se déposent dans deux bacs que l'opérateur peut ensuite prélever. A la différence de la première méthode, les PAP sont constamment immergés et intègrent donc les flux de MES de toute la durée entre deux déplacements de l'opérateur (1 mois). Bien moins coûteux et fragile qu'une centrifugeuse, les PAP sont également plus faciles d'entretien, d'utilisation, de déploiement et ne nécessitent pas de protection extérieure particulière. Grâce à ses nombreux avantages, le PAP est déployé dans de nombreuses stations sur le Rhône et ses affluents. La station de Jons (69) est équipée d'une centrifugeuse et d'un PAP mais les analyses granulométriques des deux méthodes donnent des résultats différents. Le PAP semble notamment trouver des grains plus grossiers en proportion que la centrifugeuse. Les données de la centrifugeuse ayant été validées, il convient d'étudier plus en détail le PAP pour affiner ses données, vérifier la représentativité et conseiller sur son utilisation pour continuer son déploiement.

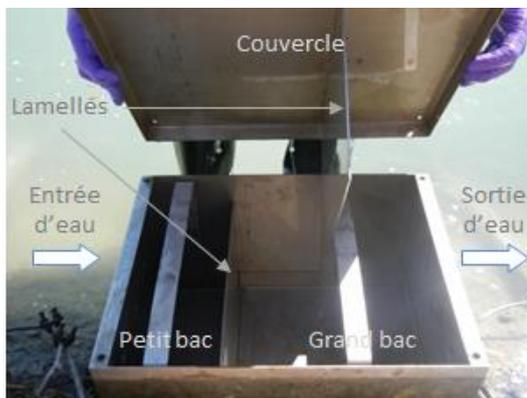


Figure 6 : Photo du PAP

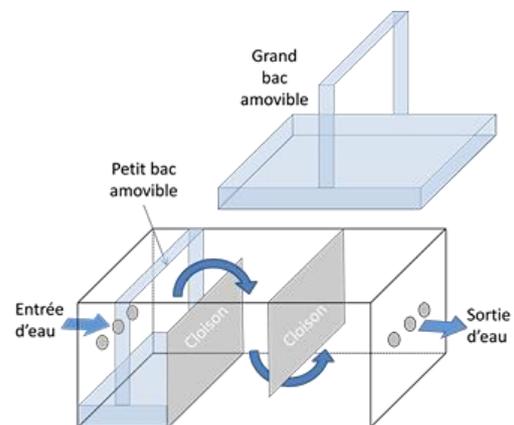


Figure 7 : Schéma du PAP

Dans ce contexte, le stage consiste en l'évaluation des performances du PAP. L'objectif du stage est de mieux comprendre le fonctionnement du piège via des manipulations en milieu contrôlé mettant en lumière l'effet de différents paramètres expérimentaux. La compréhension de son fonctionnement doit permettre de préciser sous quelles conditions et en dans quelles mesures les analyses du PAP sont conformes ou non. Le débit, les dimensions du PAP, la concentration, la granulométrie ou la méthode d'alimentation sont autant de paramètres que l'on souhaite tester pour voir apparaître ou non des tendances dans la représentativité des MES piégées et la capacité du PAP à capter les MES (ou efficacité) qui sont ses deux performances principales. Les manipulations sont réalisées au sein du hall hydraulique sur un banc d'essai à concevoir. Pour

s'affranchir des conditions de l'écoulement à l'AM du PAP et notamment de la modification de l'écoulement entraîné par sa présence, une « alimentation directe » du PAP est conseillée et permettra d'obtenir les performances propres du PAP. La présence du canal inclinable pourra permettre, via d'autres expériences, de renseigner sur les performances du PAP dans son milieu et apporter ainsi des renseignements supplémentaires aux performances propres du PAP.

Présentation de l'état de l'art

Une étude du fonctionnement des PAP dans le canal hydraulique a été menée de 2015 à 2017 à l'Irstea et est résumé dans le rapport *Etude du fonctionnement des pièges à particules dans le canal hydraulique* (1). Ce rapport indique que la différence entre les granulométries collectées par le PAP et centrifugées serait due à une absence de sédiments fins dans le PAP. Il préconise également l'alimentation directe via le branchement d'un tuyau directement à l'entrée du PAP pour en étudier les performances propres. Pour arriver à ces conclusions, 3 jeux d'expériences ont été menés avec un ou plusieurs PAP, de taille variable et différents sédiments. D'autres préconisations sont à relever comme l'utilisation de sédiments représentatifs de ceux du Rhône et le placement du PAP sur une berge en canal plutôt qu'un arrimage.

L'assimilation du sujet est également passée par la lecture de la version soumise d'un article d'un collaborateur d'Irstea (2) sur le prélèvement d'échantillons de MES par des PAP sur le Rhône et la représentativité des contaminants associés par comparaison avec la méthode de centrifugation, prise comme référence. D'autres documents techniques des concepteurs du PAP, ou relatifs à un autre piège cylindrique sans cloison utilisé dans des stations de l'OSR non gérées par l'Irstea viennent compléter les ressources écrites de l'état de l'art. Des réunions avec des hydrauliciens et chimistes de l'institut ont également eu lieu permettant d'appréhender la centrifugation et d'aider à la mise en œuvre du banc d'expérience.

Ma connaissance de l'état de l'art s'est poursuivie tout au long du stage, notamment avec des missions sur le terrain impliquant une centrifugation et des prélèvements de PAP sur le Rhône, la Saône, l'Isère, le Giers, l'Ardèche et la Drôme.

Corps technique du rapport

Mise en place du banc d'essai

L'outil mis à disposition pour analyser les granulométries au cours de ce stage est un granulomètre laser LISST 200X (Figure 4) capable de mesurer la distribution granulométrique et la concentration d'un volume d'eau chargé en sédiments. Il peut être utilisé comme un appareil de laboratoire ou *in situ*, directement dans un cours d'eau. Pour des raisons expérimentales, l'idée initiale de l'utiliser *in situ* sur le banc d'essai sera abandonnée au profit d'une utilisation de type laboratoire. Le LISST est capable de donner de nombreux renseignements comme le diamètre de grain médian, la profondeur, la concentration totale et de chaque classe de diamètre, la température ... Il est commandé et alimenté via un logiciel et un ordinateur. *In situ*, il peut s'utiliser avec des batteries fournies.



Figure 8 : LISST

Un premier banc d'essai et protocole ont été pensés. Des tests de plusieurs parties du banc ont été réalisés après la réception du matériel commandé. Certaines parties ont été gardées comme le maintien en suspension des sédiments par les pompes. D'autres ont été invalidées comme la mesure du débit par débitmètre et la mesure *in situ* du LISST. Le protocole et le banc d'essai se sont affinés au fur et à mesure des tests

Finalement, le banc d'essai (Figure 5) utilisé pour les expériences se constitue de plusieurs parties :

-la cuve est la réserve d'eau qui alimente le reste du banc d'essai. Sa contenance maximale est de 1000 litres. Selon les besoins de l'expérience, elle sera plus ou moins remplie d'eau à laquelle seront ajoutés des sédiments en quantité et taille variables. Des pompes assurent la mise en mouvement du contenu de la cuve et le maintien des sédiments en suspension.

-le transport de l'eau du banc est assuré par des tuyaux d'arrosage munis de robinets pour permettre des prélèvements. Après amorçage des tuyaux, l'eau circule dans le banc en gravitaire sans nécessiter de pompes d'alimentation.

-le PAP, en aval de la cuve, est alimenté par les tuyaux.

-une balance et un chronomètre permettent de relever le débit au cours de l'expérience. La balance est en aval du PAP.

-Le LISST n'est pas relié au circuit d'eau mais servira après l'expérience pour analyser les prélèvements.

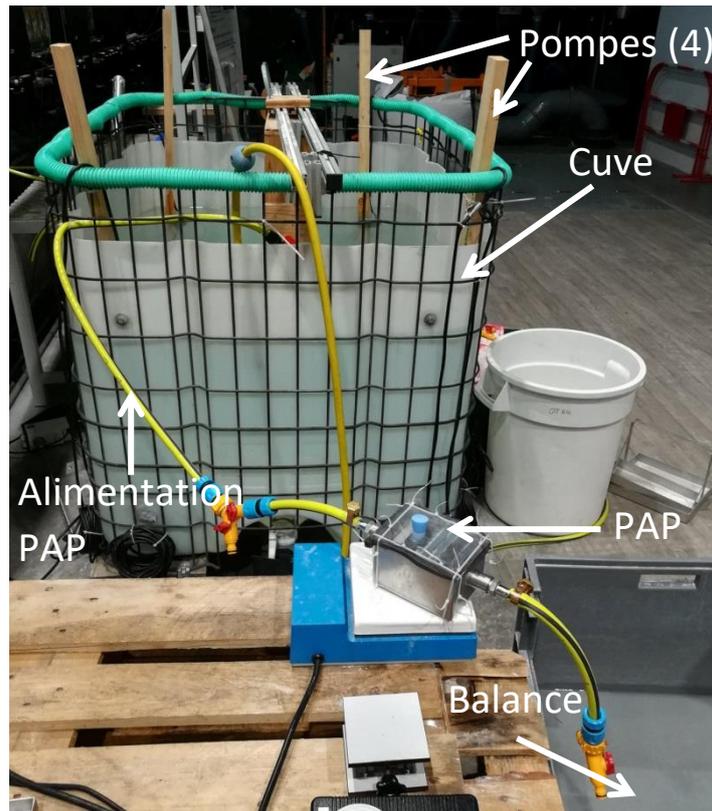


Figure 9 : Banc d'essai

Expériences, points de fonctionnement et paramètres

Au cours de chaque expérience (E) d'une durée approximative de 2h, un débit circule de la cuve à la balance en passant par le PAP. Chaque expérience est caractérisée par un ensemble de paramètres fixes et un paramètre variable. A chaque valeur de ce paramètre variable correspond un point de fonctionnement (PDF) différent de l'expérience. Ces points de fonctionnement sont numérotés à partir de 1, par exemple, si 4 débits sont testés au cours de l'expérience, les 4 points de fonctionnement de l'expérience sont notés Q1, Q2, Q3 et, Q4. Ainsi, on recherche différents PDF dans chaque expérience (modification du débit, de la concentration) pour étudier l'effet du paramètre variable.

Liste des paramètres :

Débit et vitesse : Le débit se règle en ajustant les hauteurs relatives de la surface libre de l'eau contenue dans la cuve, du PAP et de la sortie du tuyau AV. Une fois un débit convenable trouvé, sa modification se fait via les positions des robinets. Le calcul et le suivi temporel du débit s'effectue en divisant la masse d'eau récoltée dans le bac sur la balance par la durée durant laquelle elle est récoltée. Le calcul de la vitesse d'entrée dans le PAP s'effectue en divisant le débit par l'aire de la section d'entrée. Cette section est mesurée dans la pièce reliant le PAP au tuyau.

Concentration : La concentration de MES s'effectue et s'approche par la masse de sédiments mise dans la cuve et la quantité d'eau. Malgré la présence des pompes de recirculation, la suspension est imparfaite et la concentration en MES du mélange à l'entrée du PAP est inférieure à la concentration théorique. Elle varie également au cours de l'expérience avec des fluctuations temporelles et une suspension dans la cuve qui diminue avec la durée de l'expérience. Pour l'E20 dans laquelle la concentration change pour chaque point de fonctionnement, la modification se

fait par une vidange partielle de la cuve suivie d'une addition d'eau claire pour retrouver la même hauteur d'eau sans toucher au reste du banc (le débit est ainsi conservé). Des prélèvements d'eau à l'AM et l'AV du PAP passés au LISST permettent de suivre la concentration.

Granulométrie : On utilise pour nos expériences deux types de sédiments. Les premiers de distribution granulométrique dite « granulométrie 1 », sont relativement bien triés et plutôt grossiers. A l'inverse, la granulométrie dite 2 est fine et étalée (Figure 6). Les diamètres médians sont respectivement d'environ 60 et 20 microns. On combine parfois les granulométries 1 et 2 pour donner une granulométrie 1+2 encore plus étalée et dont le diamètre médian dépend de la proportion de chaque granulométrie. Sur le terrain, à Jons, le diamètre médian relevé par les expériences est de 20 microns.

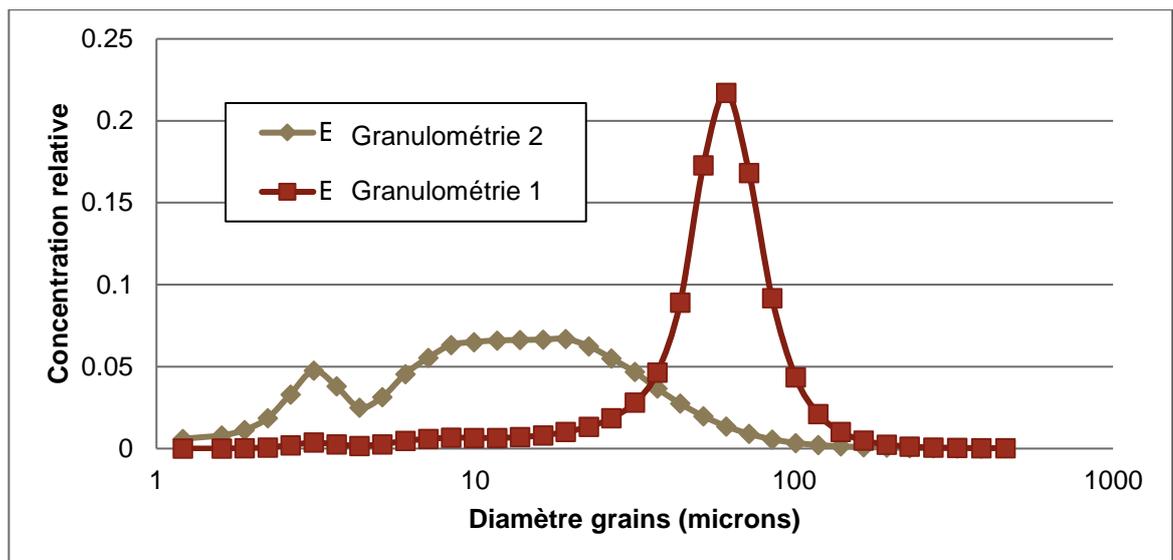


Figure 10 : Distribution granulométrique relative des granulométries 1 et 2 (PM-AM)

Modèle du PAP : on possède deux PAP (Figure 7), le premier PAP-réel est identique à ceux utilisés sur le terrain. Ses dimensions sont les suivantes : 40x30x25 cm. Comme sur le terrain, une seule entrée et sortie sont ouvertes sur les trois disponibles. On possède également un PAP-mini dont toutes les longueurs sont divisées par 3 sauf les diamètres d'entrée et sortie identiques. On ne change pas de PAP au sein d'une expérience.



Figure 11 : PAP-réel et PAP-mini

Protocole

Le protocole consiste, pour chaque point de fonctionnement, à effectuer 6 prélèvements manuels (via les robinets) en 2 lieux différents : 3 en aval du piège, 3 en amont, et à 3 instants : à un instant donné t_0 , puis 5 minutes plus tard à t_5 et à un autre instant quelconque entre les deux précédents, noté t_2 . Les 6 prélèvements sont donc AM- t_0 , AV- t_0 , AM- t_2 , AV- t_2 , AM- t_5 , AV- t_5 .

Les paragraphes suivants résument le traitement des prélèvements manuels, la Figure 8 schématise ce traitement. Les données à droite en surbrillance jaune clair sont propres aux PDF tandis que les données de gauche en surbrillance grise sont relatives aux expériences et intègrent donc les données de tous les PDF de l'expérience en question. La notation indicielle reprend les termes définis dans le glossaire.

On mesure le volume des prélèvements à t_2 avant de les filtrer pour obtenir la masse de sédiments et calculer ainsi les concentrations totales AM et AV de chaque point de fonctionnement. En les comparant, on obtient une efficacité totale par point de fonctionnement. On peut ensuite les comparer pour voir l'effet, sur l'efficacité totale, du paramètre variable au sein de cette expérience. L'adjectif « totale » signifie ici que tous les diamètres de grains sont pris en compte à la différence du qualificatif « par classes » qui sépare les diamètres.

Les prélèvements à t_0 et t_5 sont mesurés par le LISST. Pour ce faire, une boîte cubique transparente possédant une ouverture circulaire du diamètre du LISST est fournie. On verse le contenu de chaque prélèvement, après en avoir mesuré le volume, dans la boîte contenant au préalable un volume d'eau claire mesuré et compris entre 800 et 850 ml afin de remplir la boîte et de permettre la mesure par le LISST inséré dans la section circulaire. En effet, les PM ont des volumes de l'ordre de 100 ml, trop faibles pour atteindre la cellule du LISST avec ce dispositif. Un agitateur magnétique et un barreau aimanté maintiennent les sédiments en suspension durant la mesure. On obtient ainsi, pour chaque prélèvement sa distribution granulométrique absolue : la concentration de chaque classe de diamètre de grains (en $\mu\text{l/l}$) en fonction du diamètre médian de la classe (microns). En effet, le LISST répartit le logarithme des diamètres de 1 à $500\mu\text{m}$ en 36 classes de même taille, chaque classe étant identifiable par son diamètre médian. La distribution granulométrique absolue donnée par le LISST est celle du PM dilué dans l'eau claire. On revient à celle du PM seul en appliquant un facteur de dilution basé sur la mesure des volumes

du PM et de dilution. En comparant, pour un même point de fonctionnement, la distribution granulométrique AM et AV au même instant t_0 ou t_5 , on obtient l'efficacité de piégeage pour chaque classe de grains. En traçant ces efficacités en fonction du diamètre médian de chaque classe, on obtient une courbe appelée « efficacité par classes » à t_0 et t_5 . L'efficacité par classe nous renseigne sur la capacité du piège à capter chaque taille de sédiments et fournit donc un renseignement sur la représentativité du piégeage. On vérifiera que ces efficacités par classes sont similaires aux deux instants t_0 et t_5 d'un même PDF. On vérifiera aussi que les distributions granulométriques le sont. Afin de n'avoir qu'une seule courbe d'efficacité par classes par PDF, il nous faut moyenner les efficacités de t_0 et t_5 . L'efficacité par classes d'un point de fonctionnement est la moyenne, pour chaque classe, des efficacités de ce point de fonctionnement à t_0 et t_5 , pondérée par le flux de sédiments AM aux instants t_0 et t_5 . Le débit d'eau n'évoluant pas entre t_0 et t_5 , on admet qu'une pondération par les concentrations en sédiments AM suffit. Ces concentrations sont celles des distributions granulométriques absolues précédemment mesurées et recalculées via le facteur de dilution. De même que pour les efficacités totales précédemment, on peut comparer les efficacités par classes entre elles au sein d'une même expérience pour voir l'effet du paramètre variable. Il est également possible d'intégrer les efficacités par classes sur l'ensemble des diamètres pour obtenir une efficacité totale (B). Concrètement, cela revient à faire une moyenne des efficacités de chaque classe pondérée par les concentrations absolues AM de chaque classe. Ces efficacités totales (B) issues des données du LISSST sont à comparer aux efficacités totales (A) issues de la filtration des PM-t2. On compare ainsi des valeurs issues de PM différents ayant subis des traitements différents.

Remarque 1 : L'intérêt de réaliser deux prélèvements t_0 et t_5 est de vérifier que l'on a bien atteint un régime stationnaire suite à la modification du paramètre variable. On vérifie que le système n'évolue plus en comparant les distributions granulométriques et les efficacités par classes aux deux instants.

Remarque 2 : En divisant la concentration absolue de chaque classe par la somme des concentrations absolues sur l'ensemble des classes (une concentration totale), on obtient la concentration relative (ou normée) de chaque classe : la somme des concentrations est alors de 1. En les traçant en fonction du diamètre médian de chaque classe, on obtient la distribution granulométrique relative (ou normée), permettant de comparer, en proportion, des PM dont la concentration totale diffère.

A la fin de l'expérience, le contenu de chacun des deux bacs du piège est pesé et/ou passé au LISSST. On peut ensuite comparer les distributions granulométriques relatives des deux bacs. La quantité pesée, combinée à la donnée AM, permet de remonter à l'efficacité totale moyenne. Par moyenne, on entend ici une intégration sur tous les points de fonctionnement de l'expérience. En effet, contrairement aux PM qui sont propres à des points de fonctionnements, le contenu du PAP intègre tous les points de fonctionnements d'une expérience. Cette efficacité totale moyenne (B), ou efficacité moyenne (B), est le rapport entre la masse des sédiments piégés dans les bacs du PAP et la masse des sédiments entrés dans le piège (ou masse passée à l'AM du PAP). Cette dernière masse est la somme des masses de sédiments passés par l'amont du piège pour chaque PDF, c'est-à-dire la somme des produits $C_{AM,j}^{t_2} * Q_j * t_j$ de chaque point de fonctionnement j . Cette efficacité moyenne (B) peut se comparer à l'efficacité moyenne (A) obtenue à partir des efficacités totales de chaque point de fonctionnement (issues de t_2) qui est la moyenne de ces efficacités, pondérée par les masses passés par l'AM pour chaque classe.

Ainsi, pour chaque point de fonctionnement de chaque expérience, on obtient au maximum une courbe d'efficacité par classe (moyenne de t0 et t5) et deux efficacités totales : (A) par filtration issue de PM-t2 et (B) par intégration de l'efficacité par classes issue de PM-t0 et PM-t5. De même, on obtient au maximum pour chaque expérience, deux efficacités moyennes (B) par le flux AM et la masse du piège et (A) avec la moyenne pondérée des efficacités totales).

Remarque 3 : Dans certaines des expériences menées, la masse dans le piège n'a pas été relevée.

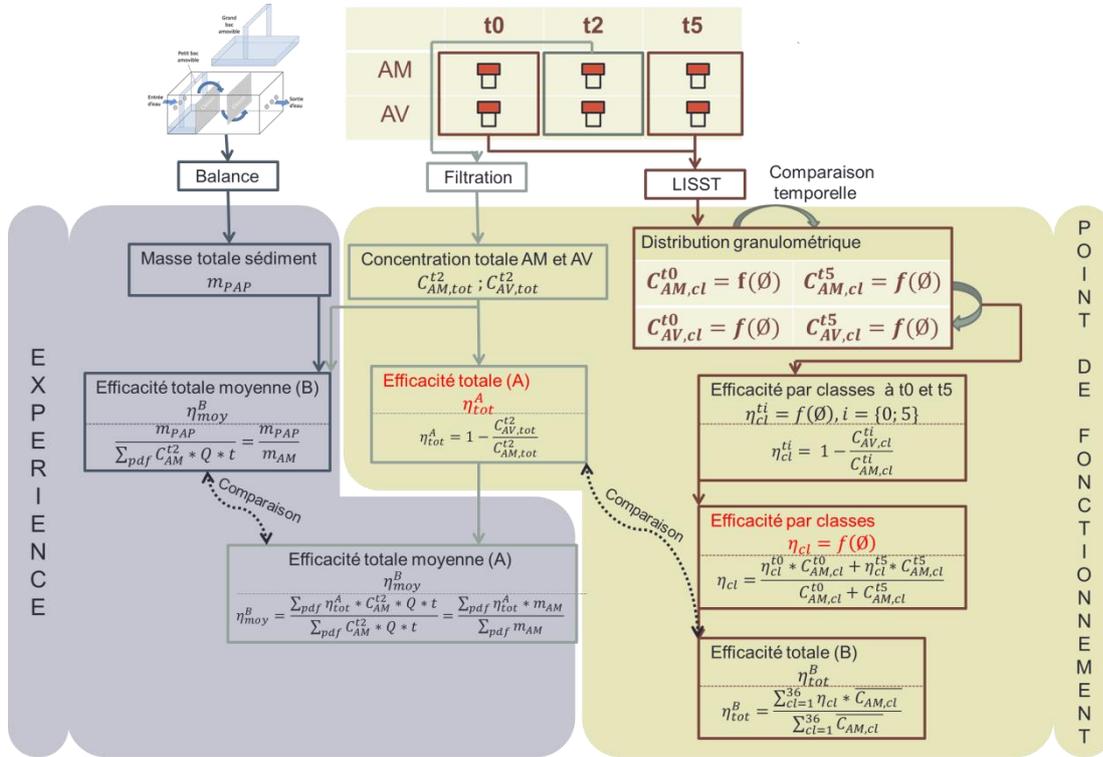


Figure 12 : Schéma d'obtention des efficacités

Finalement, nous avons désormais deux outils permettant d'évaluer les deux performances principales du piège : l'efficacité par classes permet de juger la représentativité du piégeage et l'efficacité totale, la capacité du piège à capter des sédiments.

Plan d'expériences

Chaque expérience a permis l'acquisition de nouvelles données et tendances impliquant d'autres expériences à mener pour élargir ou vérifier les observations. Tout d'abord, différents débits ont été testés, puis il s'est avéré intéressant de modifier la granulométrie, puis le modèle du PAP et la concentration. Le bilan des expériences menées est résumé dans le plan d'expérience Tableau 1 ci-après.

inc : valeur inconnue

inex : valeur inexistante

Numéro de l'E	14				15				16				17				18				19				20			
Modèle PAP	PAP-mini				PAP-mini				PAP-mini				PAP-réel				PAP-réel				PAP-réel				PAP-réel			
Granulométrie	1				1				2				2				1+2				1+2				1+2			
Paramètre variable	V et Q				V et Q				V et Q				V et Q				V et Q				V et Q				C			
Alimentation	directe				directe				directe				directe				directe				directe				directe			
Intérêt	Avoir une première approche				Augmenter la vitesse				Elargir la granulo				Comparer PAP-mini et PAP réel				Elargir les données du PAP-réel								Voir l'effet de la concentration			
m PAP (g)	3,86				29,1				356				inc				518,42				334,79				inex			
Efficacité moy (A)	0,97				0,62				0,14				0,47				0,67				0,71				inex			
Efficacité moy (B)	0,15				0,99				0,40				inc				0,47				0,64				inex			
PDF	Q1	Q2	Q3	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	C1	C2	C3	C4	
Débit (L/min)	1,1	0,67	0,35	2,8	2,2	1,8	1,5	3,3	2,6	1,2	0,67	2,9	2,3	1,9	0,99	2,9	2,3	1,9	0,98	2,8	2,3	1,8	1,1	1,98	1,98	1,98	1,98	
V (cm/s)	21	14	7	54	42	35	29	66	51	24	15	57	44	37	19	57	46	37	19	55	44	36	21	39	39	39	39	
t (min)	20	20	30	25	15	20	15	33	31	16	16	22	22	10	10	28	31	26	25	23	19	20	26	inc	inc	inc	inc	
C AM LISST moy t0&t5 (g/L)	0,45	0,24	0,20	0,18	0,11	0,066	0,065	4,9	5,0	7,5	8,2	4,3	4,4	4,1	9,2	5,2	4,9	5,2	0,46	3,8	3,6	6,2	11	4,3	1,3	0,71	0,31	
C AM filtration t2(g/L)	0,90	0,26	0,29	0,28	0,12	inc	0,10	3,9	3,5	5,1	7,2	3,4	3,1	2,8	7,4	3,8	3,3	3,4	9,8	2,9	2,5	3,2	3,9	2,89	0,99	0,76	0,42	
Efficacité tot (A)	0,97	0,99	0,96	0,59	0,59	inc	0,77	0,036	0,081	0,34	0,66	0,38	0,44	0,42	0,81	0,61	0,59	0,67	0,94	0,64	0,65	0,79	0,80	0,67	0,59	0,82	0,88	
Efficacité tot (B)	0,92	0,95	0,95	0,51	0,71	0,48	0,40	0,024	0,073	0,37	0,52	0,35	0,38	0,38	0,77	0,51	0,53	0,61	0,61	0,53	0,57	0,81	0,89	0,63	0,51	0,69	0,76	

Tableau 1 : Bilan des expériences menées

Résultat des expériences banc d'essai

Ci-après, sont détaillés les résultats des expériences.

Distribution granulométrique des PM

Sur la Figure 9 sont tracées les distributions granulométriques relatives des 4 prélèvements : E14-Q1-t0-AM, E14-Q1-t0-AV, E14-Q1-t5-AM et E14-Q1-t5-AV. Pour une même position AM ou AV, les courbes t0 et t5 sont très proches. Les courbes AM (bleue et verte) sont plus à droite que les courbes AV (rouge et violette) ce qui signifie que la proportion de gros grains est plus importante à l'AM qu'à l'AV. Cette remarque va dans le sens d'une non-représentativité des grains piégés en faveur d'une surabondance de grains grossiers captés (donc non visible à l'AV).

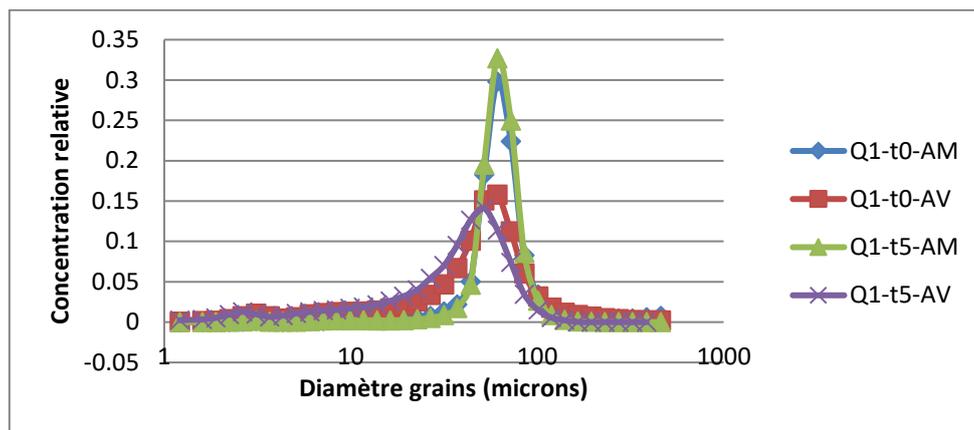


Figure 13 : Distribution granulométrique relative E14-Q1

Sur la Figure 10 sont tracées les distributions granulométriques absolues des 4 prélèvements précédents. Les courbes t0 et t5 sont également très proches pour une même position AM ou AV. Les courbes AM (bleue et verte) sont situées au-dessus des courbes AV (rouge et violette) ce qui signifie que le piège a bien capté de la masse entre les deux points de prélèvements AM et AV. Pour certaines classes on constate que la quantité AM est inférieure à la quantité AV ce qui peut le plus souvent s'expliquer par une limite d'acquisition du LISST (concentration trop faible donc incertitudes importantes). Nous nous affranchirons par la suite de ce problème en définissant un ensemble de classes sur lesquelles travailler pour chaque granulométrie injectée. Pour les granulométries (1) et (2), l'ensemble des classes d'étude, donné par les diamètres médians en micron est respectivement [37,2 ; 119] et [2,63 ; 37,2]. Ces plages de valeurs correspondent aux classes présentes en suffisamment grande quantité dans l'écoulement.

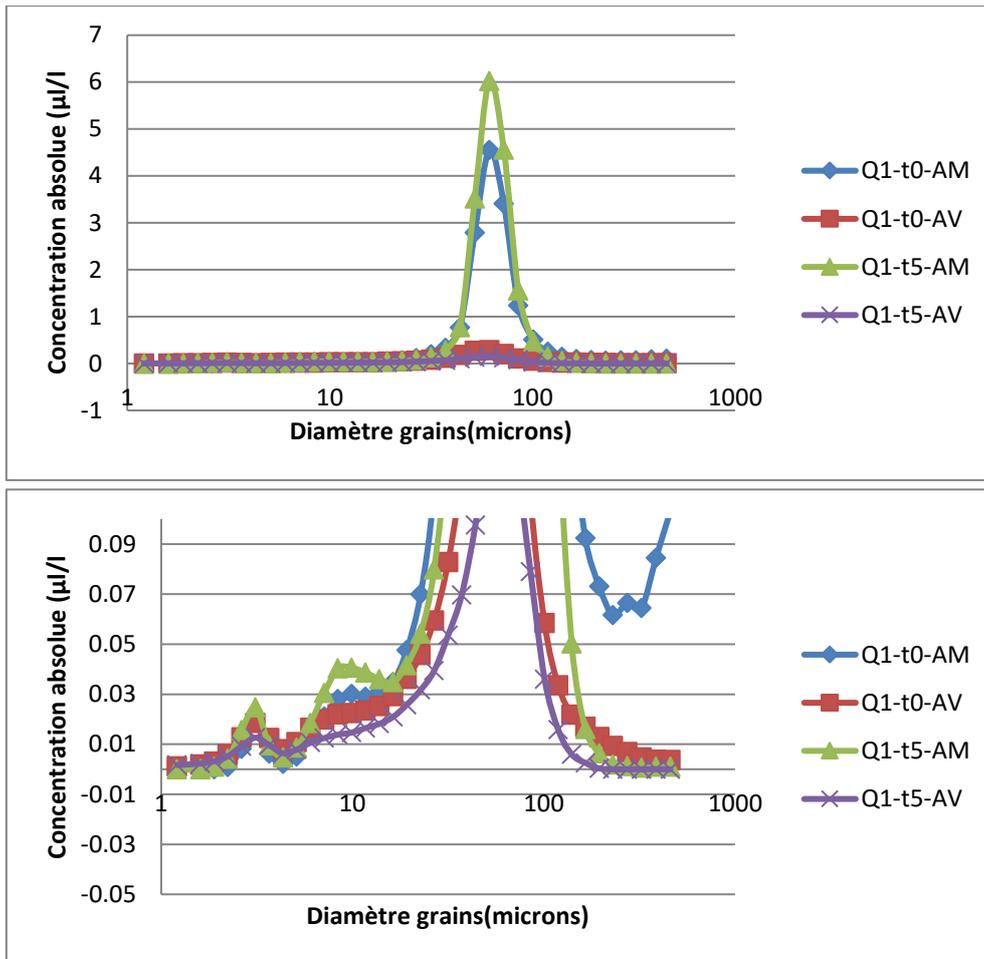


Figure 14 : Distribution granulométrique absolue E14-Q1 avec zoom basse concentration

Les remarques précédentes sur les distributions granulométriques relatives et absolues, notamment sur les comparaisons AM et AV, données pour le premier PDF de l'E14, sont également remarquées pour les autres PDF de cette expérience et des suivantes. Ces autres distributions ne nous fournissant pas de nouvelles informations, nous ne les présentons pas.

Efficacité par classes

On compare sur la Figure 11 les efficacités par classes de E14, E15 et E16 car ces expériences sont réalisées avec le même PAP-mini. L'E15 augmente la plage de débit de l'E14 et l'E16 augmente la plage de diamètres de grains pris en compte avec la granulométrie 2. Deux PDF de l'E15 sur lesquels de nombreux doutes étaient présents sont supprimés (détail en Annexe 1).

Les efficacités par classes sont globalement croissantes (en fonction du diamètre des grains). Cela signifie que les grains grossiers sont mieux piégés que les plus fins et va dans le sens d'une non-représentativité des grains piégés en faveur d'une surabondance de grains grossiers captés (déjà prédite avec les distributions granulométriques relatives).

Une autre tendance semble se dégager : plus la vitesse dans la section circulaire d'entrée est faible, plus la courbe d'efficacité par classe est haute, donc plus l'efficacité est grande. Cela se comprend par le fait qu'une vitesse moindre laisse plus de temps à la sédimentation des grains et donc une

plus grande probabilité de piégeage des sédiments. Cette observation se remarque autant pour les E14+15 que pour l'E16.

On fait également les remarques suivantes sur la position des courbes : la courbe à 0,54 m/s en granulométrie grossière (cyan) rejoint quasiment la courbe à 0,51 m/s de granulométrie fine (rouge) ; même constat entre 0,21 m/s en grossière (lavande) et 0,24 m/s en fine (verte) ; les courbes de grossières à vitesse inférieure ou égale à 0,13 (la vert claire à 0,07 et la rose à 0,13 m/s) viennent se placer légèrement plus haut que la courbe de fine à 0,13 m/s (violet). Ces remarques montrent qu'ici, l'efficacité par classes ne semble pas dépendre de la granulométrie injectée mais uniquement de la vitesse (un grain d'un diamètre donné sera piégé de la même manière qu'il soit injecté dans un ensemble de grains grossiers ou fins, à la même vitesse).

Enfin, une dernière remarque concerne la forme des courbes. Un plateau à efficacité faible est présent pour les plus petits diamètres sur les 4 vitesses de l'E16. Ce plateau montre que sous un certain diamètre, tous les grains ont quasiment la même efficacité et que celle-ci est très faible. De même, un plateau à forte efficacité se dessine pour les diamètres de grains grossiers des E14+15. Au milieu, une partie linéaire semble rejoindre les deux plateaux. Une forme type de l'efficacité par classes semble se dégager ici.

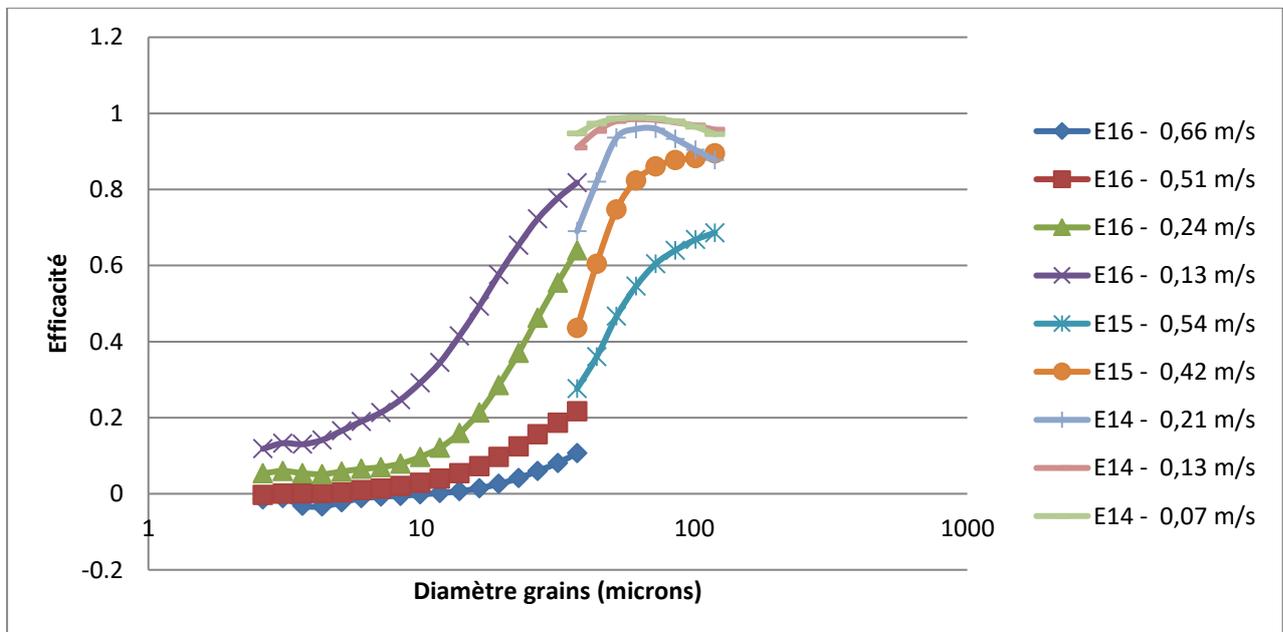


Figure 15 : Efficacité par classes (E14, E15 et E16)

On compare les efficacités par classes de E16 et E17 pour voir l'effet du modèle du PAP pour une même granulométrie (Figure 12). Les courbes étant tracés sur la même échelle, on peut comparer les hauteurs. On remarque que, pour l'ensemble des vitesses, à une classe donnée, l'efficacité est meilleure lors de l'E17 (PAP-réel) que lors de l'E16 (PAP-mini). Cela s'explique par les dimensions du piège. Le PAP-mini est à l'échelle 1/3, sauf pour la section d'entrée, identique pour les deux PAP. Ainsi, pour une même vitesse d'entrée, la chute de vitesse lors du passage de la section d'entrée à la section du PAP sera 9 fois plus grande pour le PAP-réel car les dimensions étant 3 fois plus grandes, l'aire de la section est 9 fois plus grande, à débit constant. Cette diminution de vitesse plus importante laisse plus de temps aux sédiments pour se déposer dans les bacs et donc, une meilleure efficacité. Finalement, seule la vitesse la plus faible de 0,13

m/s de E16 atteint une efficacité de 0,7 tandis que cette valeur est atteinte pour les 4 vitesses (de 0,19 à 0,57 m/s) de l'E17.

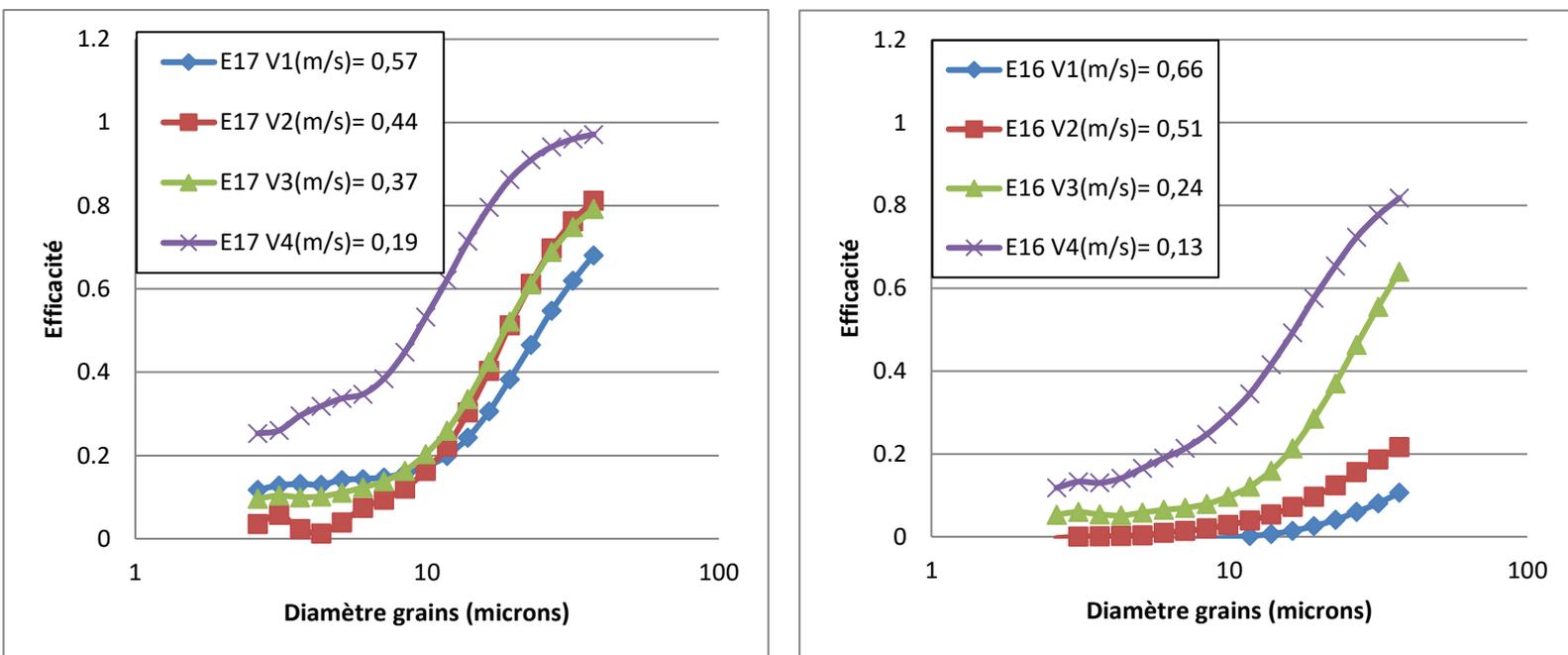


Figure 16 : Efficacité par classes E17 (gauche) et E16 (droite)

L'objectif initial des E18 et E19 était de comparer, pour des vitesses égales, l'effet de la concentration sur l'efficacité par classes. Finalement, la concentration n'aura pas variée suffisamment entre ces deux expériences pour en tirer une tendance. La Figure 13 représente ces efficacités par classes en précisant, pour chaque courbe, sa vitesse à l'entrée du PAP et sa concentration AM obtenue par filtration. Les 4 vitesses (en m/s) visées sont 0.6 (bleu), 0.5 (rouge), 0.4 (vert) et 0.2 (violet). Pour chaque paire de courbe, la seconde est un peu plus concentrée que la première, et même beaucoup plus pour la V4. On remarque que les courbes de même vitesse (donc de même couleur) restent groupées deux à deux, sans croiser les autres groupes. Cela montre que la vitesse semble davantage piloter la position des courbes que la concentration. De plus, on ne constate pas de tendance nette de la position des courbes en fonction de la concentration. En effet, pour V1 et V4, on n'observe des croisements entre les deux courbes de même vitesse et pour V2 et V3, une concentration plus élevée entraîne une efficacité moindre. On note que pour la dernière courbe, sa forme et sa concentration très différentes des autres ne peut pas traduire à elle-seule une tendance induite par la concentration, elle n'est pas moyennée sur t_0 et t_5 car seul un PM la caractérise. Une autre expérience (E20) a pour objectif de clarifier l'effet de la concentration.

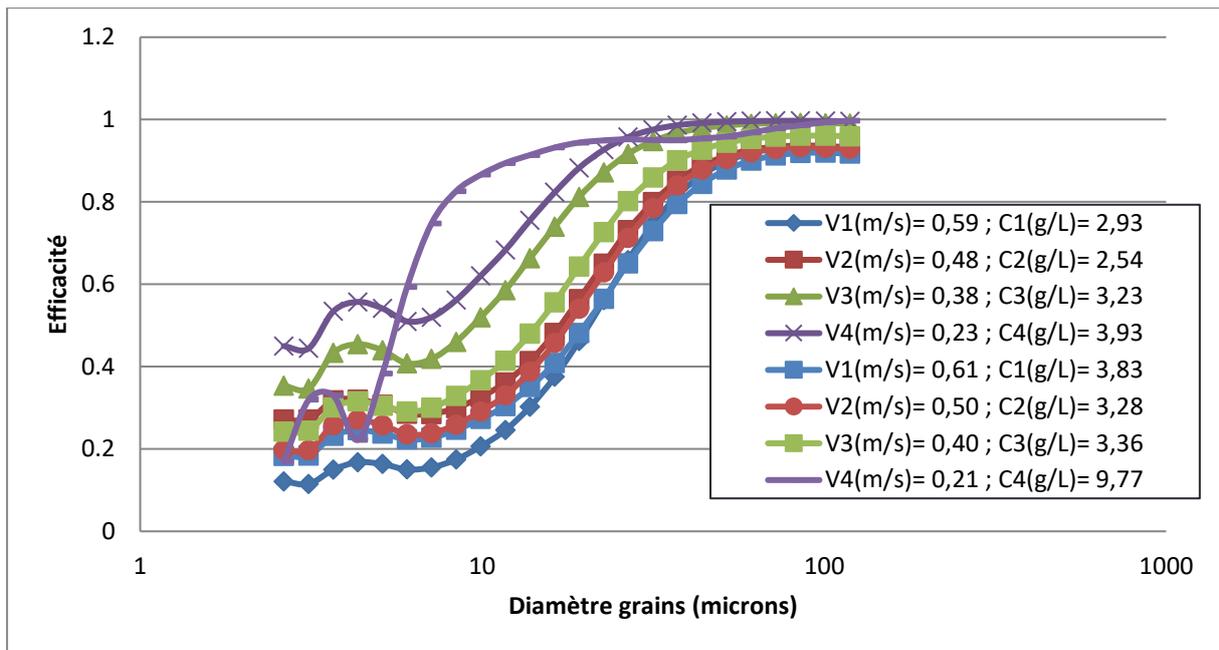


Figure 17 : Efficacité par classes E18 et E19

L'expérience 20 utilise la concentration comme paramètre variable de ses PDF et non pas la vitesse et le débit comme les expériences précédentes, qui sont ici fixes. La principale observation que l'on remarque sur la Figure 14 est la superposition globale des courbes d'efficacité par classes. On n'observe également l'absence de tendance de la position des courbes en fonction de la concentration. Cette figure nous apprend donc que la concentration, sur la plage sur laquelle elle est testée, ne semble pas avoir d'effet sur les valeurs d'efficacité par classes. Cette superposition semble également indiquer qu'une certaine répétabilité s'observe pour une même vitesse.

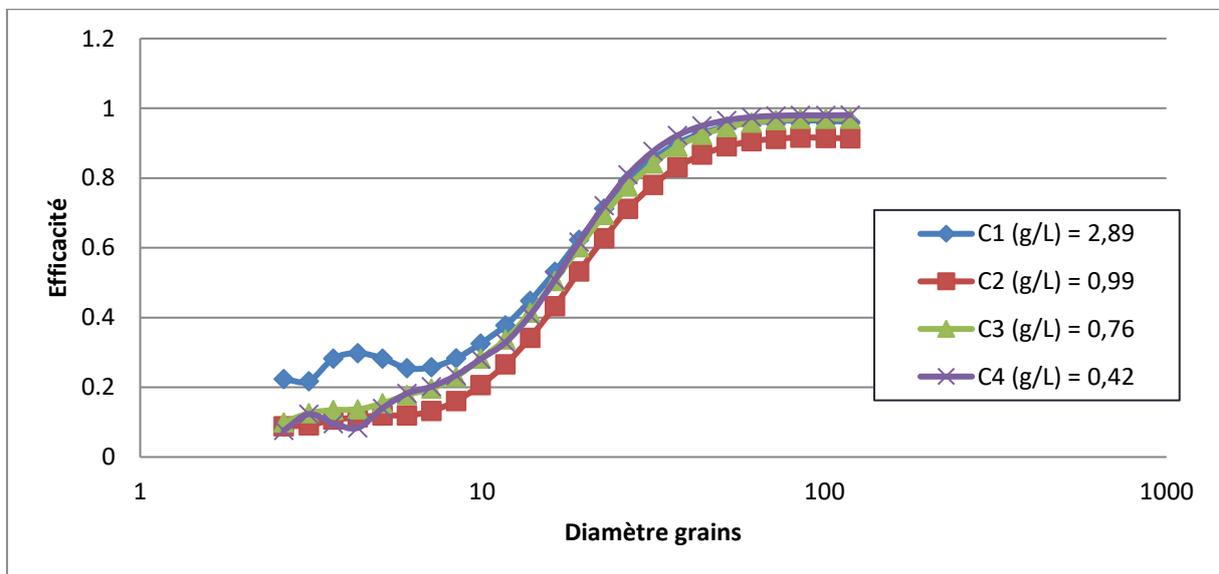


Figure 18 : Efficacité par classes E20

Efficacité totale

On trace les efficacités totales (A) et (B) en fonction de la vitesse d'entrée dans le PAP des expériences 14 à 19 sur la même Figure 15 car celles-ci ont toutes la vitesse comme paramètre

variable. On remarque que les courbes (A) et (B) sont très proches pour chaque expérience (mise à part la plus petite vitesse de l'E18). Or, la courbe (A) s'obtient en comparant les concentrations des PM-t2 filtrés tandis que la courbe (B) s'obtient par l'intégration, sur toutes les classes, de l'efficacité par classes des PM-t0 et PM-t5. Le fait d'obtenir des courbes très proches issues de prélèvements différents ayant subis des traitements tout autant différents rassure sur la performance des traitements et sur la confiance dans les valeurs d'efficacité.

Les courbes sont globalement décroissantes avec la vitesse. Cette remarque fait écho aux observations des efficacités par classes qui diminuait avec l'augmentation de la vitesse. Une vitesse élevée à l'entrée du PAP laisse moins de temps à une potentielle sédimentation des grains.

Les courbes de E14+15 sont au-dessus des courbes de E16 car les granulométries sont différentes. En effet, celle de E16 est plus fine (granulométrie 2) que celle de E14+15 (granulométrie 1). Or, le PAP capte mieux les gros grains, ce qui explique la position relative de ces courbes. Les 3 vitesses les plus faibles de E14+E15 sont issues uniquement de E14, les efficacités correspondantes sont comprises entre 0,9 et 1. On pouvait s'attendre à un tel résultat compte tenu du fait que les courbes d'efficacité par classes de E14 sont proches de 1 pour les classes les plus concentrées (Figure 11). On vérifie également que la courbe (B) est issue du LISST par le fait que les deux plus petites vitesses ont des efficacités totales égales (0,95) et légèrement meilleures que la troisième (0,915) tout comme les efficacités par classes étaient superposées et légèrement plus hautes que la troisième sur la Figure 11. D'autres remarques de ce type sont identifiables sur chaque courbe d'efficacité totale.

Les courbes de E17 sont au-dessus des courbes de E16 à cause des dimensions du PAP trois fois plus grande pour une même section d'entrée, entraînant une diminution de vitesse plus importante et une meilleure sédimentation (déjà vu précédemment).

Les courbes E18 et E19 étant réalisées quasiment dans les mêmes plages de vitesse et concentration pour une granulométrie similaire, il est intéressant de les retrouver proches les unes des autres (sauf pour la plus petite vitesse de l'efficacité (B) de E18). La granulométrie 3 est un mélange des deux granulométries initiales, elle est donc plus grossière que la granulométrie 2 ce

qui peut expliquer l'efficacité plus importante des courbes E18 et E19 en comparaison avec les courbes E17.

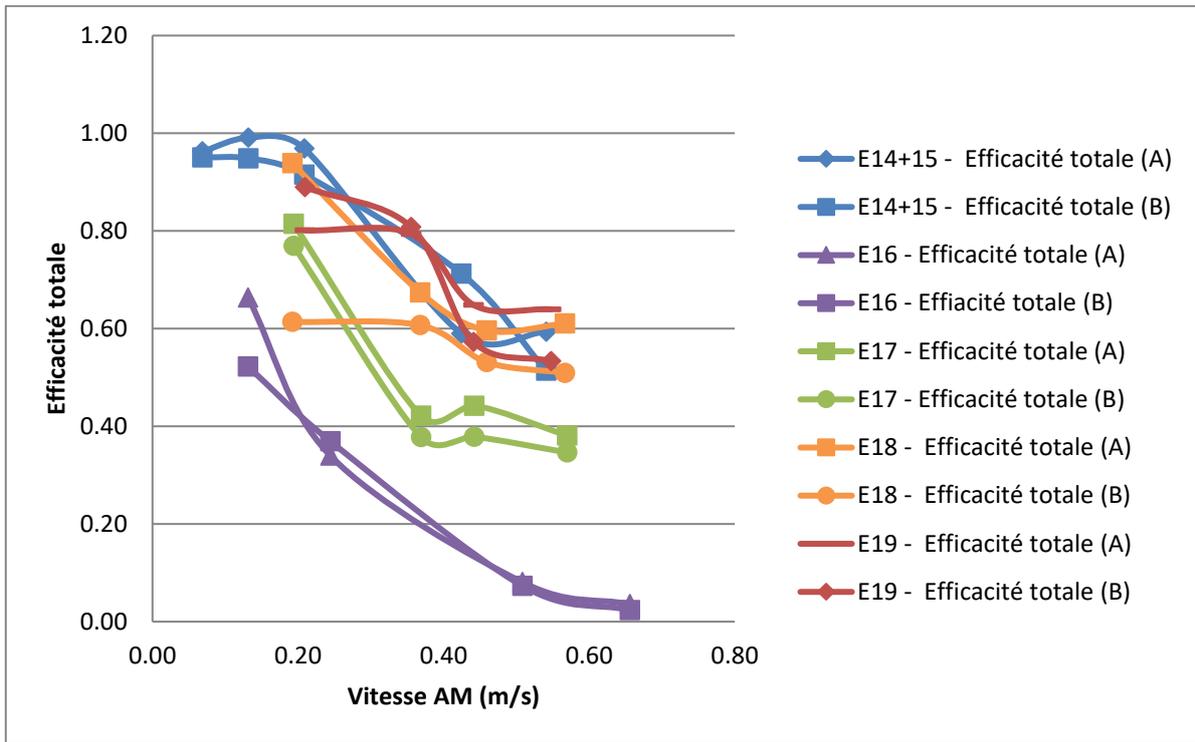


Figure 19 : Efficacité totale en fonction de la vitesse (E14 à E19)

Sur la Figure 16 qui représente les efficacités totales (A) et (B) de E20 en fonction de la concentration, on n'observe pas de tendance précise.

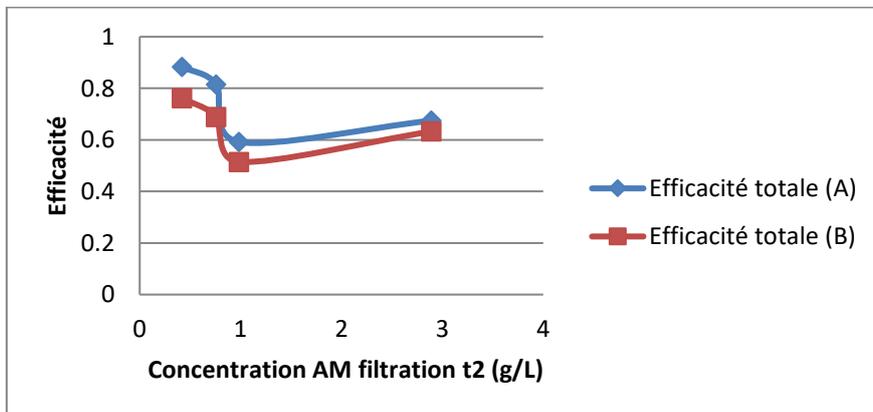


Figure 20 : Efficacité totale en fonction de la concentration (E20)

Efficacité totale moyenne

Rappel :

L'efficacité totale moyenne, ou efficacité moyenne, concerne tous les PDF d'une expérience. Elle s'obtient soit avec les efficacités totales de chaque PDF, soit avec la masse contenue dans le PAP. Dans les deux cas, respectivement (A) et (B), il est nécessaire d'estimer la quantité de matière passée par l'AM du PAP à chaque PDF j , ou $m_{AM,j}$. Elle s'exprime par le produit d'une concentration, d'un débit et d'un temps :

$$m_{AM,j} = C_{AM,j} * Q_j * t_j$$

Cette masse sert de pondération des efficacités par classes dans le calcul de l'efficacité moyenne (A). Pour le calcul de l'efficacité moyenne (B), la masse totale m_{AM} nous intéresse :

$$m_{AM} = \sum_j m_{AM,j}$$

Les efficacités moyennes et les données pour leur calcul sont listées dans le Tableau 2.

	E14			E15				E16				E17				E18				E19				
PD F	Q 1	Q 2	Q 3	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	
$C_{AM,j}$ (g/l)	0, 9 0	0, 2 6	0, 2 8	0, 2 8	0, 1 2	0, 1 1	0, 1 0	3, 9	3, 5	5, 1	7, 2	3, 4	3, 1	2, 8	7, 4	3, 8	3, 3	3, 4	9, 8	2, 9	2, 5	3, 2	3, 9	
Q_j (l/m in)	1, 1	0, 6 7	0, 3 5	2, 7 6	2, 1 6	1, 8 0	1, 5	3, 3 4	2, 5 9	1, 2 5	0, 6 7	2, 9	2, 3	1, 9	1, 0	2, 9	2, 3	1, 9	0, 9 8	2, 8	2, 3	1, 8	1, 1	
t_j (mi n)	2 0	2 0	3 0	2 5	1 5	2 0	1 5	3 3	3 1	1 6	1 6	2 2	2 2	1 0	1 0	2 8	3 1	2 6	2 5	2 3	1 9	2 0	2 6	
$m_{AM,j}$ (g)	1 9, 2	3, 5	3, 0	1 9, 3	3, 8	3, 9	2, 3	4 3 1	2 7 7	1 0 1	7 7	2 1 9	1 5 3	5 4	7 4	3 1 0	2 3 8	1 6 4	2 9 4	0, 6 6	0, 9 7	0, 6 4	0, 7 4	
η_{tot}^A	0, 9 0	0, 2 6	0, 2 9	0, 2 5 9	0, 5 6 8	0, 6 7	0, 7 4	0, 0 3 4	0, 0 8	0, 3 6	0, 6 4	0, 3 4	0, 4 4	0, 4 8	0, 1 1	0, 6 6	0, 6 7	0, 9 4	0, 6 4	0, 6 4	0, 6 5	0, 7 9	0, 8 0	0, 8 0
m_{PAP} (g)	3,86			29,1				356				inc				518				335				
η_{moy}^A	0,97			0,62				0,14				0,47				0,70				0,71				
η_{moy}^B	0,15			0,99				0,40				inc				0,47				0,64				

Tableau 1 : Efficacités totales et données E14

On constate des écarts importants entre les deux valeurs d'efficacité moyenne. On s'attarde notamment sur l'E14 qui présente l'écart le plus important. Celui-ci peut avoir différentes sources telles que citées ci-dessous.

(a) Une partie des sédiments est en suspension dans le piège, elle n'est donc pas visible à l'aval mais elle ne se retrouve pas pour autant dans la masse captée car seuls les sédiments déposés dans les bacs sont collectés. Cette masse échappe donc au bilan de masse ($m_{AM} = m_{PAP} + m_{AV}$) utilisé dans nos calculs.

(b) Une partie des sédiments déposés peut se perdre pendant différentes étapes : retrait des bacs du PAP, transfert du contenu des bacs dans un contenant passant à l'étuve, séchage dans l'étuve rendant les grains volatiles.

(c) Une partie des sédiments se dépose dans le tuyau entre le lieu des PM-AM et l'entrée du piège ainsi que dans le tuyau entre la sortie du piège et le lieu des PM-AV. Cette masse déposée réduit la concentration AV sans pour autant être captée par le PAP. Or, l'efficacité moyenne (A) se base sur les PM-AM et PM-AV et l'efficacité moyenne (B) sur les PM-AM et la masse dans le PAP. Notamment, il existe une forte probabilité pour que les sédiments les plus grossiers se déposent dans le tuyau en AM du PAP. En effet, ce tuyau placé quasiment à l'horizontale favorise un tel dépôt. De plus, les tuyaux, en fin d'expérience, sont bien chargés en sédiments comme le montre la Figure 17. Les sédiments les plus grossiers contiennent la plus grosse masse, leur dépôt dans le tuyau entrainerait donc une erreur importante.



Figure 21 : Photo montrant l'intérieur d'un tuyau

Le vrai bilan de masse est présenté Figure 18. L'erreur peut venir d'une contribution de mauvaises hypothèses précédentes réécrites ici :

- (a) $m_{susp} = 0$
- (b) $m_{PAP} = m_{pesée} \Leftrightarrow m_{perdue} = 0$
- (c) $m_{PM-AM} = m_{AM} \Leftrightarrow m_{tuy1} = 0$; $m_{PM-AV} = m_{AV} \Leftrightarrow m_{tuy2} = 0$

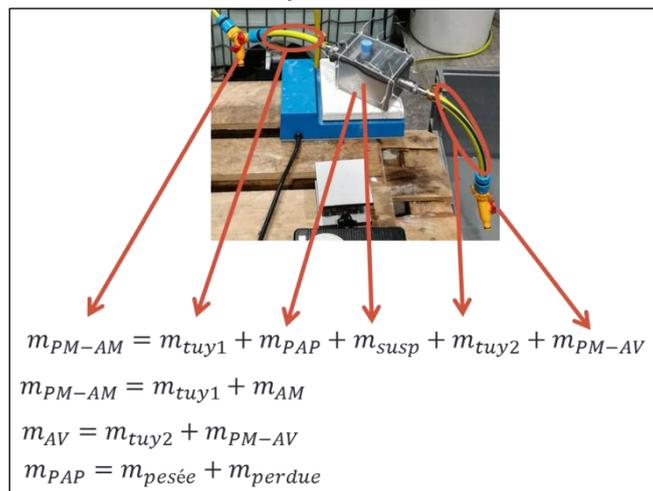


Figure 22 : Bilan de masse

Pour l'E15, la tendance s'inverse : l'efficacité moyenne (B) est meilleure que l'efficacité moyenne (A). A la fin de cette expérience, une masse plus importante est récupérée dans le PAP ce qui tend à augmenter l'efficacité (B). Cependant, cela ne devrait pas être le cas car les vitesses étant plus élevées dans E15, l'efficacité devrait diminuer. L'efficacité moyenne (A), quant à elle, suit bien cette tendance en diminuant entre E14 et E15. Cette fois, une surestimation de la quantité dans le piège pourrait être en cause tout autant qu'une mésestimation de la masse traversant la section à l'AM du PAP. Il est également possible qu'une reprise de sédiments de E14 intervienne dans E15 car le nettoyage des tuyaux s'effectue par un rinçage à forte pression qui laisse des sédiments dans les tuyaux.

Il est intéressant d'étudier les variations de l'efficacité moyenne (A) sur l'ensemble des expériences. Comme nous venons de le montrer, sa diminution entre E14 et E15 traduit l'augmentation de la vitesse. Entre E15 et E16, le fait que l'efficacité moyenne (A) diminue peut s'expliquer par le passage d'une granulométrie 1 plutôt grossière à une granulométrie 2 plus fine, et donc, plus difficilement captée. Ensuite, son augmentation à E17 s'explique notamment par la

mise en place du PAP-réel, plus efficace que le PAP-mini pour une même granulométrie. Enfin, les E18 et E19 présentent une valeur similaire d'efficacité moyenne (A) ce qui est rassurant car les granulométries et vitesses sont identiques. Cette valeur est d'ailleurs supérieure à celle de E17, en partie car la granulométrie utilisée est plus grossière (1+2) qu'à E17 (granulométrie 1). En revanche, l'étude des variations de l'efficacité moyenne (B) ne laisse pas apparaître de tendances qui puissent s'expliquer par des paramètres expérimentaux. Ainsi, nous avons plus confiance en l'intégration des efficacités totales (méthode A) qu'en la mesure de la masse de sédiments dans le PAP (méthode B), pour l'établissement d'une efficacité totale moyenne.

Remarque : Bien que préoccupant, car révélateur d'une lacune expérimentale, cet écart entre les efficacités moyennes n'est pas prépondérant sur le reste de l'expérience. En effet, il concerne l'efficacité totale, donc la capacité du PAP à récolter des sédiments. Or, il n'a jamais été question d'un PAP à efficacité nulle (ou trop faible) sur le terrain ne permettant pas d'amasser suffisamment de matière. En revanche, des questions se posent sur la représentativité des sédiments collectés sur le terrain, c'est pourquoi l'étude s'intéresse principalement aux efficacités par classes et distributions granulométriques. Finalement, nous n'avons pas confiance en les efficacités moyennes (B) mais, globalement, les efficacités moyennes (A) ont des tendances rassurantes car explicables.

Contenu relatif des bacs

Lors de certaines expériences où le contenu des bacs a été passé au LISST, on peut tracer la distribution granulométrique d'un échantillon de chacun des deux bacs du PAP. Le petit bac PE se trouve à l'AM du grand bac GR (Figure 3).

On remarque sur les Figures 20, 21 et 22 que la courbe PE est toujours plus à droite que la courbe GR. Cette position relative provient du fait que les grains grossiers sont les plus faciles à capter, ils le sont donc prioritairement dès le premier bac PE.

Sur la Figure 20, on constate que les grains dans le PAP lors de l'E16 sont plus grossiers en relatif que lors de l'E17. Cela s'explique encore par les dimensions plus importantes du PAP-réel lors de l'E17 lui permettant de capter des grains fins qui ne sont pas captés par le PAP-mini de l'E16.

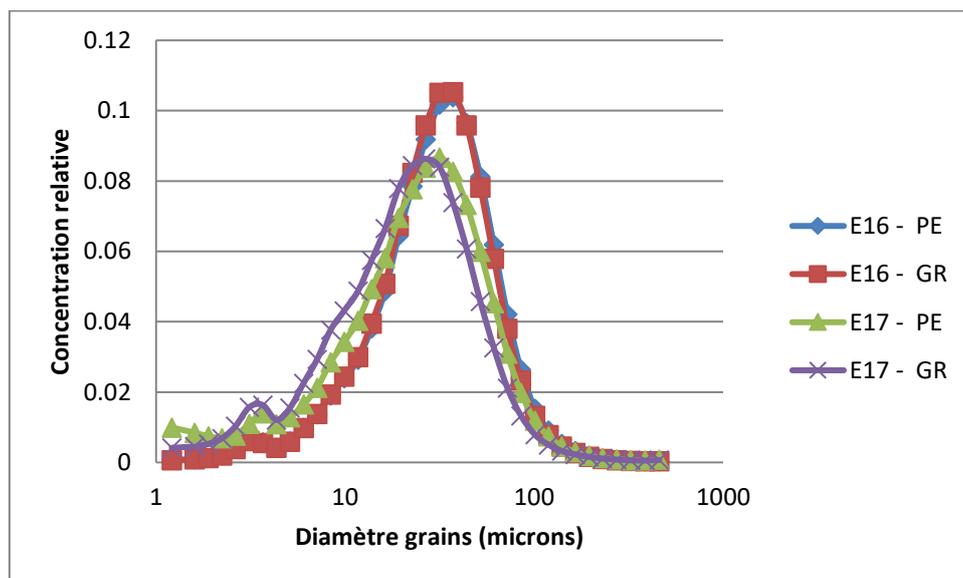


Figure 23 : Distribution granulométrique relative du contenu du PAP E16 et E17

Sur la Figure 21, on remarque que les courbes PE de E18 et E19 se superposent parfaitement, de même que les courbes GR. Les mêmes vitesses étant intégrées dans ces deux expériences, il est rassurant de voir les courbes se superposer.

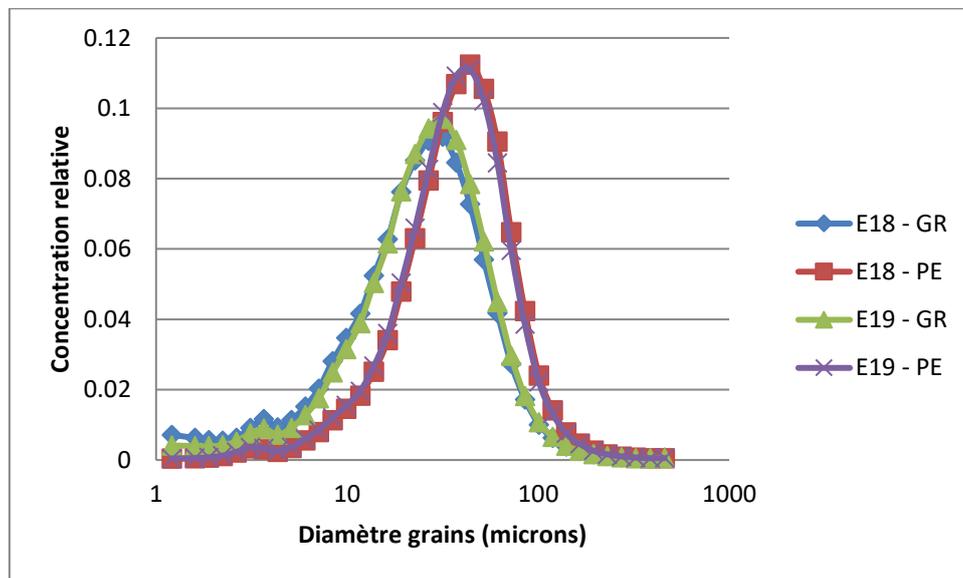


Figure 24 : Distribution granulométrique relative du contenu du PAP E18 et E19

L'expérience 20 qui utilise la concentration comme paramètre variable montre également (Figure 22) la même tendance à une captation plus importante de grains grossiers en relatif dans le bac PE en comparaison avec le bac GR. Dans cette expérience uniquement, les sédiments du piège ont été relevés à chacun des 4 PDF, d'où la présence de 8 courbes.

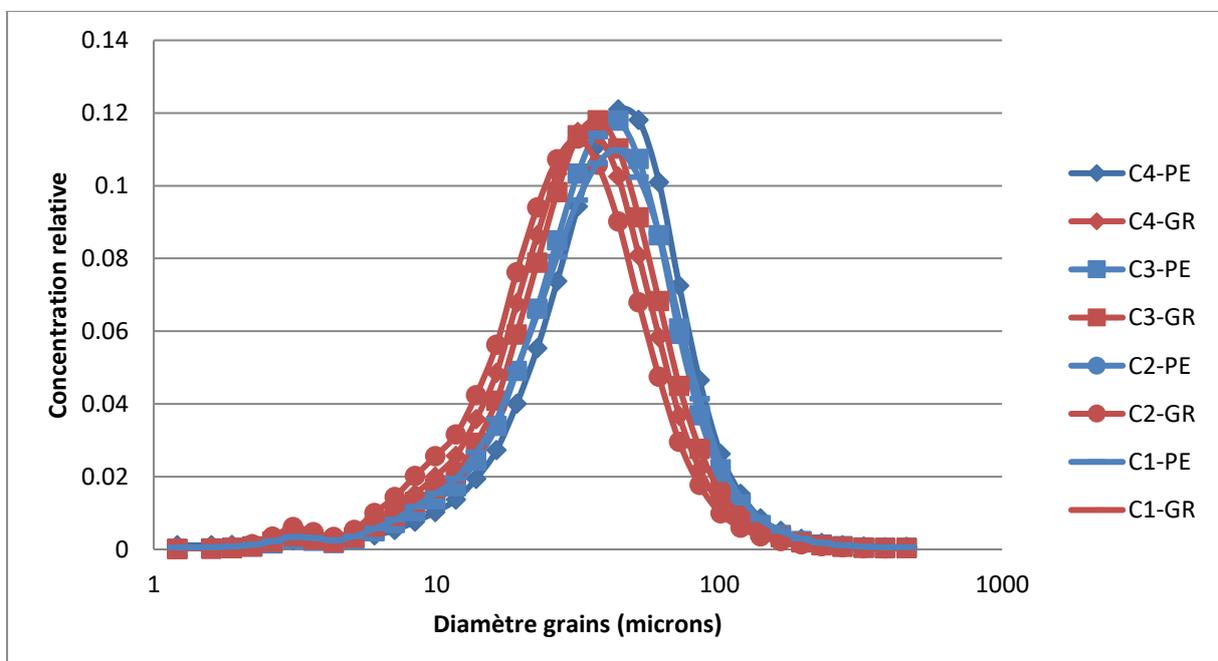


Figure 25 : Distribution granulométrique relative du contenu des bacs E20

Eléments conclusifs

Les 7 expériences E14 à E20 réalisées sur le banc d'essai nous ont apporté des informations sur les performances et le fonctionnement du PAP selon différents paramètres dont voici une liste non exhaustive :

-le PAP capte des sédiments dans toutes les configurations de paramètres testées.

-Effet de la granulométrie : Les sédiments récoltés dans le PAP ne sont pas entièrement représentatifs de ceux présents dans l'écoulement. Ils sont notamment plus grossiers en proportion. En effet, l'étude par classes montre que les plus gros grains sont beaucoup mieux captés que les fins et cela se traduit par une courbe d'efficacité par classes en 3 parties quasi-linéaires (palier d'efficacité quasi-nulle sous un certain diamètre, palier d'efficacité haute à partir d'un certain diamètre et partie linéaire croissante entre les deux). La forme de la courbe étant toujours la même, c'est sa position qui est amené à évoluer. Cette position pourrait se caractériser par le diamètre d'efficacité à 0,5. La courbe étant strictement croissante d'environ 0 à environ 1, ce diamètre est unique pour chaque courbe. Pour chaque PDF de chaque expérience, on trace sur la Figure 22 la position de ce diamètre en fonction de la vitesse dans la section de surverse (pour « adimensionner » les deux PAP). On obtient un nuage de points qui semblent s'étaler autour de la représentation d'une fonction linéaire croissante traduisant le décalage proportionnel de l'efficacité par classes vers la droite lors d'une augmentation de vitesse.

Pour un grain d'un diamètre donné, l'efficacité de piégeage ne dépend pas du type de granulométrie dans lequel il se trouve : il sera piégé de la même façon, qu'il soit dans les granulométries 1 ou 2.

-Effet de la vitesse. A vitesse d'entrée constante, on observe une bonne répétabilité des performances du piège (efficacité par classes et efficacité totale). Plus l'eau arrive avec une vitesse importante dans le PAP, moins l'efficacité sera élevée : le PAP captera moins de sédiments. On peut encore le vérifier en traçant l'efficacité totale en fonction de la vitesse dans la section de surverse pour chaque PDF de chaque expérience, sur la Figure 22. On observe alors une courbe dispersée mais globalement décroissante. Son sens de variation traduit bien la diminution de l'efficacité lors d'une augmentation de la vitesse d'écoulement tandis que la dispersion provient de la diversité des valeurs prises par les autres paramètres.

-Effet des dimensions. Le PAP-réel est plus efficace que le PAP-mini à vitesse et granulométrie identiques car la chute de vitesse de l'écoulement à l'entrée du piège est 9 fois plus importante.

-Effet de la concentration. Une faible variation de la concentration n'entraîne aucun effet sur les efficacités par classes et ne fait pas apparaître de tendance sur l'efficacité totale. Une étude avec une amplitude de variation de la concentration plus importante serait intéressante.

-Comparaison des bacs. Les sédiments grossiers se déposent en priorité dans le premier bac PE du PAP.

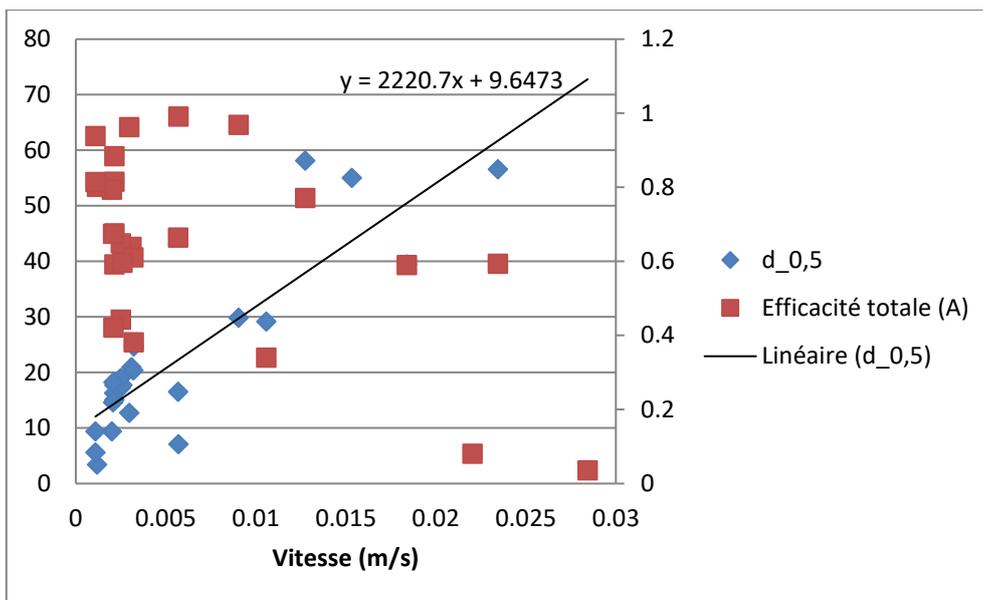


Figure 26 : Diamètre d'efficacité à 0,5 et efficacité totale (A) en fonction de la vitesse dans la section de surverse de tous les PDF des expériences E14 à E20

Travail ultérieur

Il serait intéressant pour l'opérateur de terrain procédant à des relevés de PAP, de remonter à la granulométrie du cours d'eau à partir de celle contenue dans les bacs du piège. Jusqu'alors, la granulométrie du cours d'eau était prise comme étant celle dans le PAP or, nous avons vu que le contenu du piège n'est pas représentatif. En divisant les concentrations de chaque classe de sédiments récoltés dans le PAP par l'efficacité de piégeage de chaque classe (ou efficacité par classes), on peut remonter à la distribution dans le cours d'eau. Une idée serait de créer un outil numérique avec la distribution granulométrique relative du PAP en entrée et la distribution granulométrique du cours d'eau en sortie. Pour que cet outil fonctionne, il doit être capable d'estimer l'efficacité par classes dans les conditions du piégeage sur le terrain (une base de données plus importante est nécessaire). On peut déjà créer un premier prototype en traduisant la courbe d'efficacité par classes en une fonction dont la position sur l'axe des abscisses (diamètres) dépend uniquement de la vitesse d'écoulement (Figure 22). L'outil pourrait également donner la proportion de sédiments grossiers et fins (selon un seuil défini par l'opérateur) dans le PAP (par mesure) et dans le cours d'eau (par calcul) permettant ainsi de voir l'erreur de représentativité de piégeage.

Ouverture : résultats de l'expérience en canal

L'alimentation directe du PAP permet d'en appréhender les performances propres et son fonctionnement. Il est également intéressant de connaître les performances du PAP dans son milieu. Pour ce faire, une expérience a été menée dans le canal hydraulique inclinable. Cette expérience a pour objectif d'être une première généralisation des expériences précédentes mais n'a pas vocation à étudier véritablement les performances du piège dans son milieu. Pendant deux heures, un débit de 10 L/s a circulé dans le canal. Le suivi de la vitesse d'écoulement à l'entrée du PAP-réel situé à mi-longueur du canal et en berge, a donné une valeur moyenne de 4,25 cm/s. Différents prélèvements manuels ont été réalisés : 7 à l'entrée du PAP, 2 quelques mètres à l'AM du PAP et 2 quelques mètres à l'AV du PAP pour analyser la granulométrie (par le LISST) et la concentration (par filtration) de l'écoulement, particulièrement à l'entrée du piège. A la fin de

l'expérience, le contenu du PAP a également été pesé. Il n'est plus possible, comme c'était le cas avec le banc d'essai, d'étudier l'efficacité par classes à partir de PM-AM et PM-AV. Elle doit être étudiée à partir de PM-AM et du contenu final du PAP. Cependant, comme pour les expériences précédentes, nous avons peu confiance dans les données issues de ce contenu. Ainsi, l'efficacité par classes *LISST* est le rapport, pour chaque classe, entre la masse piégée (estimée à partir de la proportion de masse de cette classe dans l'échantillon du contenu du PAP passé au LISST et de la masse totale piégée) et la masse entrée (estimée à partir des distributions granulométriques absolues entrantes ainsi que du débit et du temps). Quant à elle, l'efficacité par classes *LISST&filtration*, estime, pour chaque classe, la masse entrée, par les distributions granulométriques relatives et la concentration moyenne obtenue par filtration. Les efficacités par classes correspondantes sont tracées sur la Figure 23. Les courbes gardent une allure semblable aux précédentes, elles atteignent le palier supérieur à des efficacités bien plus faibles et sont à ce niveau non comparable aux expériences précédentes. La différence de hauteur entre les deux courbes traduit des concentrations absolues différentes données par le LISST et les filtrations. De nombreux points restent à éclaircir sur la généralisation des expériences du banc d'essai à des expériences en canal. Cependant, ce premier travail peut servir de base à un projet ultérieur.

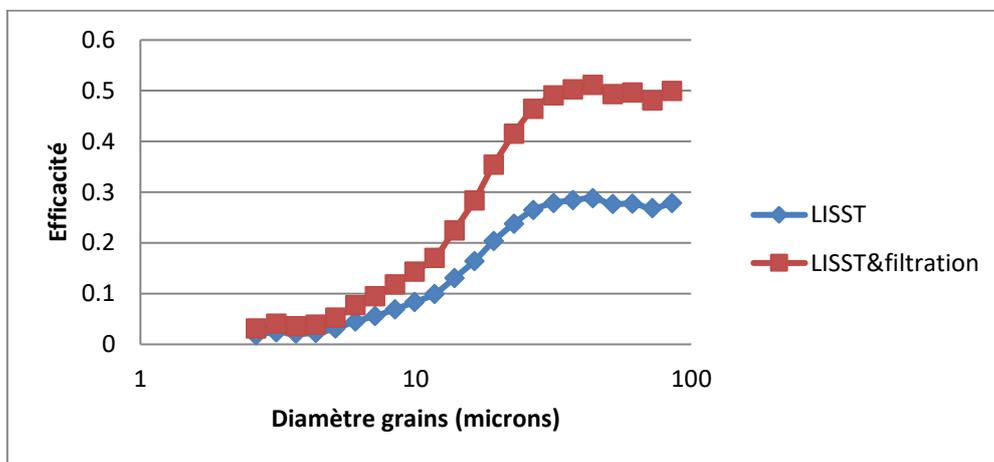


Figure 27 : Efficacité par classes expérience en canal

Discussion et conclusion

L'intérêt technique du stage consistant en l'évaluation des performances d'un piège à particules permettant le suivi des flux de matières en suspension dans les cours d'eau peut paraître limité en première approche. Mais le transport des contaminants via ces matières en suspension donne ensuite toute sa lumière à l'objectif du stage. L'intérêt de ce stage ne réside pas dans le piégeage de minéraux de quelques microns dans le Rhône mais bien dans le suivi des flux de contaminants à l'échelle du troisième plus long fleuve de France, dont le bassin versant représente 17% du territoire métropolitain. Ainsi, les PCB, pour ne citer qu'eux, cancérigènes « probables » (et « certain » pour le PCB 126), toxiques et interdits depuis de nombreuses années en France, transitent aujourd'hui encore dans les cours d'eau via les matières en suspension. Indirectement, ce stage trouve son intérêt dans sa participation à une question d'ordre environnementale, locale et de santé publique.

Ce stage m'a permis l'acquisition de connaissances dans différents domaines. Les sciences de l'eau étant peu approfondies dans un cursus de Génie mécanique, mon arrivée au sein d'un collectif d'hydrauliciens et d'hydrologues a nécessité l'apprentissage d'un vocabulaire spécifique tout au long du stage. L'abondance d'études menées sur un domaine aussi commun que l'eau, m'a ouvert les yeux sur l'immensité des enjeux déterminés par cet élément. L'eau est tantôt un danger qui peut ravager des cultures ou des habitations, tantôt un moyen de transport dompté par l'Homme. C'est également un besoin pour les organismes vivants, une ressource pour la pêche, un vecteur de transit des contaminants, un besoin pour l'agriculture. L'eau est surtout le système complexe d'une masse invariable passant par différents états, des nappes souterraines, des rivières, des lacs, des précipitations, des glaciers et des océans. Ainsi la science de l'eau est-elle souvent liée à la société humaine : épuration, production d'énergie, distribution ou agriculture. En plus d'en avoir appris davantage sur ces disciplines, j'ai particulièrement approfondie mes connaissances dans le domaine particulier de l'hydraulique des rivières et du transport sédimentaire.

Le milieu de la recherche dans lequel j'ai été plongé durant ce stage m'a également beaucoup appris. Attiré par ce monde pour sa rigueur scientifique, sa volonté à aller au bout des choses et engendrer de nouvelles connaissances pour la société civile, j'ai été agréablement surpris par la motivation dont font preuve nombre de collaborateurs. Bien loin d'être dans la démagogie, j'ai vu entre autres, des collaborateurs dévoués à leurs travaux, consciencieux et rigoureux. Si tant de collaborateurs semblent animés et véritablement intéressés par leurs travaux, ce monde de la recherche possède selon moi le bémol de la situation des jeunes docteurs devant enchaîner de nombreux post-doctorats et CDD en gardant l'espoir d'obtenir un poste de titulaire en institut de recherche. A contrario, ce domaine présente l'avantage d'étancher sa soif de curiosité en encourageant l'ouverture d'esprit et approuvant l'acquisition de nouveaux savoirs dans des champs de connaissances différents.

L'intégration dans l'institut s'est passée de la meilleure manière possible et je remercie chaque collaborateur pour faire de ce lieu de travail également un lieu de vie où les gens se rencontrent, discutent et partagent.

Références bibliographiques

- (1) Berni, C., Buffet, A., Camenen, B., Dabrin, A., Lagouy, M., Launay, M., Le-Bescond, C., Le Coz, J., Masson, M., Perret, E., Thollet, F. Etude du fonctionnement des pièges à particules dans le canal hydraulique. OSR Action III.2. Version du 5 Décembre 2017.
http://www.graie.org/osr/IMG/pdf/2017.12_rapportiii2_14122017-berni.pdf
- (2) Masson, M., Angot, H., Le Bescond, C., Launay, M., Dabrin, A., Miège, C., Le Coz, J., Coquery, M., 2017. Sampling of suspended particulate matter using particle traps in the Rhône River: relevance and representativeness for the monitoring of contaminants.
<https://partage.irstea.fr/service/home/~/?auth=co&loc=fr&id=2139&part=3>

Annexes

Annexe 1 : Suppression de deux points de E15

Lors du tracé des efficacités par classes de E15, on n'observe plus, comme c'était le cas pour E14, de relation entre la hauteur des courbes et la vitesse. En effet la courbe à V2 est au-dessus des courbes à V1, V3 et V4 qui se superposent. Cela peut être dû à des mauvais points de fonctionnement. Pour s'en assurer, on peut tracer les efficacités par classes de E14 et E15 superposées sur le même graphique (Figure 20). Les trois courbes de l'E14 (petites vitesses, en pointillées) sont au-dessus des courbes de l'E15 (grandes vitesses, trait plein), or les deux expériences sont réalisées dans les mêmes conditions, ce qui donne bon espoir que la tendance d'évolution des efficacités par classes en fonction de la vitesse reste effective.

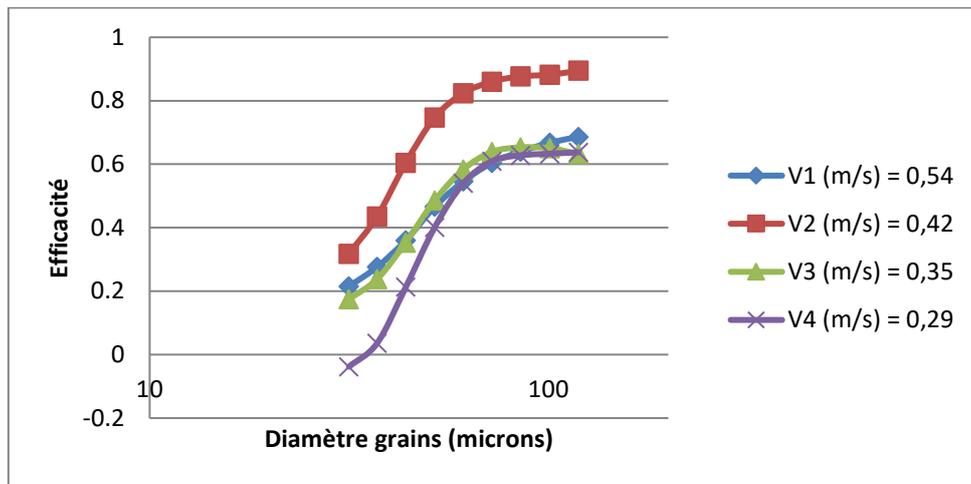


Figure 28 : Efficacité par classes E15

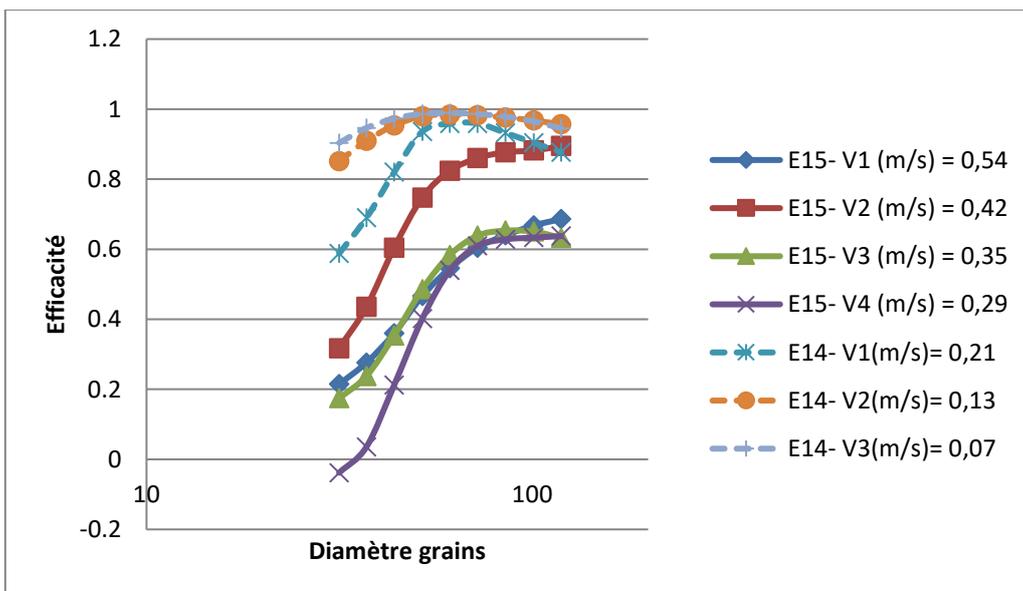


Figure 29 : Efficacité par classes E14 et E15

Pour l'E14 on a constaté que les efficacités totales (A) et (B) étaient très proches. Pour quantifier l'écart entre les deux courbes on trace en vert l'écart relatif pour chaque vitesse où l'on connaît

les deux efficacités sur la Figure 21. Le PDF de l'E15 à 0,29 m/s se distingue des autres points par le fort écart relatif entre les deux efficacités (écart >90%, <20% pour les autres points). De plus, à cette vitesse, l'efficacité totale (B) ne suit pas la tendance des autres points, on décide donc pour ces deux raisons d'enlever ce point. On décide également d'enlever le point de l'E15 à 0,35 m/s pour les trois raisons suivantes : il ne semble pas suivre le cours des autres points de la courbe (B), il n'existe pas de comparatif en efficacité (A) pour cette vitesse car le PM-E15-Q3-t2 n'a pas été prélevé, et enfin, enlever ce point et le précédent (à 0,29 m/s) revient à enlever les courbes verte et violette de la Figure 20 retrouvant ainsi la tendance d'augmentation des efficacités par classes avec la diminution de la vitesse entrevue au paragraphe précédent (courbe bleue < rouge < cyan < orange < lavande et $0,54 < 0,42 < 0,21 < 0,13 < 0,07$ m/s).

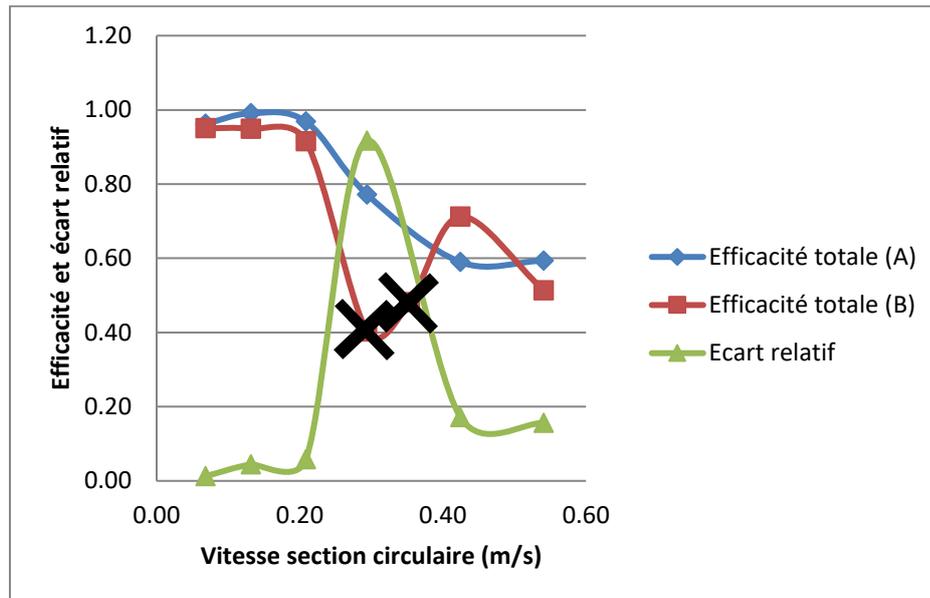
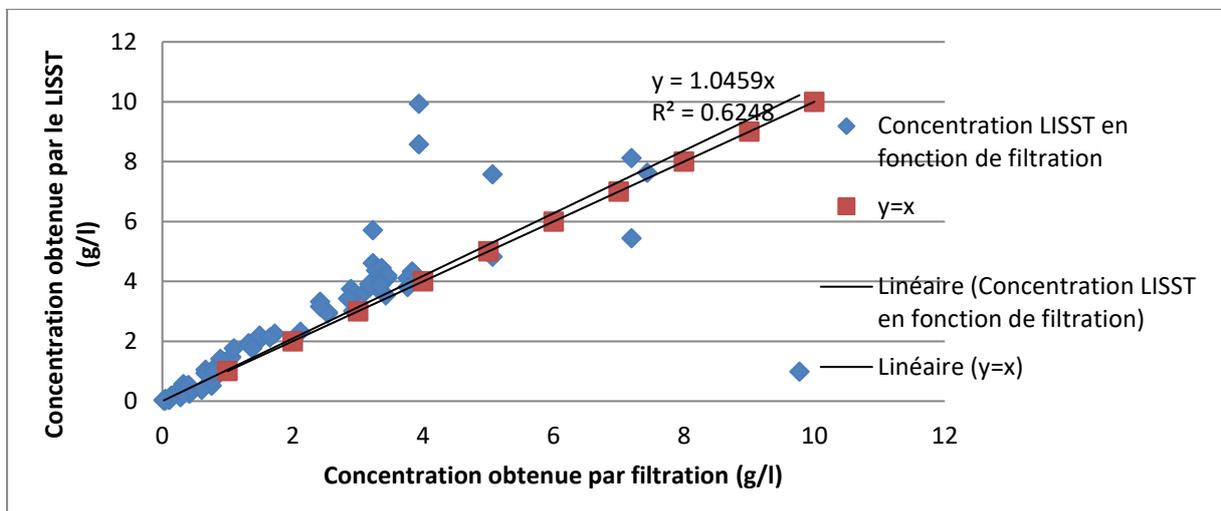
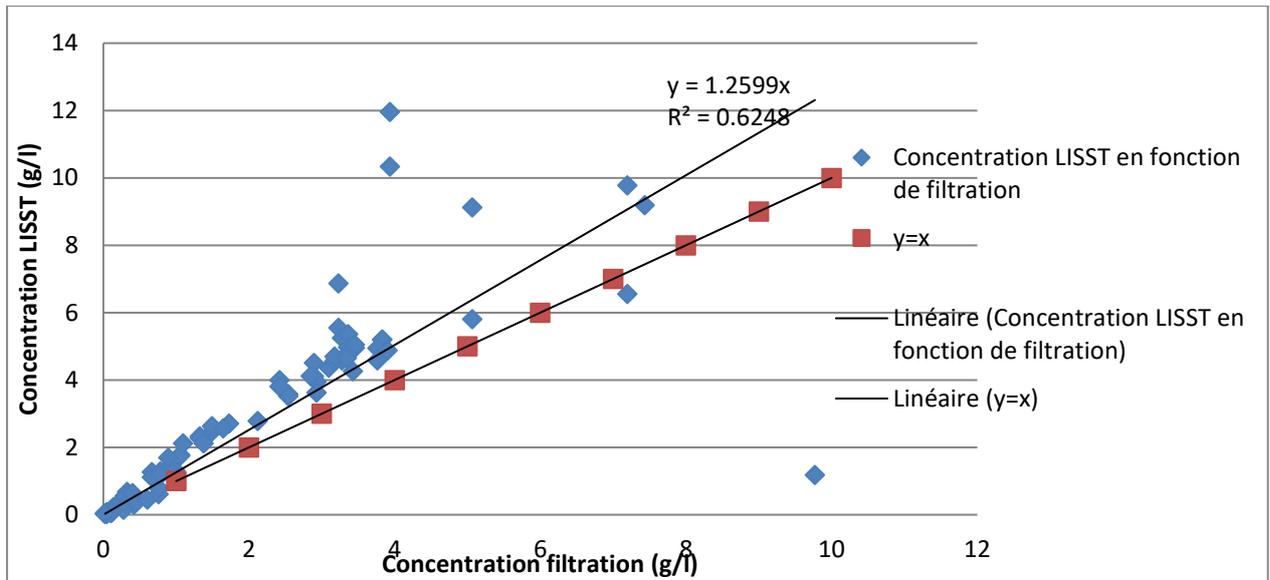


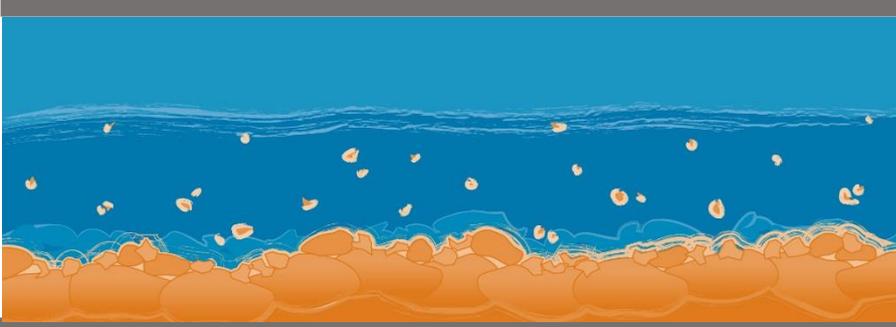
Figure 30 : Efficacité totale (A) et (B) E14 et E15

On a donc plusieurs éléments nous permettant de justifier la suppression des données incohérentes. Après modification, on obtient deux nouvelles représentations de l'efficacité par classes (Figure 11) et de l'efficacité totale pour E14 et E15 (Figure 15, courbes bleues).

Annexe 2 : Concentration LISST et filtration

On s'intéresse ici, pour chaque PDF, au couple de concentration obtenue par le LISST ou par filtration. On trace ainsi la concentration du LISST en fonction de la concentration filtrée. Lors du calcul de la concentration du LISST, on applique une masse volumique pour passer d'une concentration en volume (microlitre/litre) à une concentration en masse (g/l ou mg/l). On remarque qu'avec la valeur usuelle $\rho = 2,65 \text{ g/cm}^3$, on obtient un coefficient directeur de 1,26 tandis qu'avec $\rho = 2,2 \text{ g/cm}^3$, on obtient un coefficient directeur de 1,05.





Observatoire des Sédiments du Rhône



La Région
Auvergne-Rhône-Alpes



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