



HAL
open science

Quantification de la charge sableuse à Chancy, Bognes et Champagneux durant l'APAVÉR

Guillaume Dramais, B. Camenen, A. Buffet, A. Hauet, E. Henry, R. Kennel, M. Lagouy, Jérôme Le Coz, E. Lehmann, G. Naudet, et al.

► To cite this version:

Guillaume Dramais, B. Camenen, A. Buffet, A. Hauet, E. Henry, et al.. Quantification de la charge sableuse à Chancy, Bognes et Champagneux durant l'APAVÉR. [Rapport de recherche] irstea. 2018, pp.46. hal-02607134

HAL Id: hal-02607134

<https://hal.inrae.fr/hal-02607134>

Submitted on 16 May 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.

OSR4 2015-2017

Quantification de la charge sableuse à Chancy, Bognes et Champagneux durant l'APAVÉR



Observatoire
Sédiments
Rhône

Action I.1

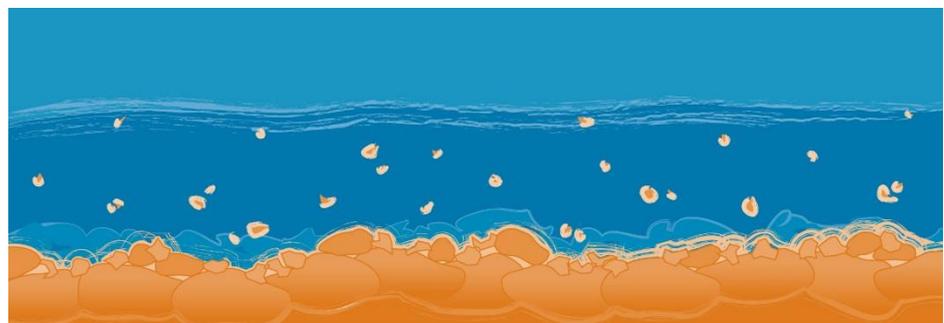
Version finale du 08/02/2018



2015 - 2020



Donnons un avenir à notre fleuve



Personnes impliquées	Equipe de recherche
Benoît CAMENEN	Irstea – Centre de Lyon-Villeurbanne
Alexis BUFFET	Irstea – Centre de Lyon-Villeurbanne
Guillaume DRAMAIS	Irstea – Centre de Lyon-Villeurbanne
Alexandre HAUET	EDF DTG - Grenoble
Elvire HENRY	Irstea – Centre de Lyon-Villeurbanne
Robert KENNEL	Irstea – Centre de Lyon-Villeurbanne
Mickaël LAGOUY	Irstea – Centre de Lyon-Villeurbanne
Jérôme LE COZ	Irstea – Centre de Lyon-Villeurbanne
Eugène LEHMANN	Office Fédéral de l'Environnement - Suisse
Grégoire NAUDET	Irstea – Centre de Lyon-Villeurbanne
Fabien THOLLET	Irstea – Centre de Lyon-Villeurbanne

Contenu

1.	Contexte	4
1.1	L'APAVER	4
1.2	Les sites de mesure	4
	Les stations des Rippes et de Pougny.....	4
	Les stations de Bognes et Pyrimont	5
	Le secteur de Champagneux	5
1.3	Instrumentation et mesures.....	5
	Mesures ADCP	5
	Préleveurs.....	5
	Analyses en laboratoire.....	6
2.	Données des campagnes de mesure par site.....	7
2.1	Rippes	7
	Mesures de débit.....	7
	Concentrations en MES à Rippes.....	8
	Echantillons distribués dans la section.....	9
	Granulométrie des échantillons en suspension	12
	La mesure du charriage	15
2.2	Bognes	16
	Mesures de débit.....	16
	Concentrations en MES à Bognes.....	17
	Echantillons distribués dans la section.....	18
	Granulométrie des échantillons en suspension à Bognes.....	21
	La mesure du charriage	23
2.3	Champagneux.....	23
	Mesures de débit.....	23
	Concentrations en MES à Champagneux	25
	Echantillons distribués dans la section.....	25
	Exploration de la section par sonde turbidimétrique	28
	Granulométrie des échantillons en suspension à Champagneux	31
3.	Calcul des flux de sédiments	34
3.1	Calcul de flux à Pougny - Rippes.....	34
3.2	Calcul de flux à Bognes	36
3.3	Calcul de flux à Champagneux.....	37

4. Conclusion	38
Références.....	39
ANNEXE 1.....	40
Montage du M9.....	40
Mesures M9 du 24/05/2016	40
Mesures M9 du 25/05/2016	42
Mesures M9 du 26/05/2016	43

1. Contexte

1.1 L'APAVER

L'Abaissement PARTiel de VERbois (APAVER) consiste en une opération déstockage des sédiments du Rhône en effectuant des manœuvres sur les vannes des différents ouvrages hydro-électriques le long du Rhône en Suisse et en France. Cette opération est réalisée conjointement entre les acteurs suisses et français du Rhône et sous contrôle des autorités des deux pays. L'évènement a eu lieu du 20 au 30 mai 2016. L'opération est réalisée afin de satisfaire à l'objectif de continuité sédimentaire du SDAGE, dans le respect des multiples usages du fleuve et de manière à ne pas aggraver le comblement de la retenue de Génissiat.

Cette opération est pour les équipes de l'unité de recherche hydrologie hydraulique d'Irstea, l'occasion de tester des méthodes pour la mesure du transport solide et la quantification des différents flux (charriage, sables, matières en suspension). Des mesures ont été réalisées sur trois sites principaux.

1.2 Les sites de mesure

Les stations des Rippes et de Pougny

La station des Rippes est située côté suisse du Rhône en rive gauche quelques centaines de mètres en aval du barrage usine de Chancy-Pougny. Le barrage hydro-électrique franco-suisse de Chancy-Pougny est situé à cheval sur la frontière, il est exploité par la Société des Forces Motrices de Chancy-Pougny (SFMCP). La station hydrométrique est exploitée par l'office fédéral de l'environnement (OFEV)¹, elle est équipée d'une trille motorisée permettant de déployer des moulinets hydrométriques sur saumon ou autres instruments de prélèvement ou de mesure. 1 km en aval sur la rive droite se trouve la station CNR de Pougny où sont mesurés la turbidité et le débit.

¹ <http://www.hydrodaten.admin.ch/fr/2174.html>

Les stations de Bognes et Pyrimont

La station de Bognes² est située en rive droite quelques centaines de mètres en aval du barrage usine de Génissiat exploité par la CNR. Cette station hydrométrique est équipée d'une trille manuelle permettant de déployer des instruments de mesure variés. La station de Pyrimont est située 2 km en aval de Bognes, le temps de propagation du débit entre les deux stations a été mesuré par ADCP et modélisé (MAGE 1D) lors de l'intercomparaison du Groupe Doppler Hydrométrie en 2010 [Pobanz et al. 2011]. Elle est évaluée entre 50 min et une heure.

Le secteur de Champagneux

Le secteur de Champagneux est situé en amont du barrage de Brégnier-Cordon exploité par la CNR. Ce tronçon est étudié précisément par les équipes d'ingénierie de la CNR qui ont établi un modèle hydro-sédimentaire du secteur. Une station provisoire pour la mesure des MES a été installée pendant l'APAVER par la CNR. Les échantillonnages Irstea sont réalisés depuis des barques de mesure.

1.3 Instrumentation et mesures

Mesures ADCP

Des mesures de débit ont été réalisées sur les 3 sites avec des profileurs de courant à effet Doppler (ADCP, RDI Rio Grande 600 kHz et Sontek M9 double fréquence). Aux Rippes et à Bognes les ADCP ont été déployés sur des petites embarcations tractées depuis les trilles. A Champagneux l'ADCP a été déployé depuis une barque de mesure avec un montage sur potence. Des tests de fond mobile ont été réalisés dans la mesure du possible. De grandes quantités de MES ont transité pendant l'APAVER et cela influe sur les signaux acoustiques émis par les capteurs ADCP, cependant des mesures de débit ont pu être réalisées avant chaque campagne de prélèvement. Les couplages ADCP-GPS ont bien fonctionné aux Rippes et à Champagneux, à Bognes la liaison sans fil avec le GPS embarqué n'a pas permis un couplage efficace. De ces mesures ADCP on peut extraire la bathymétrie et les champs de vitesse qui seront exploités par la suite.



Photo 1: ADCP et GPS sur trimaran



Photo 2 : "L'Astuce" barque de mesure d'Irstea

Préleveurs

4 préleveurs ont été utilisés sur les différents sites pour échantillonner l'eau et les sédiments :

² <http://www.rdbmrc.com/hydroreel2/station.php?codestation=687>

- Le préleveur USP72 (temps d'intégration variable) équipé d'un capteur autonome de pression pour contrôler la profondeur d'immersion.
- La bouteille de Niskin – Van Dorn (prélèvement direct) était également équipé d'un capteur autonome de pression.
- Le préleveur OFEV radiocommandé (temps d'intégration variable), profondeur d'immersion contrôlée par l'automate de la traîle.



Photo 3 : Préleveur US P72



Photo 4 : Bouteille de Niskin



Photo 5 : Préleveur OFEV monté sur saumon

Le préleveur isocinétique de l'OFEV a un design qui lui permet de rester face à l'écoulement, et on maîtrise le temps de remplissage du flacon, par contre le remplissage a parfois été long, ou réalisé en deux fois pour obtenir suffisamment de volume.

- Pour échantillonner les matériaux charriés, un préleveur Helley Smith USBL 84 a été utilisé à Bognes ; à Chancy une adaptation du Helley Smith a été installée sur le saumon de l'OFEV. Sa profondeur d'immersion est contrôlée par une sonde autonome Diver.

Analyses en laboratoire

Note : Dans la suite de ce rapport on appellera sable les particules de diamètre supérieur à 63 μm , et fines les particules inférieures à 63 μm . Lorsqu'on parlera de MES on considèrera les matières en suspension sans distinction de taille (MES totale).

Les échantillons ont été analysés au laboratoire d'Irstea. Les concentrations totales ont été déterminées par la méthode de filtration sur filtres en fibre de verre (NF EN 872). Les mesures de granulométrie des particules ont été effectuées avec un granulomètre CILAS, un sous-échantillon a été injecté dans l'instrument, les particules ont été remises en suspension par agitation mécanique et ultrasons. Dans un premier temps ces analyses ont été réalisées classiquement en effectuant des sous-échantillonnages manuels de quelques ml. La distinction sables / fines a été effectuée en isolant le pourcentage de particules supérieures à 63 μm des résultats du granulomètre laser. Cette distinction en deux modes a permis de déterminer la proportion de sable dans chaque échantillon. Des tests ont été effectués pour estimer la justesse de cette méthode qui nécessite un sous échantillonnage.

Dans les figures de la partie 2, sont présentés les résultats en concentration de MES totale et sable. Dans les calculs de concentration on fait l'hypothèse de densité homogène des sédiments.

La partie restante de l'échantillon (pour une partie des échantillons) a été analysée avec un autre protocole inspiré de l'expérience de l'équipe de l'observatoire HYBAM de l'IRD dans le bassin Amazonien. Le volume restant a été mesuré puis passé au tamis (63 μ m), le refus a ensuite été isolé puis pesé, on a obtenu une concentration en particules >63 μ m dans l'échantillon.

On identifiera ensuite dans ce rapport cette méthode dans les tableaux et explications comme méthode du « sable tamisé ». Certains de ces échantillons de sable, après séchage et pesée ont été remis en suspension et analysés au granulomètre laser.

Les échantillons secs sont ensuite passés au four à moufle pour évaluer la quantité de matière organique présente dans les sédiments. On a observé de 2 à 5 % de matière organique dans ces échantillons.

2. Données des campagnes de mesure par site

2.1 Rippes

Mesures de débit

Le capteur ADCP (Photo 1) est déployé depuis la trille. Lors de ces mesures, la forte concentration en MES a rendu impossible le suivi de trajectoire par Bottom Tracking, un suivi par GPS est donc réalisé avec succès, le débit mesuré est post-traité avec le logiciel Q-Rev. Les débits mesurés à l'ADCP sont cohérents avec les valeurs de la station hydrométrique de l'OFEV avec une légère surestimation en montée de « crue » à Rippes (Figure 1), qu'on ne retrouve pas avec les débits issus de la station de Pougny ou c'est la troisième série de jaugeages qui est sous-estimée (Figure 2). Les données ADCP ne s'écartent pas de plus de 10% des chroniques de débit. La procédure de traitement ADCP est détaillée en ANNEXE 1.

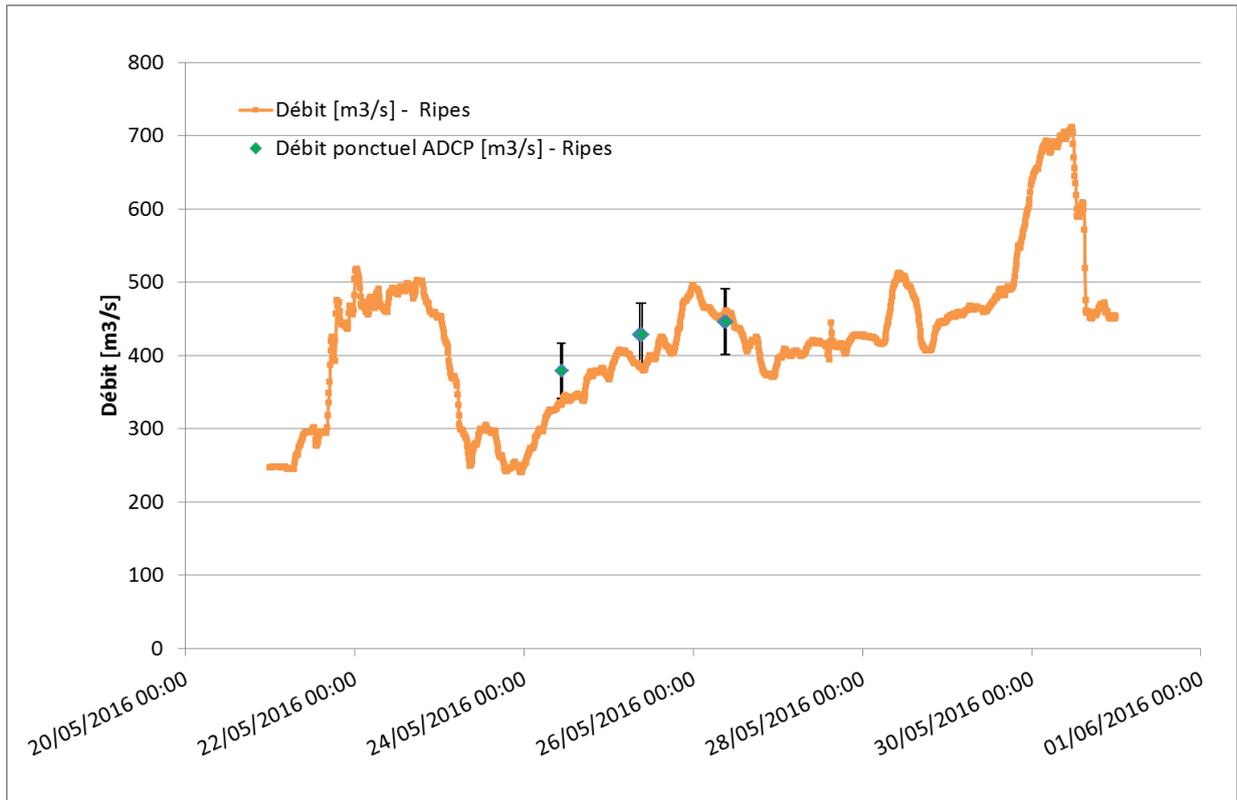


Figure 1 : Variations du débit à la station des Rippes (données OFEV, non validées)

Concentrations en MES à Rippes

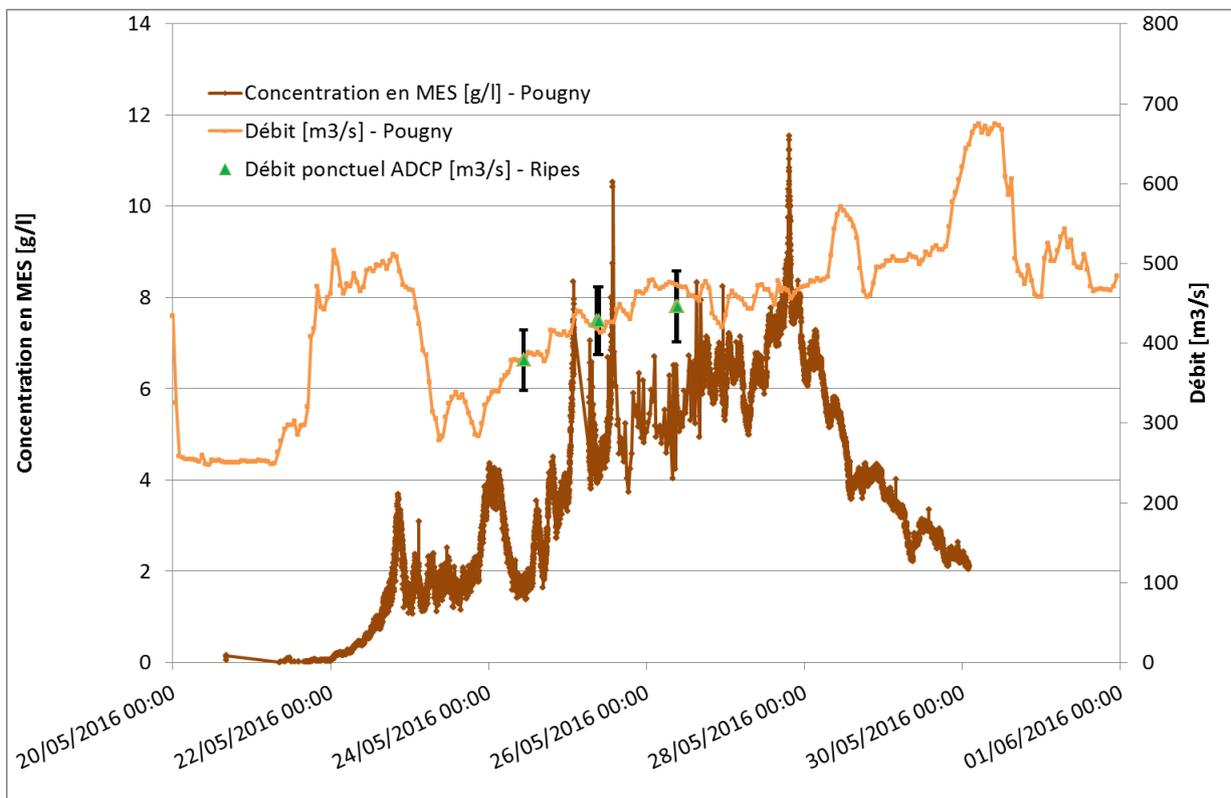


Figure 2 : Variations de concentration en MES et débit à la station de Pougny

Un turbidimètre est positionné en rive droite à la station CNR de Pougny. Les données sont présentées sur la Figure 2 : Variations de concentration en MES et débit à la station de Pougny.

Echantillons distribués dans la section

Le préleveur isocinétique de l'OFEV a été déployé depuis la trille motorisée et a permis une prise d'échantillon distribuée dans la section, point par point. Les figures (Figure 3 à Figure 6) montrent la répartition des MES et du sable dans les échantillons récoltés. On observe sur les 3 campagnes de mesure des gradients de concentration cohérents. Avec peut-être une tendance à des concentrations plus fortes en rive gauche. La répartition des MES dans la section est assez homogène. On retrouve pour certaines verticales (Figure 6) une suspension graduée caractéristique avec des concentrations plus fortes en profondeur.

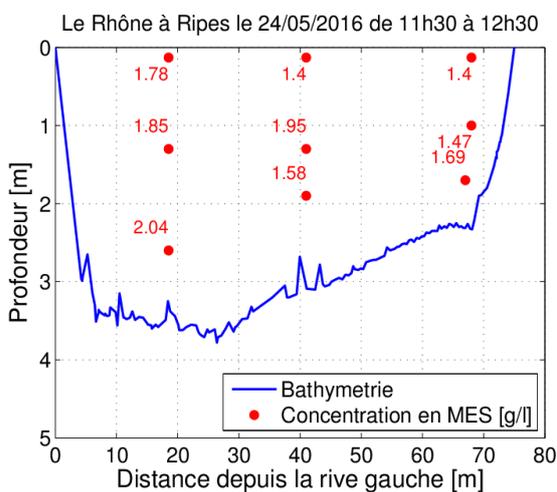


Figure 3 : Le Rhône à Rippes, concentration en MES totale le 24 mai

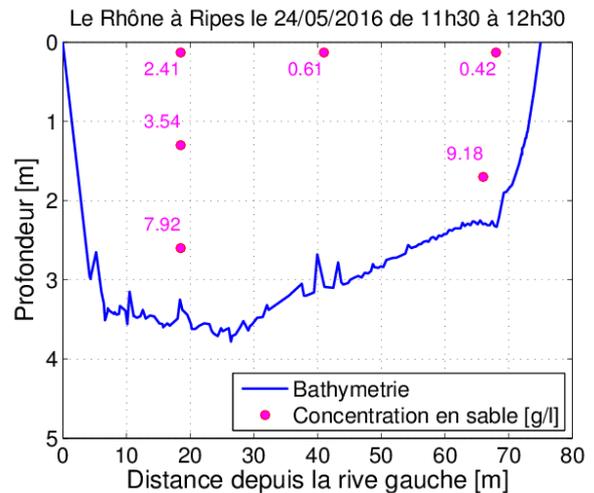


Figure 4 : Le Rhône à Rippes, concentration en sable le 24 mai

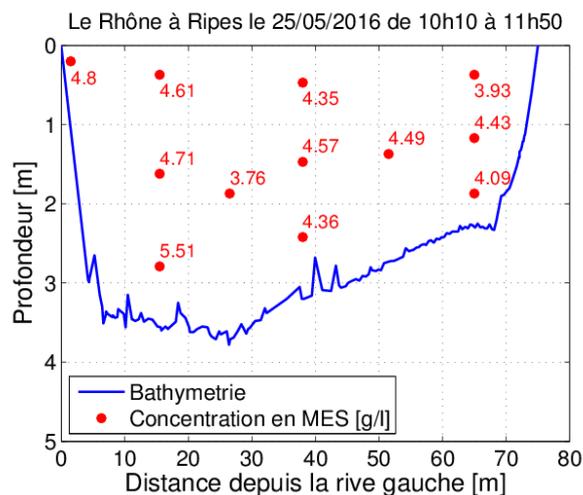


Figure 5 : Le Rhône à Rippes, concentration en MES le 25 mai

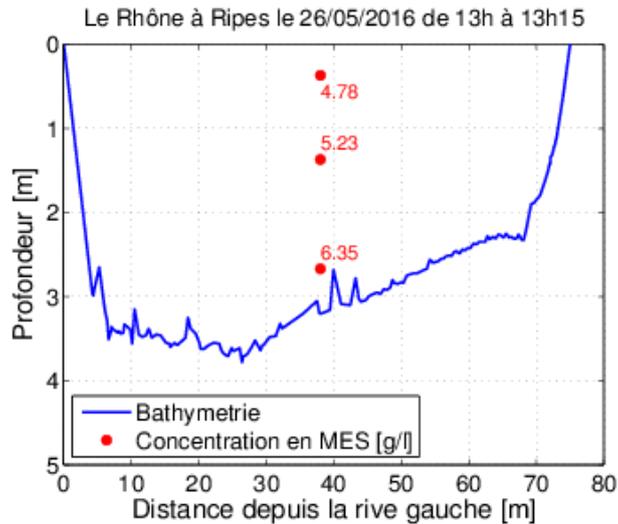


Figure 6 : Le Rhône à Ripes, concentration en MES le 26 mai

Si on étudie en détail le pourcentage de sable issu de l'analyse granulométrique « traditionnelle » présent dans les échantillons (Tableau 1 à Tableau 3), on peut voir une certaine cohérence avec des pourcentages plus forts en fonction de la profondeur, signe d'une suspension graduée de sable. Si on applique la méthode du « sable tamisé » on remarque qu'il y a beaucoup plus de sable dans l'échantillon que détecté par le granulomètre. Deux hypothèses sont émises pour expliquer cette sous-estimation :

1. La masse des particules de sable et leur vitesse de chute dans le flacon. Lorsqu'on sous-échantillonne pour les analyses, le fait de prélever un sous échantillon provenant d'un flacon classique biaise la concentration en particules lourdes de ce sous-échantillon (qui restent au fond du flacon).
2. Un problème de granulomètre : les échantillons de l'APAVÉR présentent des concentrations en MES fortes et une étendue granulométrique importante, les particules grossières sont peut-être sous évaluées du fait de la présence en nombre conséquent de particules plus fines, qui « masqueraient » la quantité de particules plus grosses. Ces grosses particules ont peut-être aussi des difficultés à être mises en mouvement par le circuit d'analyse de l'appareil.

Il faut donc mettre au point une méthode nouvelle d'analyse pour les mesures de concentration et granulométrie en présence de sable.

N° Mesure	Heure	Abscisse (m)	Profondeur (m)	Analyse "traditionnelle"			Sable tamisé > 63 µm (g/l)
				MES (g/l)	% de sable > 63 µm	Sable (g/l)	
1	11h20	41	0.13	1.40	6	0.09	0.61
2	11h30	41	2.3	1.58	10	0.16	
3	11h42	41	1.3	1.95	13	0.26	
4	11h50	18.5	0.13	1.78	10	0.18	2.41
5	11h57	18.5	2.6	2.04	13	0.26	7.92
6	12h06	18.5	1.3	1.85	9	0.17	3.54
7	12h15	68	0.13	1.40	6	0.09	0.42
8	12h27	68	1.7	1.69	12	0.21	9.18
9	12h37	68	1	1.47	9	0.13	

Tableau 1 : Concentrations en MES et sables pour la campagne du 24 mai aux Rippes

N° Mesure	Heure	Abscisse (m)	Profondeur (m)	Analyse "traditionnelle"			Sable tamisé > 63 µm (g/l)
				MES (g/l)	% de sable > 63 µm	Sable (g/l)	
10	10h12	24,5	0,5	4,61	11	0,49	2,96
11	10h20	24,5	2,92	5,51	10	0,55	4,04
12	10h30	24,5	1,75	4,71	13	0,63	1,14
13	10h36	47	0,6	4,35	13	0,58	
14	10h43	47	2,55	4,36	16	0,69	
15	10h54	47	1,6	4,57	19	0,88	
16	11h04	74	0,5	3,93	17	0,67	
17	11h14	74	2	4,09	15	0,61	
18	11h28	74	1,3	4,43	15	0,66	
19	11h38	60,5	1,5	4,49	17	0,75	
20	11h52	35,5	2	3,76	7	0,28	
21	11h51	Berge RG	surface	4,80	6	0,30	1,58

Tableau 2 : Concentrations en MES et sables pour la campagne du 25 mai aux Rippes

N° Mesure	Heure	Abscisse (m)	Profondeur (m)	Analyse "traditionnelle"			Sable tamisé > 63 µm (g/l)
				MES (g/l)	% de sable > 63 µm	Sable (g/l)	
22	13h00	47	0,5	4,78	15	0,71	2,41
24	13h16	47	1,5	5,23	24	1,26	
23	13h06	47	2,80	6,35	29	1,87	

Tableau 3 : Concentrations en MES et sables pour la campagne du 26 mai aux Rippes

Granulométrie des échantillons en suspension

Pour les mesures présentées sur les Figure 7 à Figure 9 les sous-échantillons analysés sont prélevés le plus rapidement possible après agitation mais cette procédure n'exclue pas la possibilité d'une décantation immédiate des plus grosses particules.

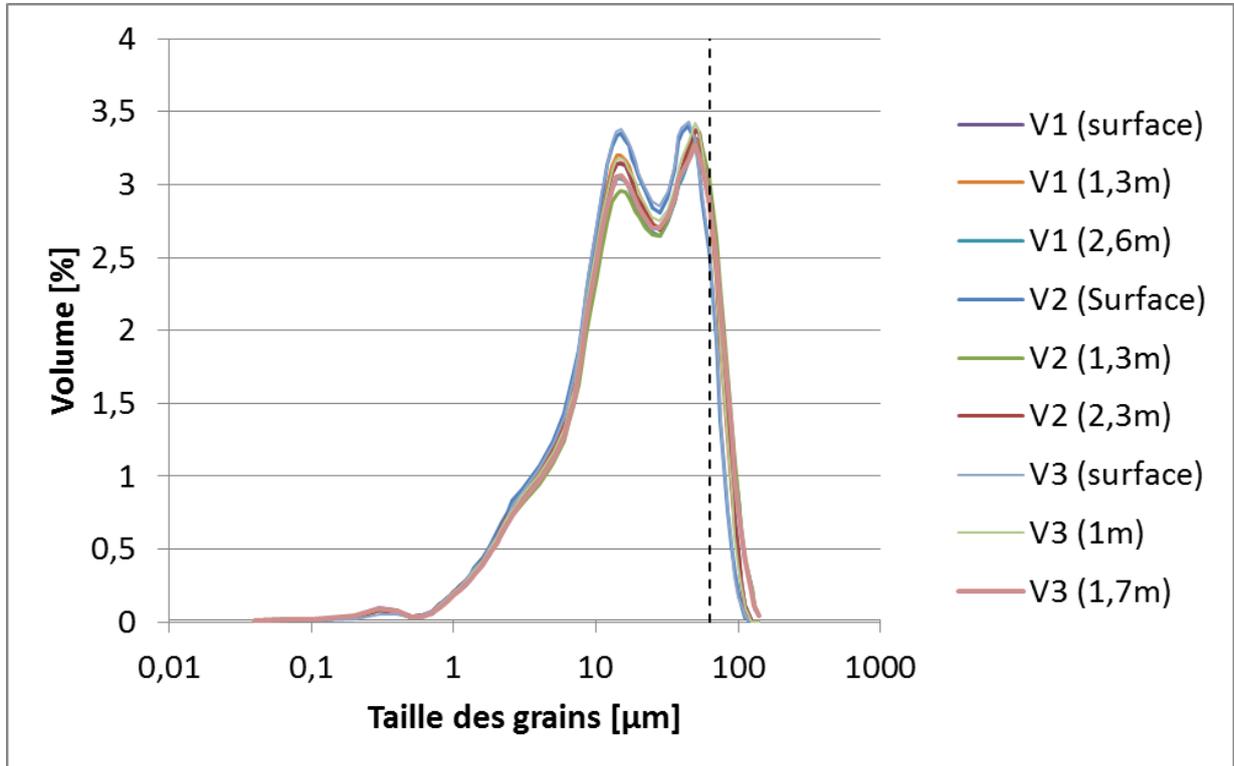


Figure 7 : Granulométrie des échantillons du 24 mai aux Rippes (Granulo laser Cilas)

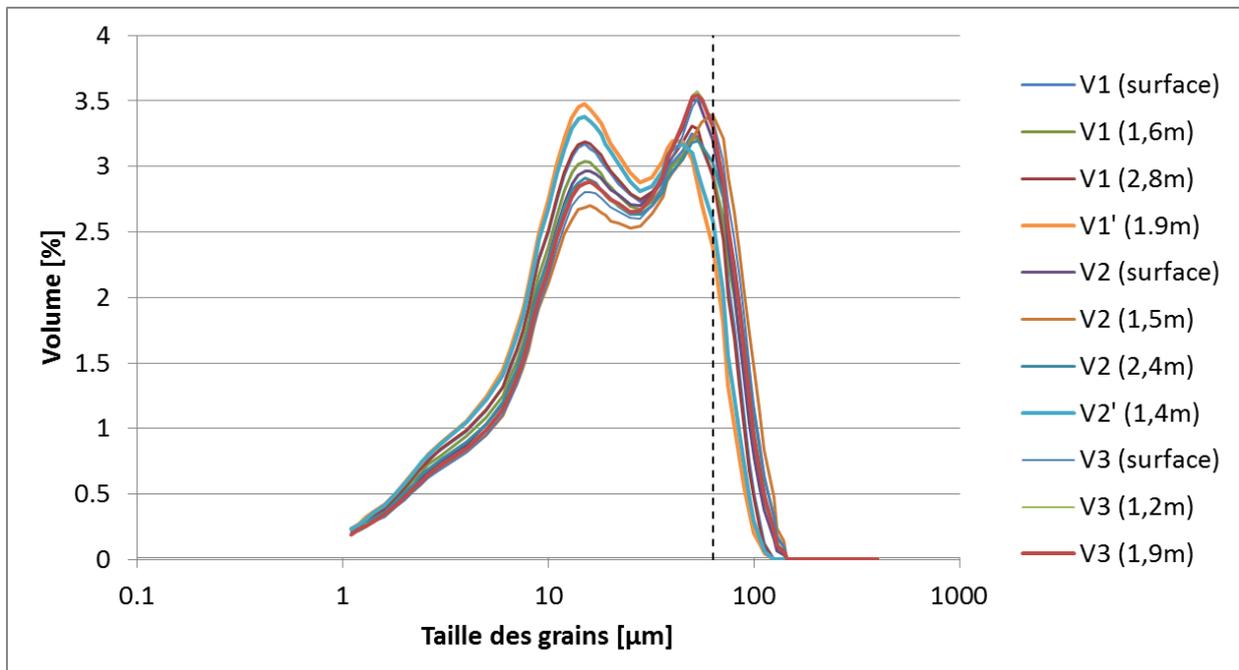


Figure 8 : Granulométrie des échantillons du 25 mai aux Rippes (Granulo laser Cilas)

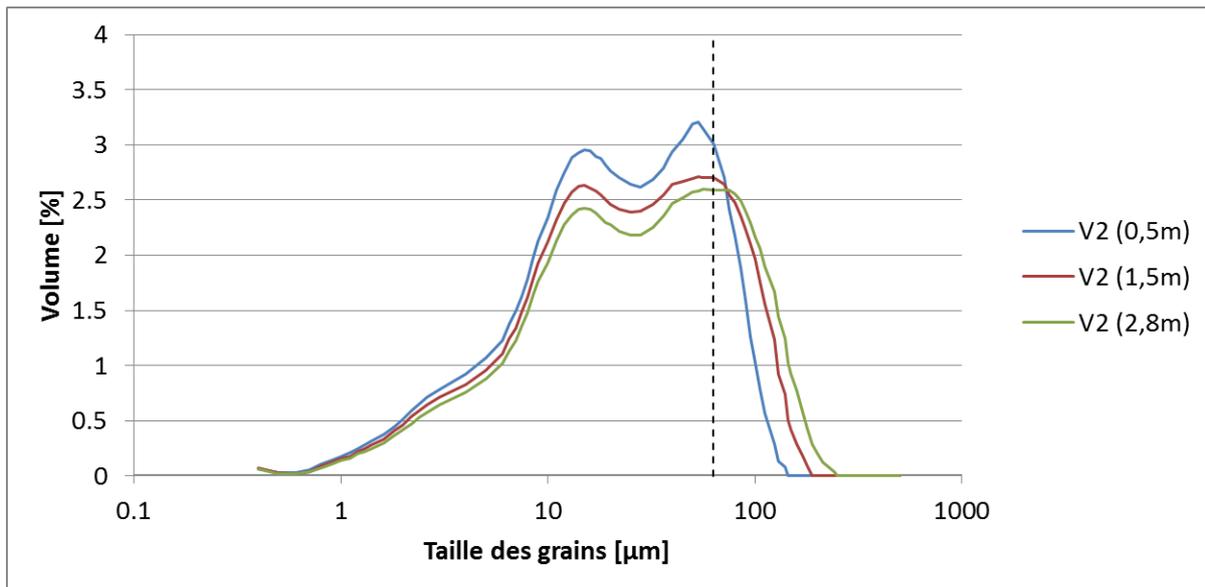


Figure 9 :Granulométrie des échantillons du 26 mai aux Rippes (Granulo laser Cilas)

On observe aux Rippes (Figure 7 à Figure 9) une distribution à trois modes de la taille des particules prélevées dans les échantillons bruts. Cependant si on effectue sur l'échantillon le protocole du « sable tamisé » décrit dans la partie « Analyses en laboratoire » on met en évidence la présence d'une concentration de sable plus importante qu'observée par sous-échantillonnage classique et analyse granulométrique de l'échantillon brut.

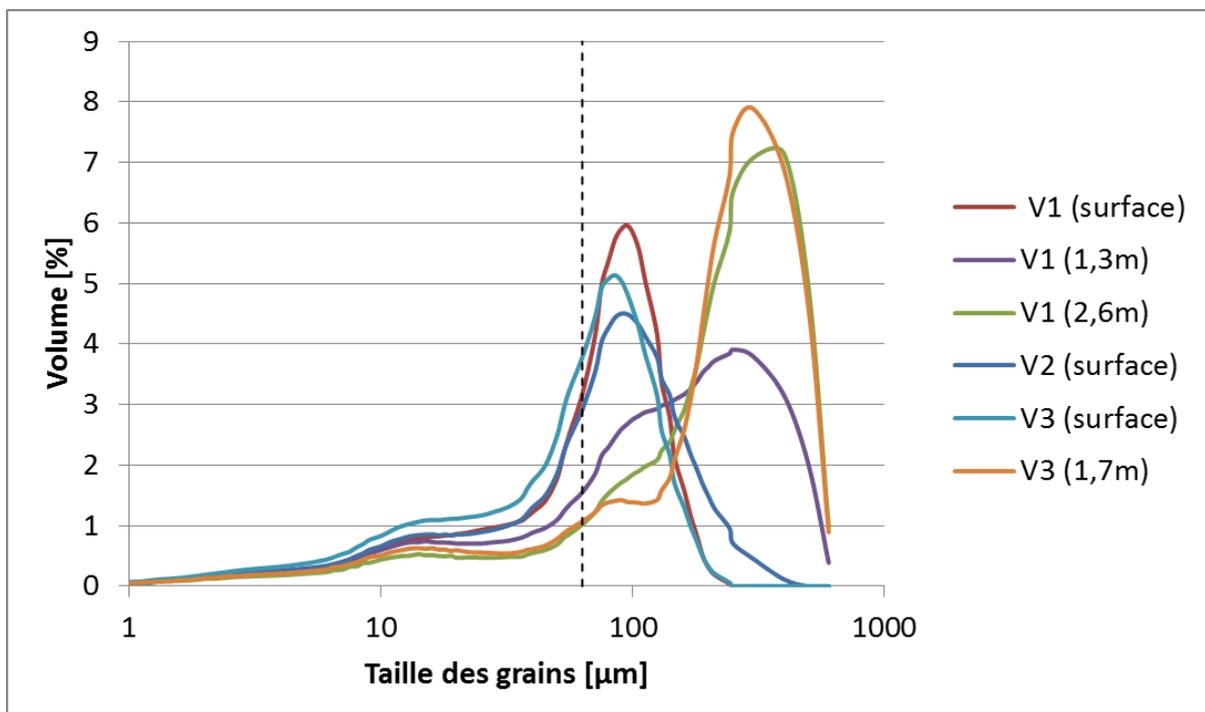


Figure 10 : Granulométrie des sous-échantillons après tamisage à 63 µm - 24 mai aux Rippes (Granulo laser Cilas)

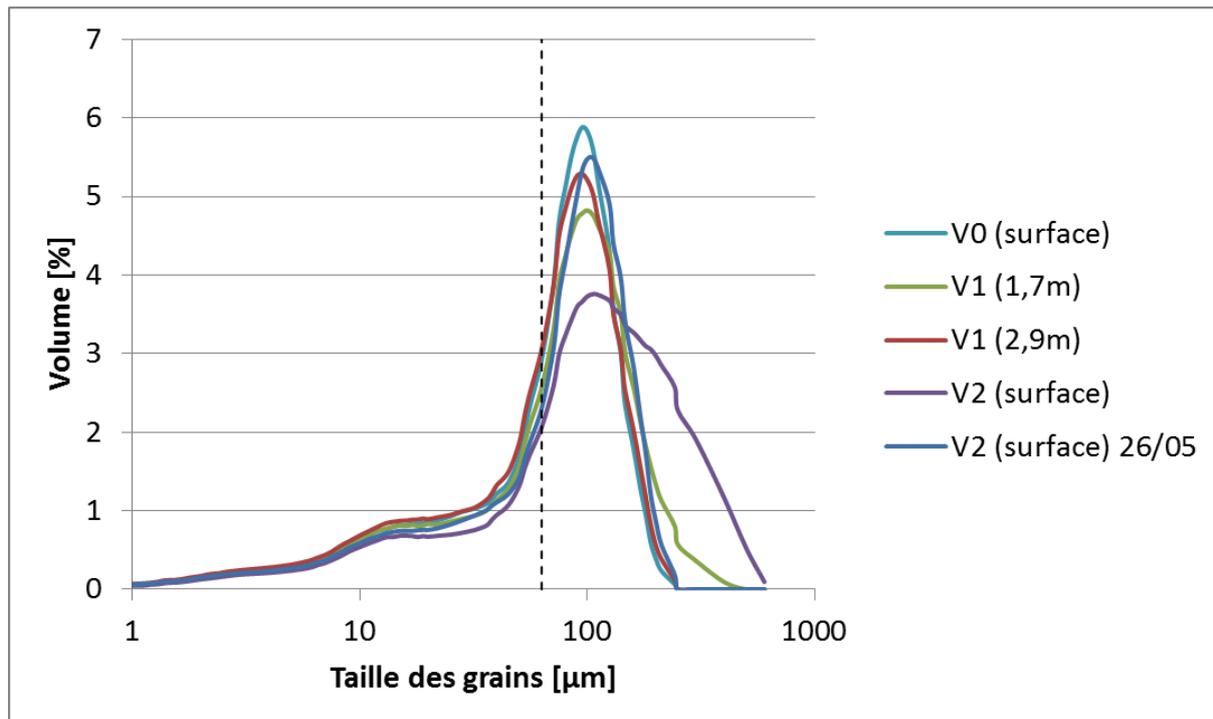


Figure 11 : Granulométrie des sous-échantillons après tamisage à 63 µm - 25 et 26 mai aux Rippes (Granulo laser Cilas)

La masse récoltée dans le tamis avec le protocole du « sable tamisé » est séchée puis remise en suspension dans la chambre de mesure du granulomètre laser Cilas. La Figure 10 montre les résultats d'analyse de 6 échantillons de la campagne du 24 mai, quelques échantillons des deux autres campagnes sont présentés sur la Figure 11. Ces distributions confirment la présence de grosses particules non détectées dans le sous-échantillon d'origine dans des proportions importantes. Le sous-échantillonnage pratiqué habituellement sur l'échantillon brut ne permet pas une bonne représentation de la distribution du sable. Il faut donc mettre au point de nouveaux protocoles de sous-échantillonnage et d'analyse si l'on veut évaluer correctement la distribution de sable en suspension. Le protocole tenté ici n'est sans doute pas idéal non plus, car on observe lors de la remise en suspension des particules dans la chambre de mélange du granulomètre un vortex avec le dépôt des plus grosses particules.

Sur les photographies (prises à l'aide d'une loupe Leica M205 C et d'une caméra Leica IC80 HD) des échantillons après application du protocole du « sable tamisé » (Figure 12) on observe la présence de grains $>63\mu\text{m}$ aux trois profondeurs échantillonnées, on voit bien une taille moyenne des grains qui augmente avec la profondeur.

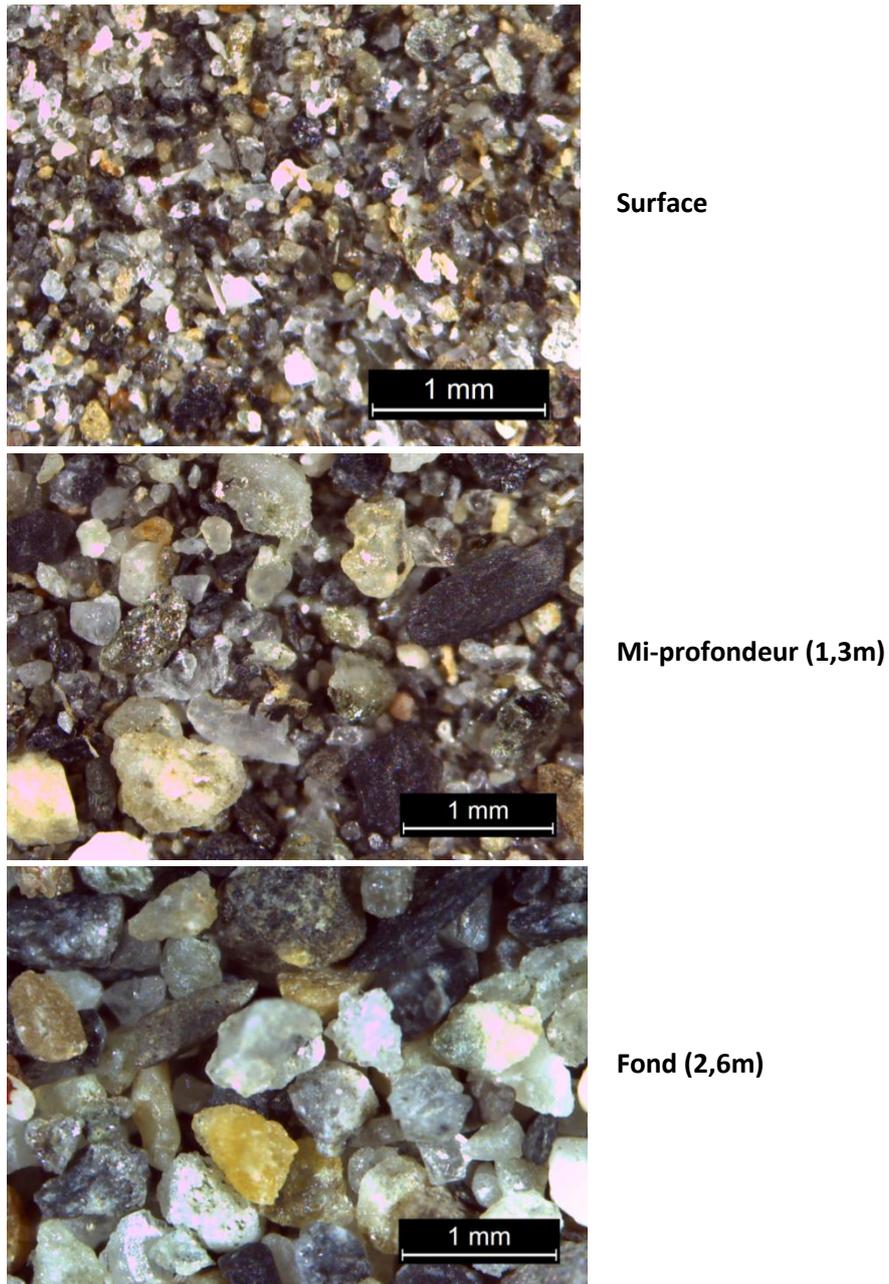


Figure 12 : Photos des grains observés en suspension aux Rippes verticale V1 (rive gauche) le 24 mai

Une conclusion intéressante de cette campagne de mesure est la mise en évidence de la présence de sable en suspension graduée dans des proportions non négligeables.

La mesure du charriage

Des échantillons des matériaux charriés sont effectués sur 3 verticales le 26 mai à la station des Rippes depuis la trille. Les mesures sont répétées 3 fois et les temps d'intégration sont adaptés au transport observé.

N° mesure	Heure	Abscisse [m]	Profondeur [m]	Durée mesure [s]	Masse sèche [kg]	Flux [kg/min/m]	Flux moyen par sous section [kg/min]
1	10h49	10	3	300	0,46	1,3	45
2	11h01	16	4	300	0,64	1,8	
3	11h12	16	4	300	0,78	2,2	
4	11h27	38	4,1	30	0,50	14,3	397
6	11h44	38	4,1	30	0,75	21,5	
7	11h54	38	4,1	30	0,41	11,8	
8	12h01	53	3,3	180	2,03	9,7	354
9	12h23	53		60	1,14	16,2	
10	12h33	53	2,4	60	1,16	16,6	

Tableau 4 : Echantillons Helley Smith du 26 mai aux Rippes

Si on considère 3 bandes actives de 25m correspondantes chacune à une verticale explorée, on obtient des résultats de flux charrié pour chaque sous-section. Pour la section complète on obtient un transport par charriage de 800 kg/min, pour cette campagne de mesure, avec peu de transport côté gauche de la section. Les échantillons récoltés au fond sont analysés par tamisage, on retrouve très peu de gravier, du sable et des fines, dont en majorité (plus de 90%) des particules de diamètre inférieur à 0,4 mm. Ces données sont représentatives des matériaux prélevés le 26 mai pendant un créneau de 2 heures avec toujours une incertitude forte sur la représentativité des prélèvements. Pour réduire cette incertitude il aurait fallu répéter les mesures.

2.2 Bognes

Mesures de débit

A la station de Bognes le signal de débit est assez différent du signal observé en amont de la retenue de Génissiat. Les mesures ponctuelles ADCP (RG 600 kHz sur trimaran OceanScience) sont réalisées depuis la trille manuelle de la CNR. Les débits mesurés par ADCP sont cohérents avec les valeurs de la station hydrométrique.

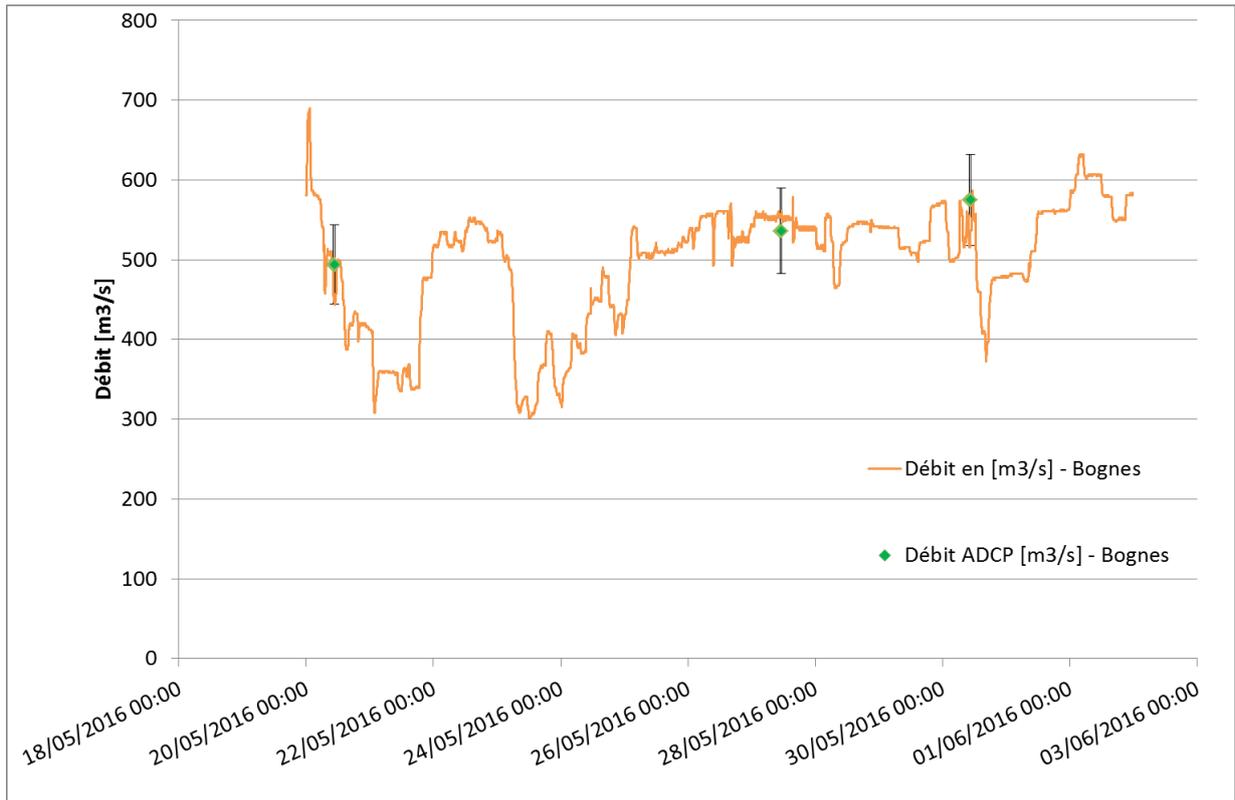


Figure 13 : Variations du débit à la station de Bognes

Concentrations en MES à Bognes

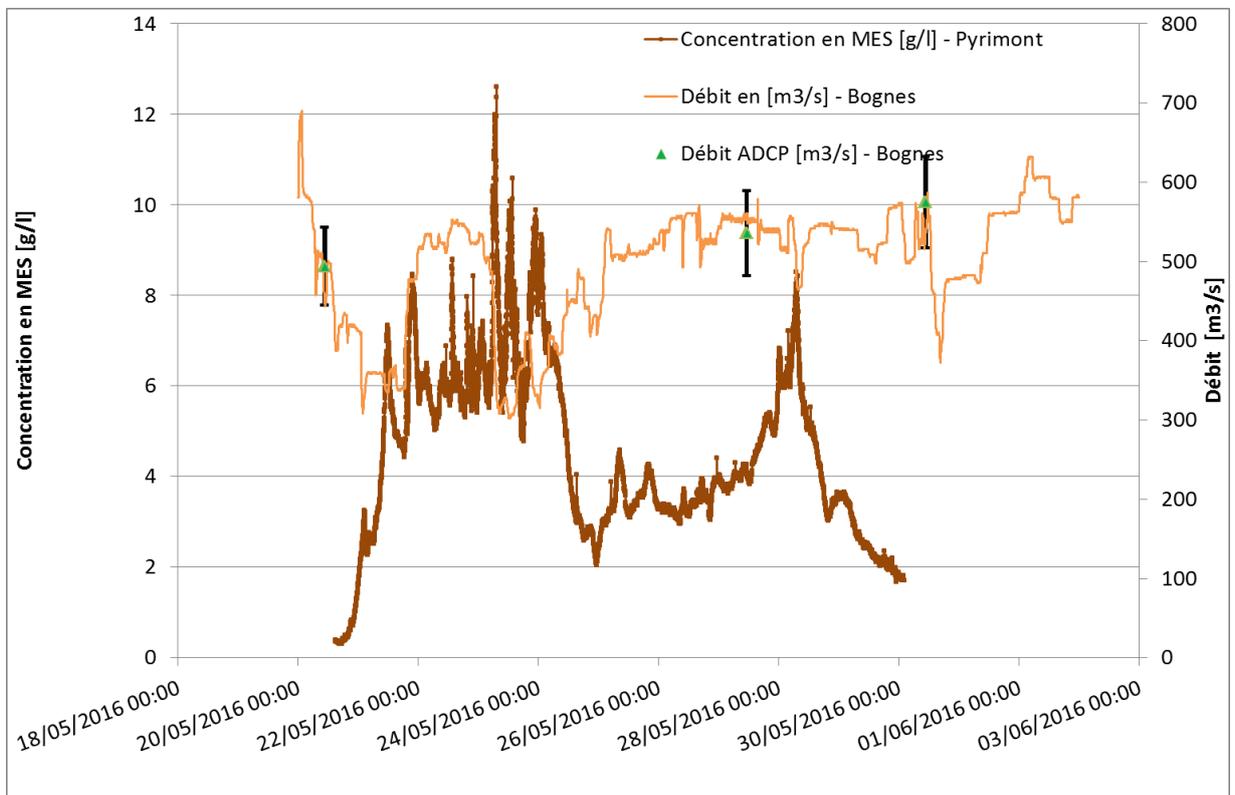


Figure 14 : Variations de concentration en MES à Pyrimont et de débit à Bognes

Le signal de concentration en MES est également assez différent du signal observé en amont de Génissiat avec un premier « pic » du 20 au 24 correspondant à l'abaissement de Génissiat, une baisse puis un second « pic » plus court entre le 27 et le 28 mai.

Echantillons distribués dans la section

Trois campagnes de prélèvement sont réalisées sur le site de Bognes, le préleveur isocinétique de l'USGS (P72) est déployé depuis la trille manuelle. Ce préleveur permet une prise d'échantillon de 500 ml, après positionnement, une électrovane permet le déclenchement de l'ouverture et de la fermeture du préleveur. Ensuite le choix de plusieurs verticales et profondeurs de prélèvement permet une prise d'échantillon distribuée dans la section. Les données sont rassemblées dans les tableaux (Tableau 5 à Tableau 7) et représentées sur les figures (Figure 15 à Figure 17). Ces figures montrent la répartition des MES et du sable.

Un préleveur Helley Smith USBL 84 est également utilisé pour échantillonner les matériaux charriés.

N° Mesure	Heure	Abscisse (m)	Profondeur (m)	Analyse "traditionnelle"		
				MES (g/l)	% de sable > 67 µm	Sable (g/l)
1	12:24	13	0.57	0.42	0	0
2	12:34	13	2.59	0.44	0	0
3	12:40	13	3.54	0.27	0	0
4	12:54	25	0.73	0.25	0	0
5	13:01	25	1.83	0.26	0	0
6	13:13	37	3.69	0.26	0	0
7	13:23	37	0.58	0.49	0.15	7.4E-04
8	13:33	37	1.54	0.39	0.18	7.2E-04
9	13:41	37	3.37	0.30	0	0
10	13:55	55	0.67	0.28	0	0

Tableau 5 : Concentrations en MES et sables pour la campagne du 20 mai à Bognes

N° Mesure	Heure	Abscisse (m)	Profondeur (m)	Analyse "traditionnelle"			Sable tamisé > 63 µm (g/l)
				MES (g/l)	% de sable > 63 µm	Sable (g/l)	
1	10:55	Berge RD	surface	3.92	3	0.09	0.37
1b	11:50	35	surface	4.66	7	0.34	
2	12:02	35	0.44	3.78	6	0.22	
3	12:14	35	1.72	4.20	8	0.33	
4	13:00	17	surface	5.09	10	0.49	
5	13:11	53	surface	4.83	10	0.47	
6	13:20	17	1.56	4.85	9	0.44	
7	13:31	53	0.36	5.08	9	0.47	
8	13:41	17	3.72	5.00	8	0.41	

Tableau 6 : Concentrations en MES et sables pour la campagne du 27 mai à Bognes

N° Mesure	Heure	Abscisse (m)	Profondeur (m)	Analyse "traditionnelle"		
				MES (g/l)	% de sable > 63 µm	Sable (g/l)
1	11:19	17	0.36	2.37	9	0.21
2	11:28	17	1.51	3.11	5	0.16
3	11:34	17	3.97	2.74	10	0.28
4	11:41	35	0.24	2.15	10	0.21
5	11:51	35	1.60	2.57	19	0.50
6	12:01	35	3.98	1.95	13	0.25
7	12:14	53	0.14	1.12	9	0.10
8	12:26	53	2.89	1.19	8	0.10
9	12:37	53	3.42	1.12	8	0.09

Tableau 7 : Concentrations en MES et sables pour la campagne du 30 mai à Bognes

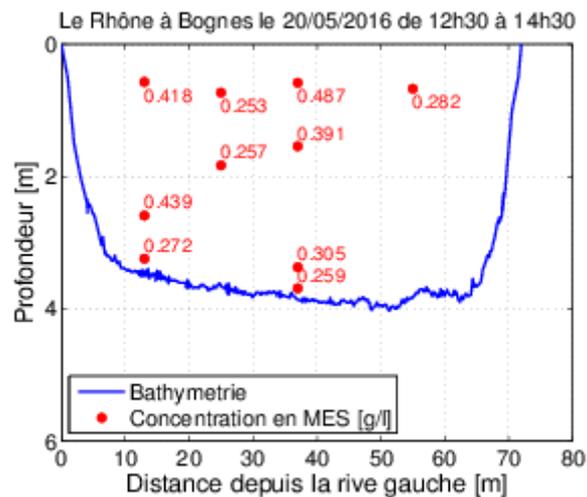


Figure 15 : Le Rhône à Bognes, concentration en MES le 20 mai

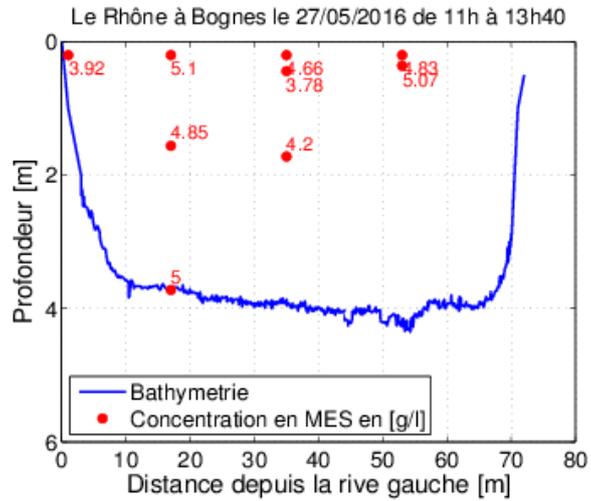


Figure 16 : Le Rhône à Bognes, concentration en MES le 27 mai

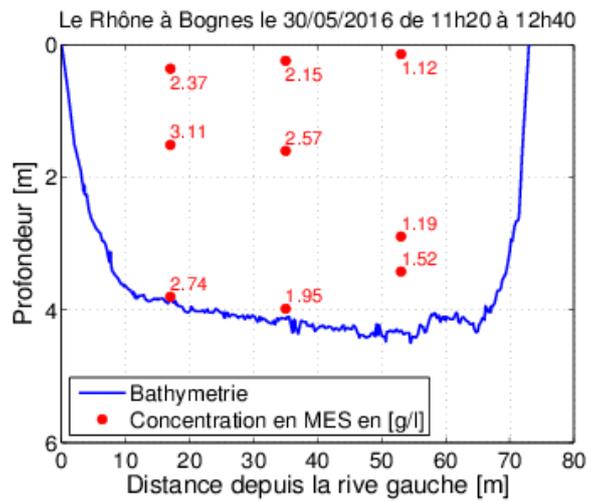


Figure 17 : Le Rhône à Bognes, concentration en MES le 30 mai

La répartition des MES totale dans la section est assez surprenante. On retrouve pour certaines verticales des concentrations plus fortes en profondeur, mais ce n'est pas le cas pour toutes les verticales et les gradients sont parfois inversés par rapport à la théorie. La proximité du barrage à quelques centaines de mètres et les écoulements très turbulents entraînent peut-être cette répartition, l'échantillonneur est peut-être aussi en cause car c'était sa première utilisation et les volumes et temps d'exposition ont varié.

Granulométrie des échantillons en suspension à Bognes

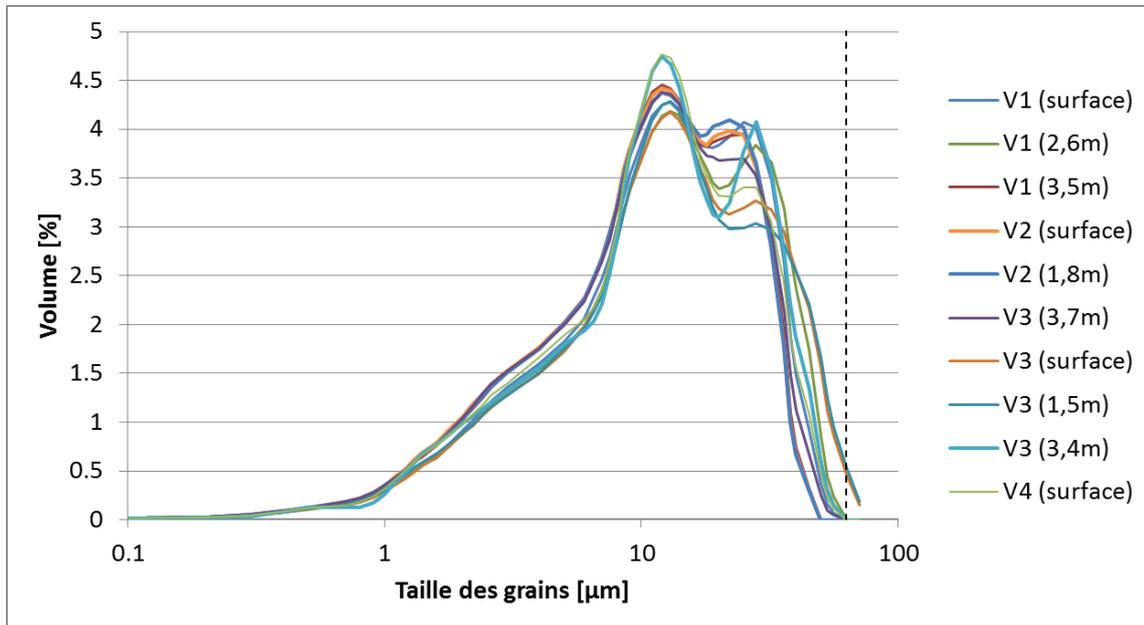


Figure 18 : Granulométrie des échantillons du 20 mai à Bognes (Granulo laser Cilas)

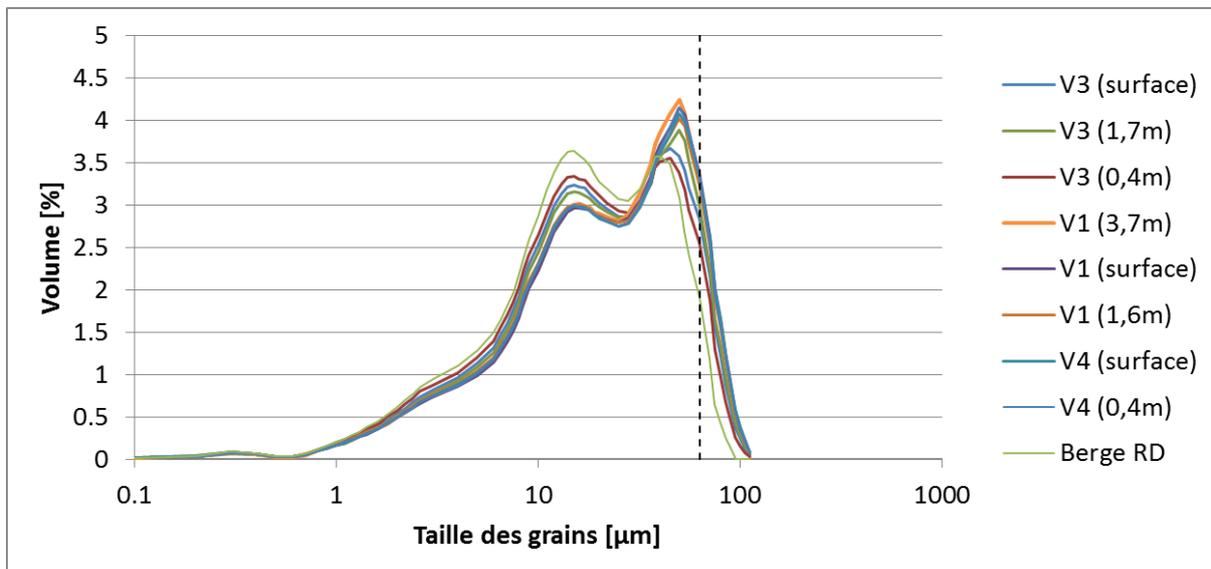


Figure 19 : Granulométrie des échantillons du 27 mai à Bognes (Granulo laser Cilas)

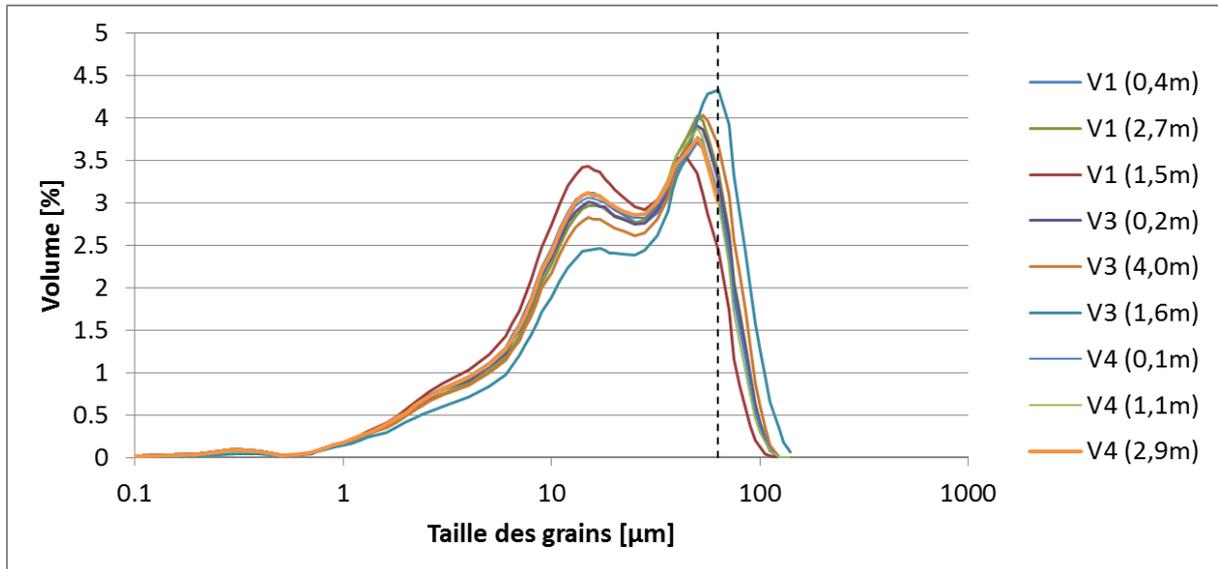


Figure 20 : Granulométrie des échantillons du 30 mai à Bognes (Granulo laser Cilas)

On observe à Bognes une distribution à trois modes de la taille des particules prélevées dans les échantillons bruts, la coupure à 63 μm matérialisée sur les figures (Figure 18 à Figure 20), fait apparaître une proportion moindre en sable dans les échantillons (entre 3 et 20% de sable sur les MES mesurées pour les 27 et 30 mai). Le protocole du « sable tamisé » n'a pu être réalisé que sur un échantillon, cela est dû au fait que le préleveur P72 a un volume de prélèvement assez faible (<500 ml) et il n'a pas été exposé suffisamment longtemps.

Sur ce site la présence de sable est mise en évidence dans des proportions non négligeables, sauf pour la campagne de mesure du 20 mai qui correspond au tout début de l'évènement.

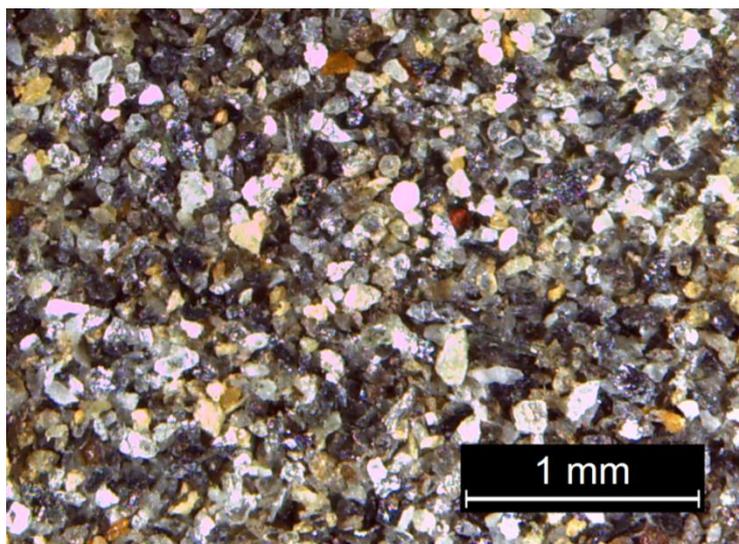


Figure 21 : Photographie des sédiments > 63 μm à Bognes en surface le 27 mai

La mesure du charriage

N° mesure	Heure	Abscisse [m]	Profondeur [m]	Durée mesure [min]	Masse sèche [g]	Flux [kg/min/m]	Flux moyen section complete [kg/min]
1. Bognes 20/05	09:45	49	3,4	8	10,6	0,019	0,9
2. Bognes 20/05	10:07	49	3,2	15	4,7	0,004	
3. Bognes 20/05	10:33	49	3,2	15	15,3	0,015	
4. Bognes 27/05	09:52	49		7	14,7	0,030	3,2
5. Bognes 27/05	10:14	49		8	34,0	0,061	
6. Bognes 30/05	13:23	49	3,5	10	215,3	0,308	12,0
7. Bognes 30/05	13:44	49	3,5	10	25,2	0,036	

Tableau 8 : Echantillons Helley Smith à Bognes pour les trois dates de mesure

Une seule verticale a été explorée avec les Helley Smith sur ce site. Pour calculer un flux sur la section on considère ici une bande active de 70m, on obtient des résultats de flux charrié pour la section complète. Le transport au fond est très faible lors de ces essais. Les échantillons récoltés au fond sont analysés par tamisage, on retrouve du gravier dans les échantillons du 30 mai avec un d50 de 7,5 mm pour l'un des échantillons (N°6). Les échantillons du 20 mai présentent un d50 de 1,7 à 2,6mm. Trop peu d'échantillons ont été effectués pour tirer des conclusions de ces mesures qui sont également toujours entachées d'une incertitude forte sur la représentativité de la couche échantillonnée.

2.3 Champagneux

Mesures de débit

Il n'y a pas de station hydrométrique proche du site de Champagneux, des profils de vitesse ont été réalisés avec un ADCP (RDI 600 KHz) déployé depuis une barque de mesure.

Heure	Pk	Débit [m3/s]
11:40	107.2	584
14:40	103.2	591
16:05	103.8	591
16:10	103.8	562
16:20	103.8	587

Tableau 9 : Jaugeages ADCP le 23 mai à Champagneux

Les données ADCP du 23 mai nous montrent plusieurs choses, le couplage ADCP GPS a bien fonctionné et peut permettre de déceler le cas échéant une vitesse apparente du fond. Dans le cas de Champagneux durant la période de ces mesures, aucun fond mobile n'est mis en évidence. Les champs de vitesse mesurés sur les différents transects seront utilisés pour les calculs de flux. Les valeurs de débit des 23 et 25 mai correspondent au mieux à la moyenne de deux traversées et ne constituent donc pas des jaugeages conformes aux règles de l'art [Charte qualité de l'Hydrométrie, 2017] mais la bonne répétabilité du débit lors des deux séquences de mesure donne confiance dans ces résultats.

Heure	Pk	Débit [m3/s]
12:12	107,2	673
14:15	107,2	678
15:51	103,8	674
16:58	103,8	672

Tableau 10 : Jaugeages ADCP le 25 mai à Champagneux

Les données ADCP du 25 mai nous confirment encore une fois l'absence de fond mobile détecté par l'ADCP sur ce tronçon pour les conditions du jour. Les données sont d'assez mauvaise qualité du fait de problèmes de communication entre le PC et l'ADCP.

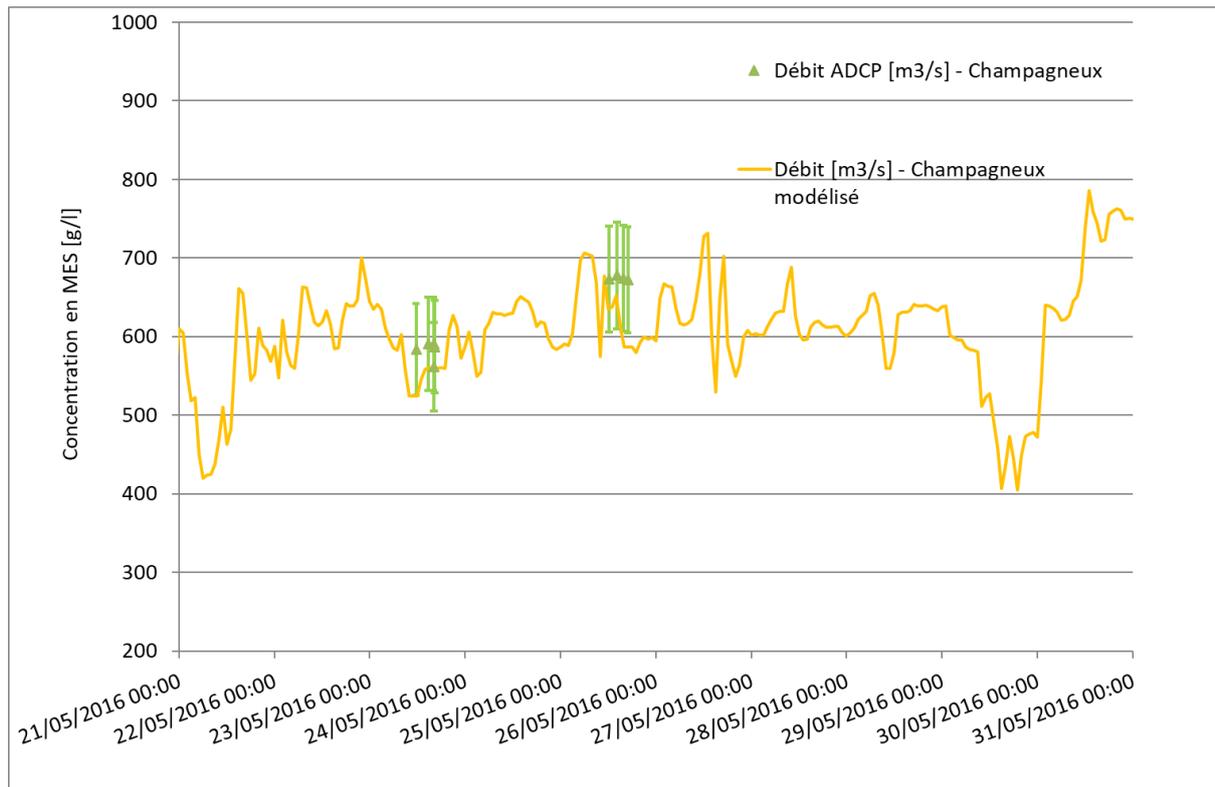


Figure 22 : Variations du débit sur le site de Champagneux

La comparaison des débits mesurés et modélisés montre un léger sous-estimation du modèle de l'ordre de 10% qui reste dans l'enveloppe d'incertitude autour des valeurs mesurées à l'ADCP, qui sont-elles mêmes assez incertaines du fait de difficultés de déploiement.

Concentrations en MES à Champagneux

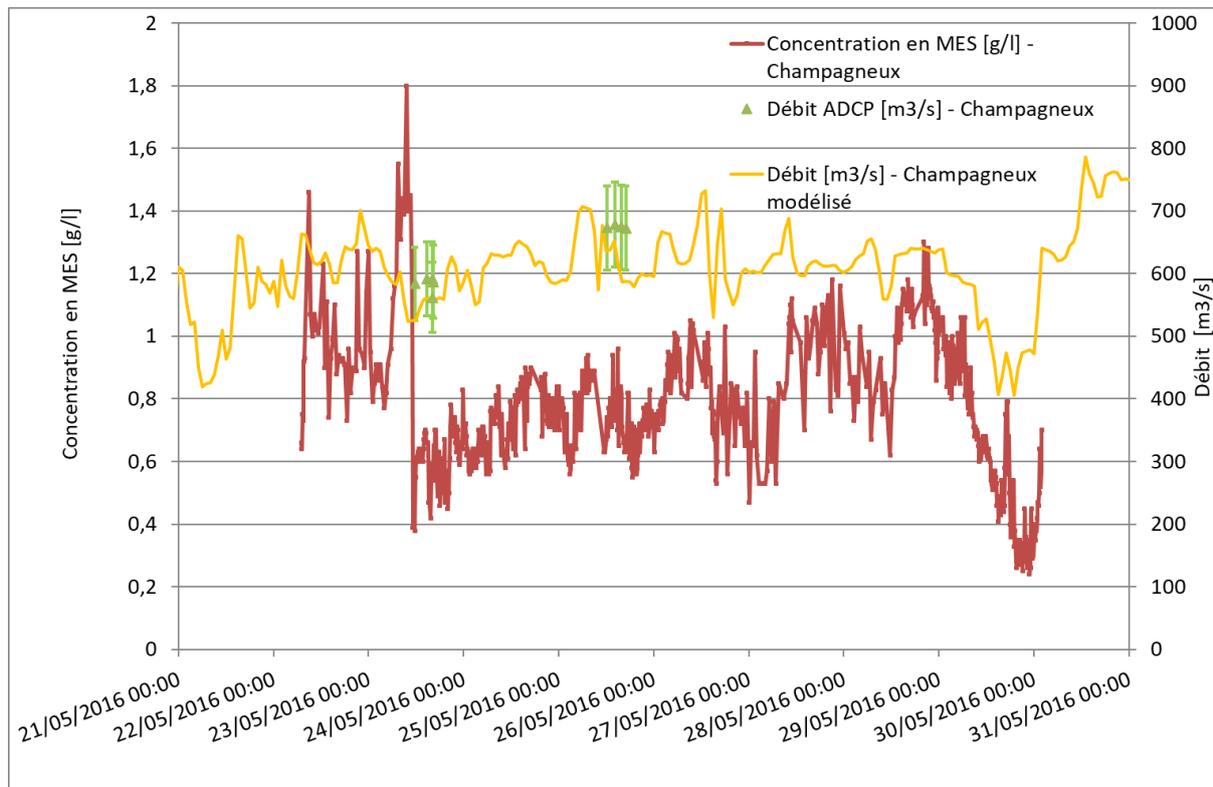


Figure 23 : Variations de concentration en MES et débit à Champagneux

Le signal de concentration en MES établi par la CNR est mesuré en surface avec un turbidimètre placé sur un support flottant et transformé en chronique de concentrations en MES à partir d'analyses de concentration par la technique du Pycnomètre. Dans la matinée du 23 mai on observe une montée brusque puis un abattement de concentration très rapide à 11h, qui est probablement lié à un disfonctionnement de l'instrument.

Echantillons distribués dans la section

Deux bouteilles de Niskin sont déployées depuis deux barques et permettent une prise d'échantillon distribuée dans la section, les Tableau 11 à Tableau 17 montrent la répartition des MES et du sable dans les échantillons récoltés. Les Figure 25 à Figure 27 montrent la répartition spatiale des concentrations.

N° Mesure	Heure	Abscisse (m)	Profondeur (m)	Analyse "traditionnelle"			Sable tamisé > 63 µm (g/l)
				MES (g/l)	% de sable > 63 µm	Sable (g/l)	
1	14:47	50	surface	0.20	0.0	0.0E+00	
2	14:51	50	4	0.63	0.2	9.5E-04	
3	15:02	50	8	0.72	0.1	9.8E-04	
4	15:07	100	surface	0.19	0.0	0.0E+00	
5	15:14	100	3	0.64	0.1	6.3E-04	
6	15:18	100	6	2.19	0.1	2.2E-03	
7	15:22	150	surface	0.13	0.0	0.0E+00	
8	15:28	150	1.5	0.35	0.0	0.0E+00	
9	15:30	150	3	1.03	0.1	1.2E-03	0.02
10	15:32	200	surface	0.17	0.0	0.0E+00	
11	15:35	200	3	0.44	0.1	2.7E-04	
12	15:37	200	5	1.13	0.1	1.4E-03	0.02
13	15:40	250	surface	0.13	0.0	0.0E+00	
14	15:41	250	3	0.33	0.0	0.0E+00	
15	15:47	250	6	0.89	0.1	1.0E-03	

Tableau 11 : Concentrations en MES et sables pour la campagne du 23 mai à Champagneux – Pk 103.2 (Granulo Figure 28)

N° Mesure	Heure	Abscisse (m)	Profondeur (m)	Analyse "traditionnelle"		
				MES (g/l)	% de sable > 63 µm	Sable (g/l)
1	15:05	V1	4.5	0.69	0.2	1.0E-03
2	15:23	V2	4.5	0.99	0.1	1.0E-03
3	15:32	V3	3.5	0.95	0.1	7.9E-04
4	15:44	V4	??	13.38	0.3	3.8E-02
5	16:34	V5	4.8	0.55	0.1	6.7E-04
6	16:34	milieu	4.7	1.79	0.1	9.5E-04

Tableau 12 : Concentrations en MES et sables pour la campagne du 23 mai à Champagneux – Pk 103.6 – Aquascacat

N° Mesure	Heure	Abscisse (m)	Profondeur (m)	Analyse "traditionnelle"			Sable tamisé > 63 µm (g/l)
				MES (g/l)	% de sable > 67 µm	Sable (g/l)	
16	16:25	mi-profil	surface	0.19			
17	16:27	mi-profil	2.5	1.14	0.1	1.3E-03	0.02
18	16:31	mi-profil	5	232	0.2	3.7E-01	
19	16:36	mi-profil	4.5	1.57	0.1	1.7E-03	

Tableau 13 : Concentrations en MES et sables pour la campagne du 23 mai à Champagneux – Pk 103.8

N° Mesure	Heure	Abscisse (m)	Profondeur (m)	Analyse "traditionnelle"			Sable tamisé > 63 µm (g/l)
				MES (g/l)	% de sable > 63 µm	Sable (g/l)	
1	11:37	50	surface	1,17	1,8	0,02	
2	11:40	50	3,5	1,54	3,5	0,05	
3	11:50	50	2,5	1,32	2,4	0,03	0,11
4	11:54	50	1,5	1,27	2,0	0,03	0,09
5	12:03	milieu?	surface	1,04	1,1	0,01	0,17
6	12:13	milieu?	3	1,77	5,4	0,10	
7	12:22	milieu?	1,5	1,15	1,3	0,02	0,06
8	12:33	150	surface	0,36	0,0	0	
9	12:37	150	4	1,69	3,4	0,06	0,23
10	12:42	150	3	1,71	3,3	0,06	0,18
11	12:47	150	2	1,51	2,6	0,04	
12	13:00	150	1	1,38	2,2	0,03	0,08
13	13:11	150	surface	0,69	0,2	0	
14	13:54	50	surface	1,30	2,0	0,03	

Tableau 14 : Concentrations en MES et sables pour la campagne du 25 mai à Champagneux – Pk 107.2

(Répartition Figure 25)

N° Mesure	Heure	Abscisse (m)	Profondeur (m)	Analyse "traditionnelle"			Sable tamisé > 63 µm (g/l)	Turbidité [NTU]
				MES (g/l)	% de sable > 67 µm	Sable (g/l)		
1		40	surface	0,55	0,2	0,00		408
2	13:20	40	2	1,64	2,7	0,04	0,14	656
3	13:29	40	4	3,88	11,2	0,43	1,00	1900
4		80	surface	0,45	0,0	0		
5	13:33	80	3	2,15	3,8	0,08	0,24	900
6	13:43	80	5	2,51	5,9	0,15	2,03	920
7	13:46	120	surface	0,77	0,9	0,01		640
8	13:49	120	2	1,74	3,5	0,06	0,21	890
9	13:51	120	4	2,05	6,0	0,12		870
10	13:53	160	surface	1,45	2,5	0,04	1,69	771
11	13:55	160	1	1,38	2,4	0,03	0,10	800
12	14:01	160	2,5	1,53	3,2	0,05	0,19	850
13	14:02	200	surface	1,00	1,0	0,01		784
14	14:04	200	2	1,46	2,7	0,04	0,11	830
15	14:06	200	3,5	1,61	3,4	0,05	0,17	800

Tableau 15 : Concentrations en MES et sables pour la campagne du 25 mai à Champagneux – Pk 107.2

(Répartition Figure 27)

N° Mesure	Heure	Abscisse (m)	Profondeur (m)	Analyse "traditionnelle"		
				MES (g/l)	% de sable > 63 µm	Sable (g/l)
20	15:34	milieu	4.5	4.51	0.2	9.9E-03
21	15:37	milieu	3.5	1.79	0.8	1.5E-02
22	15:44	milieu	2.5	0.91	1.1	9.9E-03
23	15:45	milieu	1.5	0.50	0.2	8.8E-04
24	15:48	milieu	0.5	0.25	0.0	0
25	16:34	milieu	0.5	0.28	0.0	0

Tableau 16 : Concentrations en MES et sables pour la campagne du 25 mai à Champagneux – Pk 107.2

N° Mesure	Heure	Abscisse (m)	Profondeur (m)	Analyse "traditionnelle"			Sable tamisé > 63 µm (g/l)	Turbidité [NTU]
				MES (g/l)	% de sable > 63 µm	Sable (g/l)		
16		35	surface	0,19	0,0	0		215
17	16:09	35	2	0,94	0,9	0,01		440
18	16:16	35	4	2,42	2,8	0,07	0,10	1245
19	16:18	70	surface	0,19	0,0	0		223
20	16:19	70	3	1,08	0,9	0,01		401
21	16:24	70	5	3,45	0,8	0,03	0,12	1560
22	16:26	105	surface	0,23	0,0	0		238
23	16:28	105	2	0,72	0,8	0,0		410
24	16:31	105	4	91,82	4,0	3,7	4,03	950
25	16:40	140	surface	0,14	0,0	0		280
26	16:40	140	2	0,92	2,2	0,02		455
27	16:45	140	4	1,35	3,1	0,04		660
28		175	surface	3,57	0,6	0,02		280
29	16:51	175	2	0,92	1,0	0,01		455
30	16:53	175	4	1,23	2,3	0,03		660
31	16:50	Berge RD	surface	0,44	0,5	0		
32	16:35	105	3	1,46	1,0	0,01		

Tableau 17 : Concentrations en MES et sables pour la campagne du 25 mai à Champagneux – Pk 103.8 (Granulo Figure 29)

On retrouve un peu de sable (particules > 63µm) grâce à la méthode du « sable tamisé » le 25 mai lors des campagnes de mesure de la mi-journée (entre 3 et 20% de la concentration en MES mesurée).

La comparaison des valeurs mesurées en surface par échantillonnage manuel et le signal enregistré par le turbidimètre CNR installé sur son support n'est pas simple. La concentration en surface semble assez variable latéralement et dans la profondeur. De plus plusieurs Pk ont été explorés durant ces essais ce qui rajoute sans doute de la variabilité.

Exploration de la section par sonde turbidimétrique

Depuis la barque « l'Astuce » deux explorations de la section avec une sonde turbidimétrique Ysi ont été réalisées simultanément aux prélèvements à la bouteille Niskin les 23 et 25 mai. Il est possible de construire une relation entre l'unité NTU et les concentrations en MES pour ces échantillons (Figure 24).

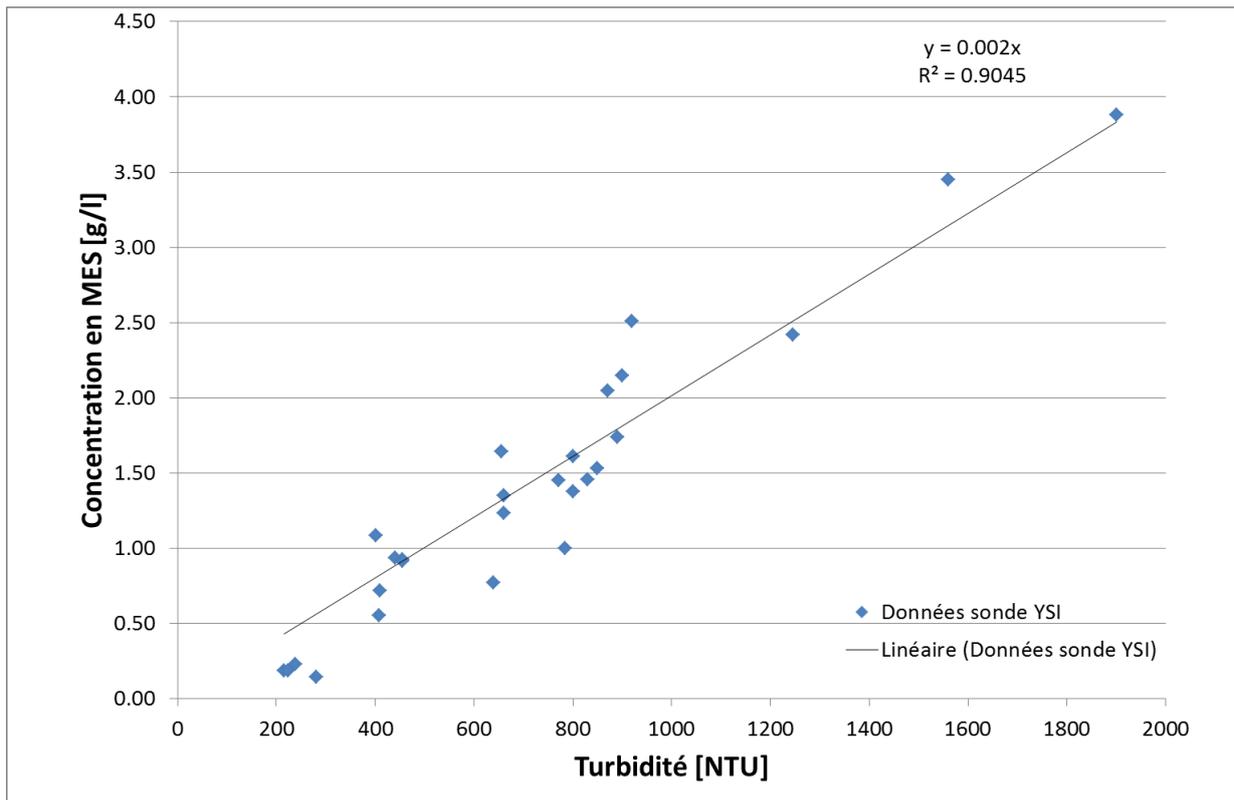


Figure 24 : Relation concentration en MES/ turbidité à Champagneux pour deux campagnes d'exploration les 23 et 25 mai.

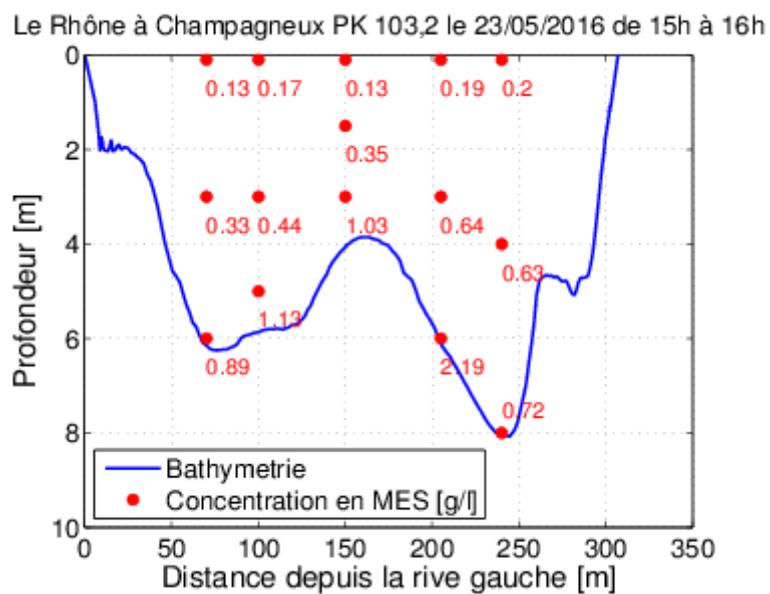


Figure 25 : Le Rhône à Champagneux, concentration en MES totale le 23 mai

Le Rhône à Champagneux PK 103,8 le 25/05/2016 de 16h à 16h30

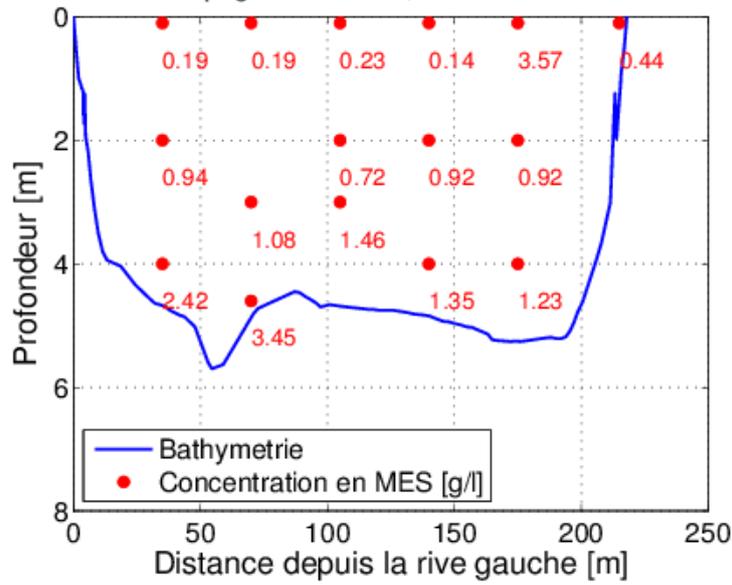


Figure 26 : Le Rhône à Champagneux, concentration en MES totale le 25 mai

Le Rhône à Champagneux PK 107,2 le 25/05/2016 de 15h à 16h

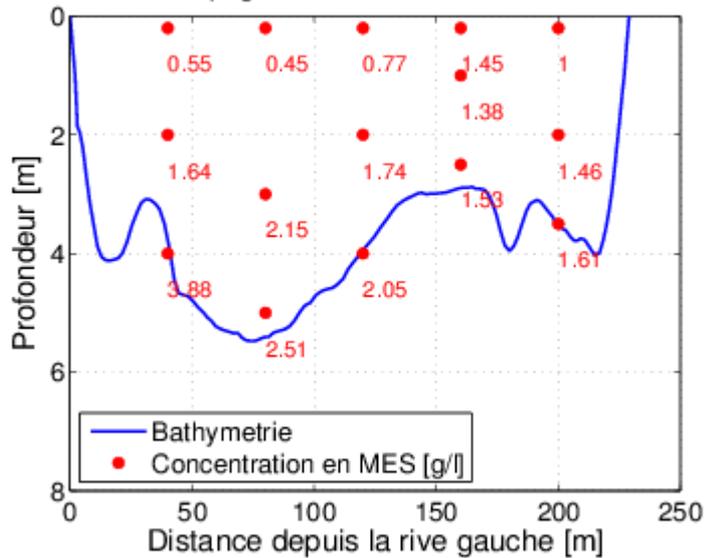


Figure 27 : Le Rhône à Champagneux, concentration en MES le 25 mai

La répartition des concentrations est assez intéressante sur les différentes sections explorées du tronçon de Champagneux, on observe des gradients marqués. On peut noter que ces campagnes d'échantillonnage (ADCP/Niskin) sont beaucoup plus rapidement exécutées que les campagnes avec la traîle de mesure.

Granulométrie des échantillons en suspension à Champagneux

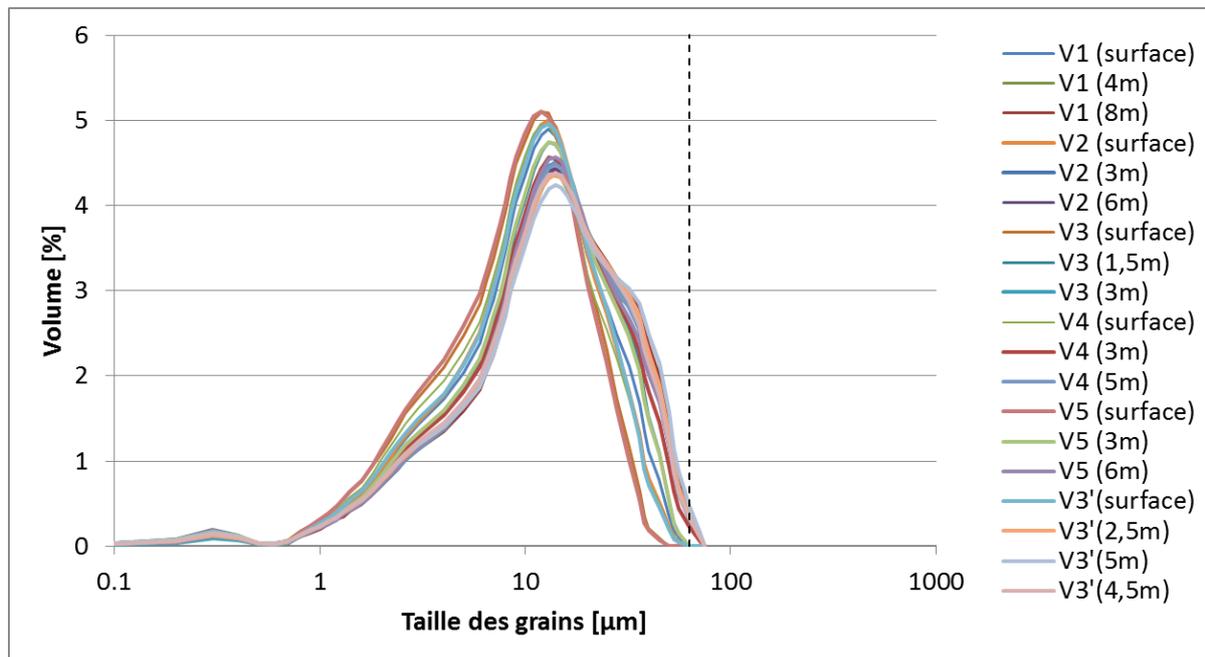


Figure 28 : Distribution granulométrique des échantillons du 23 mai à Champagneux PK 103.2 et PK 103.8

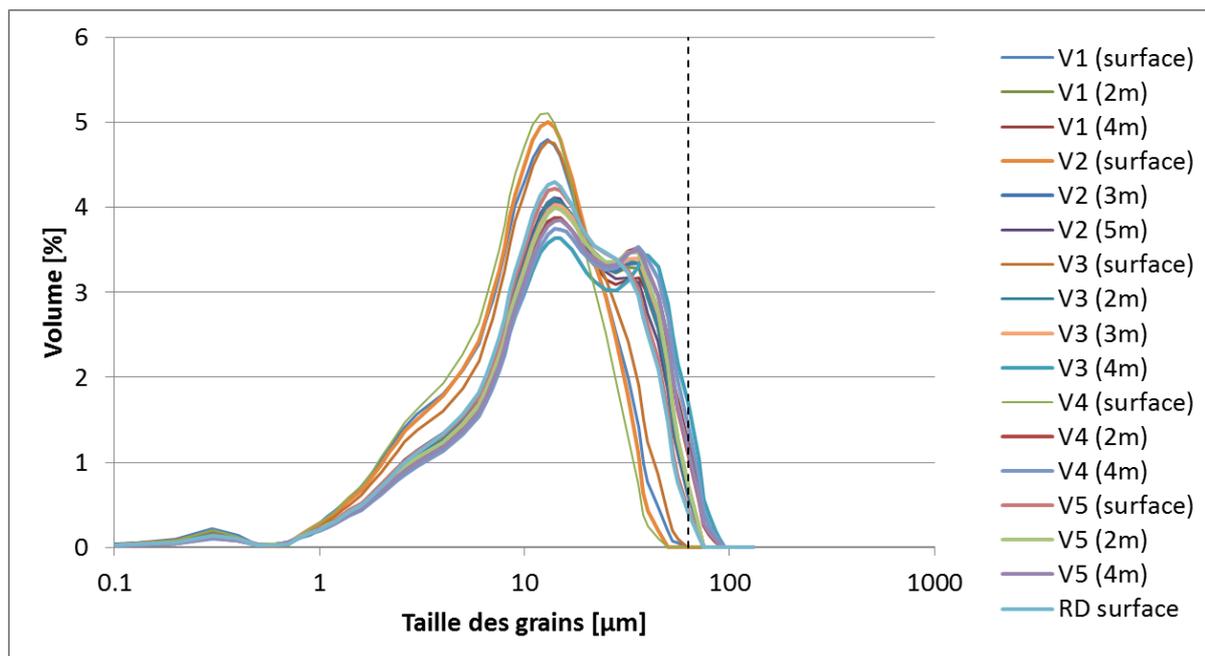


Figure 29 : Distribution granulométrique des échantillons du 25 mai à Champagneux - PK 103.8 (Granulo laser Cilas)

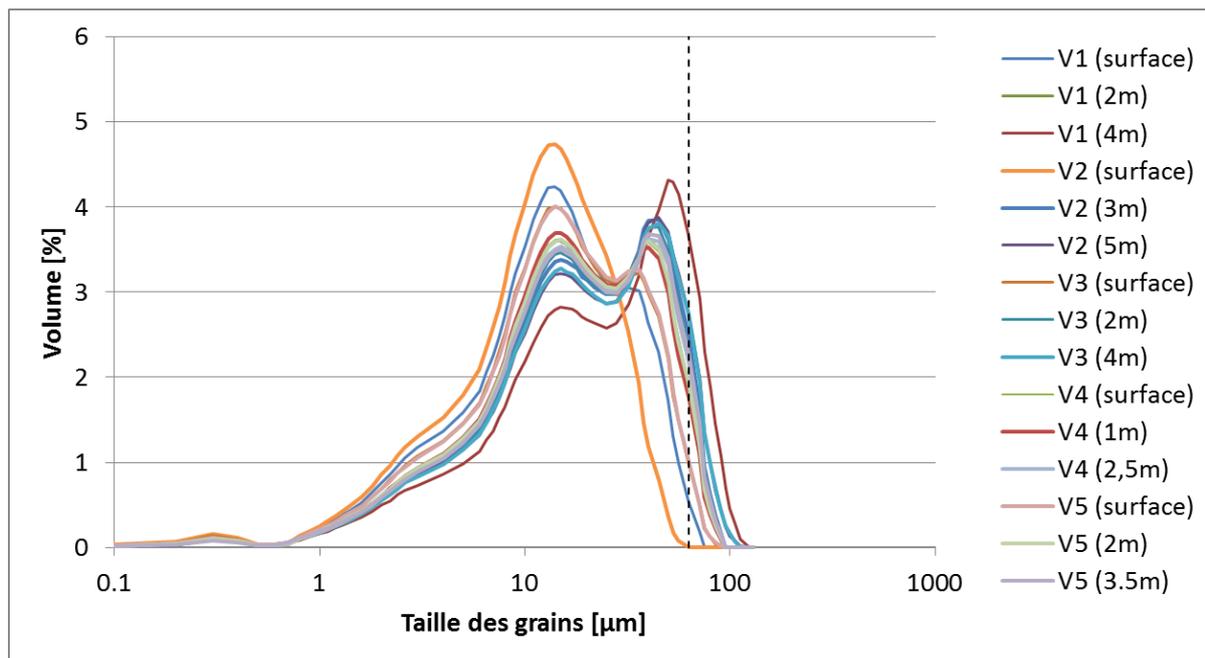
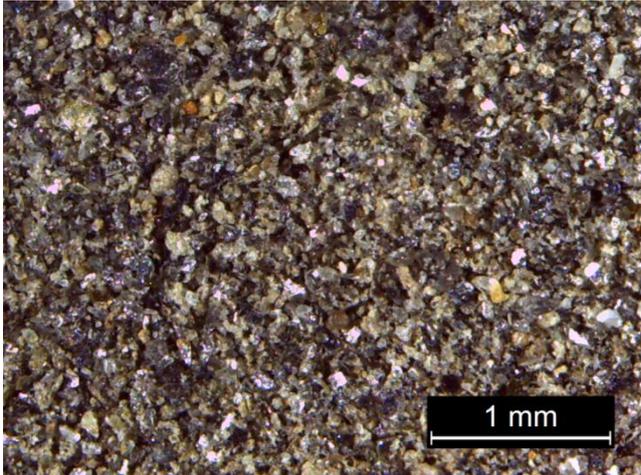
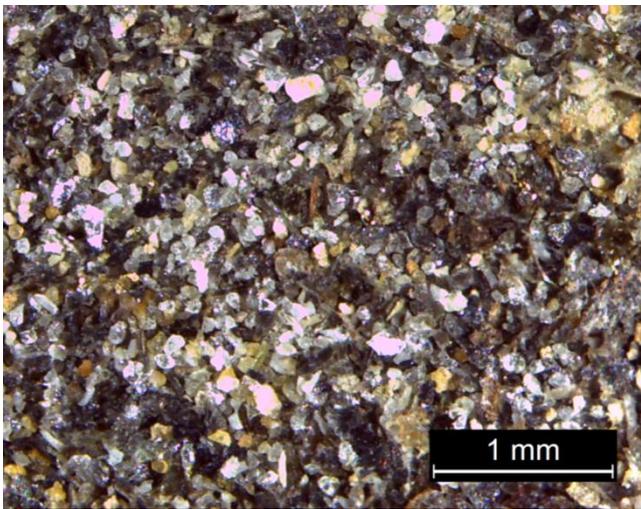


Figure 30 : Distribution granulométrique des échantillons du 25 mai à Champagneux - PK 107.2 (Granulo laser Cilas)

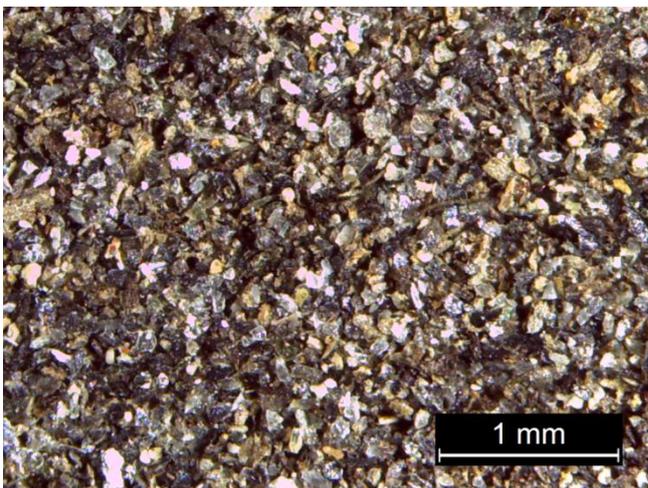
Pour les campagnes de mesures (Figure 25 à Figure 27) réalisées en bateau avec comme préleveur la bouteille de Niskin on obtient des gradients de concentration très cohérents, avec les concentrations qui augmentent avec la profondeur. Au niveau de ce tronçon les vitesses sont moins élevées que sur les sites de Rippes et Bognes. Les photographies des sédiments tamisés (Figure 31) sont cohérentes qualitativement avec les plus grosses particules visibles sur les courbes granulométriques. On relève quelques incohérences dans les échantillons analysés, certains prélèvements ont touché le fond (Tableau 17 échantillon 24) ou sont très/trop concentrés en grosses particules comme l'échantillon de surface 10 du 25 mai (Tableau 15).



23/05/2016 16h34 profondeur 4,8m Pk 103.2



25/05/2016 13h29 profondeur 4m Pk107.2



25/05/2016 16h31 profondeur 4m Pk103.8
Echantillon rentré en contact avec le fond

Figure 31 : Photos des grains en suspension de fond à Champagneux les 23 et 25 mai

3. Calcul des flux de sédiments

3.1 Calcul de flux à Pougny - Rippes

Les données de concentration en MES combinées aux données de débit permettent de mesurer un flux de MES grâce aux outils de calcul de flux développés pour la base BDOH (<https://bdoh.irstea.fr/>). Le flux de MES transporté sur ce tronçon est représenté sur la Figure 32. Le cumul de MES calculé s'élève à 1,25 Mt transitant à Pougny pendant la période de l'APAVER.

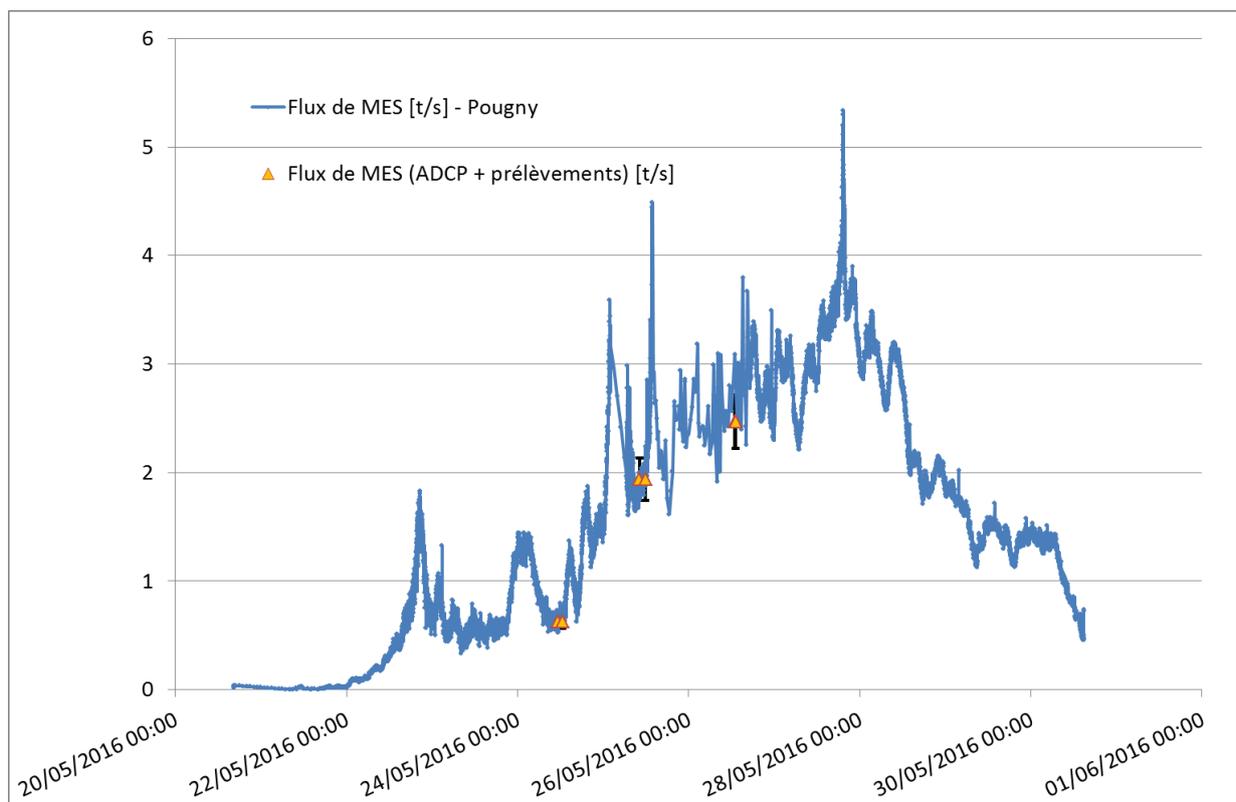


Figure 32 : Flux de MES total à Pougny - Rippes

	Flux du 24 mai [t/s] (11:20 -12:40)	Flux du 25 mai [t/s] (10:10-11:50)	Flux du 26 mai [t/s] (13:00-13:15)
Flux moyen de MES totale mesuré à Pougny (issu du débit CNR et de la turbidité) Moyenne sur la période indiquée en bleu.	0,66	1,93	3,01
Flux de MES totale mesuré aux Rippes (issu des mesures ADCP et prélèvements)	0,63	1,94	2,47
Flux de sable mesuré aux Rippes (issu des mesures ADCP et prélèvements – concentration en sable issu de la combinaison des méthodes granulométrie laser et méthode du sable tamisé)	0,79	0,56	0,78
Flux de sable mesuré aux Rippes (issu des mesures ADCP et prélèvements – concentration en sable issu de la granulométrie laser)	0,07	0,26	0,54
Commentaire			1 seule verticale

Tableau 18 : Comparaison de flux aux Rippes.

En focalisant sur les périodes d'échantillonnage depuis la trille de Rippes et pour aller plus loin dans l'analyse des flux nous avons comparé le flux moyen calculé avec les chroniques de débit et de concentration en MES avec les données issues des mesures ADCP et prélèvements distribués. Pour le site des Rippes-Pougny les résultats sont très comparables pour les MES totale. Pour les flux de sable en suspension suivant le type d'analyse on trouve des résultats très dispersés à l'image des résultats d'analyses, avec des sous-estimations très importantes si on utilise les méthodes de granulométrie classiques.

Un transport par charriage de 13 kg/seconde est calculé pour le 26 mai entre 11h et 12h30 (Tableau 4) à l'aide d'un préleveur Helley Smith.

3.2 Calcul de flux à Bognes

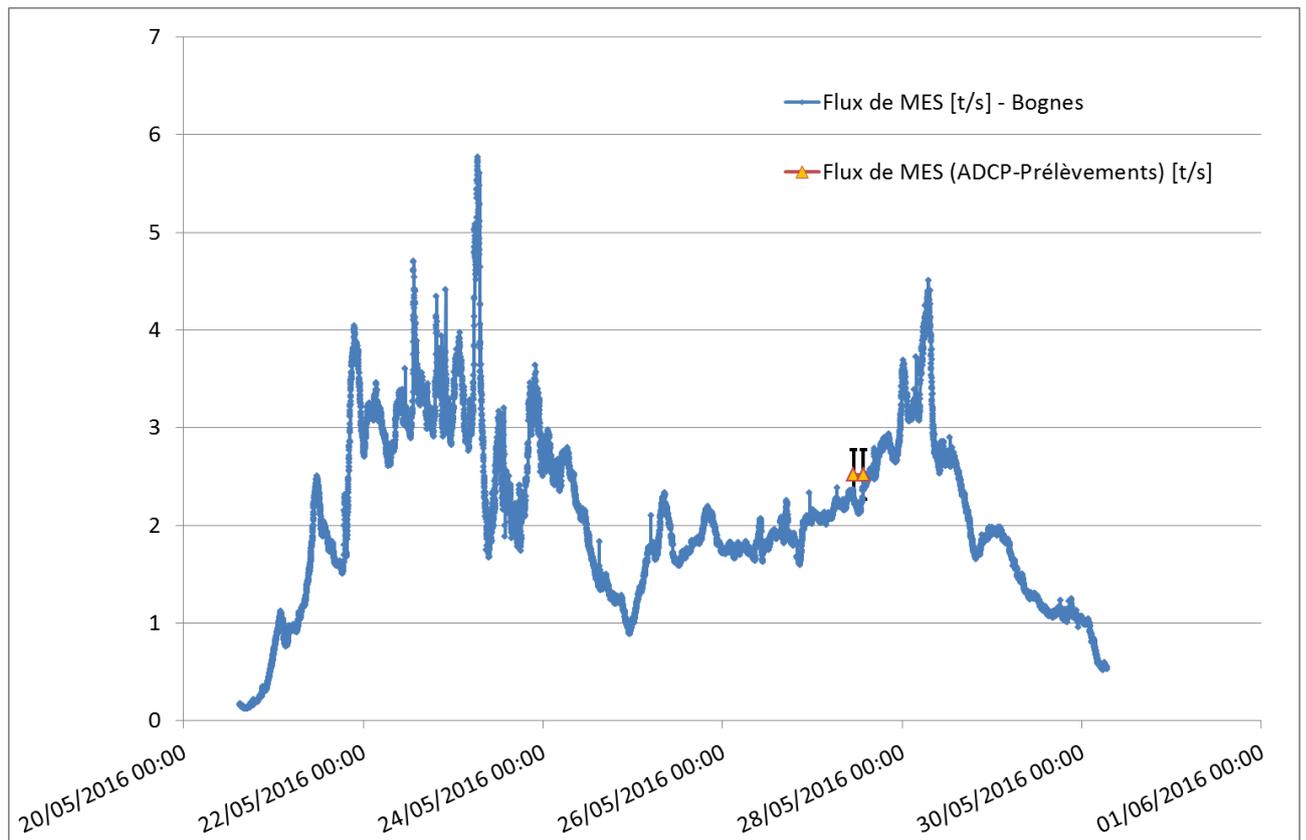


Figure 33: Flux de MES total à Bognes

Les données de concentration en MES combinées aux données de débit permettent de mesurer un flux de MES. Le flux de MES transporté sur ce tronçon pendant l'APAVR est représenté sur la Figure 33. Le cumul de MES calculé s'élève à 1,74 Mt transitant à Bognes soit 0.5 Mt de plus que ce qu'il est calculé à Pougny par la même méthode, sur la même période. Ces valeurs sont à étudier plus précisément notamment en les liant à des temps de propagation et en affinant les périodes de comparaison.

Les données de charriage disponibles pour ce site varient de 1 à 12 kg /min, ce qui est quasi négligeable vis-à-vis des flux transportés en suspension. Mais ces valeurs sont entachées des fortes incertitudes et n'ont pas pu être répétées suffisamment pour être représentatives.

	Flux du 27 mai [t/s] (11:00 -13:40)
Flux moyen de MES mesuré à Bognes (issu du débit CNR et de la turbidité) Moyenne sur la période indiquée en bleu.	2,21
Flux de MES mesuré à Bognes (issu des mesures ADCP et prélèvements)	2,52
Flux de sable mesuré à Bognes (issu des mesures ADCP et prélèvements – concentration en sable issu de la granulométrie laser)	0,39

Tableau 19 : Comparaison des flux à Bognes

3.3 Calcul de flux à Champagneux

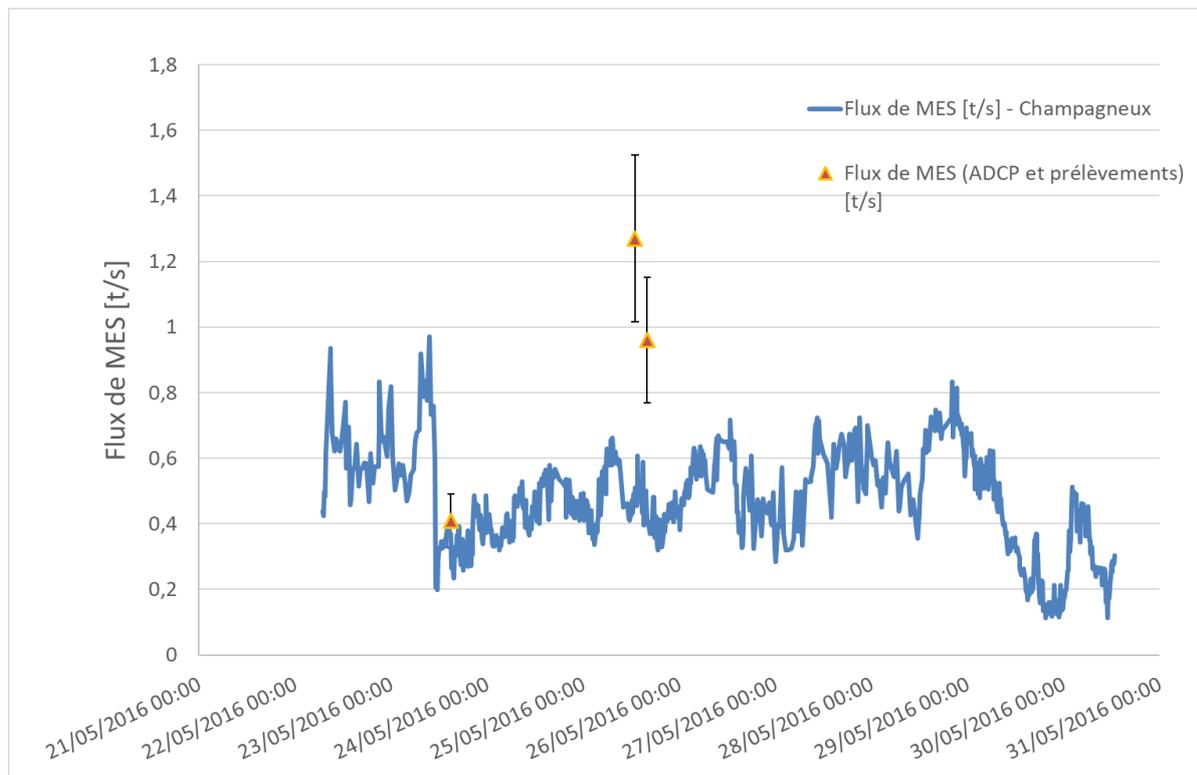


Figure 34 : Flux de MES total à Champagneux

Les données de concentration en MES combinées aux données de débit permettent de mesurer un flux de MES. Le flux de MES transporté sur ce tronçon pendant l'APAVR est représenté sur la Figure 34. Le cumul de MES calculé s'élève à 0,35 Mt transitant entre le 22 mai à 7h et le 30 mai à 11h à Champagneux. Cette estimation est très incertaine du fait des différentes sources d'erreurs évoquées à-propos des mesures sur ce site. Les flux estimés par la méthode ADCP-Prélèvement pour la journée du 25 mai ne sont pas cohérents avec la chronique de flux issue des mesures de turbidité et de débit

modélisé, les variations de répartition des sédiments dans la section expliquent en partie les écarts. Les résultats de calcul pour ce site sont donc à considérer avec la plus grande prudence.

4. Conclusion

Des campagnes de jaugeages solides ont pu être réalisées sur 3 secteurs du Haut-Rhône pendant l'APAVÉR. Sur ces trois sites du sable en suspension graduée a été observé. Ces campagnes ont permis plusieurs avancées dans le domaine de l'observation des flux de sable :

- Les trailles de mesure sont des outils indispensables dans les conditions hydrauliques rencontrées.
- Les préleveurs à déclenchement à distance (OFEV, et P72) sont des outils indispensables pour bien échantillonner dans la section pendant ces évènements.
- En conditions hydrauliques plus favorables permettant le déploiement d'embarcations, les préleveurs type Niskin ont un rendement plus efficace que les systèmes cités précédemment, mais ne permettent pas d'échantillonner proche du fond.
- Les couplages ADCP-GPS et leur déploiement sont également des chaînes de mesure indispensables pour décrire ce type de phénomène.

Plusieurs sources d'incertitude se combinent lors de ces mesures de flux, on peut citer les principales :

- L'intégration spatiale de mesures discrètes dans la section entraîne des incertitudes importantes sur le flux final (des procédures de calcul vont être testées pour améliorer ce point).
- La représentativité temporelle de l'échantillon : il se passe une heure, parfois plus, entre le premier et le dernier échantillon de la campagne de mesure. Lors d'un évènement comme l'APAVÉR les concentrations et leur gradient peuvent changer très rapidement au gré de la reprise du sédiment en amont en fonction de l'avancement des manœuvres sur les organes de barrages.
- La représentativité des sous-échantillons utilisés pour la granulométrie laser ou les filtrations : Effectivement on connaît la difficulté de mettre en suspension des particules de sable, et lors du sous échantillonnage de quelques ml nécessaires pour les analyses on peut perdre une partie de la fraction grossière ou la surévaluer. (nécessité de répéter la mesure sur plusieurs sous-échantillons et d'utiliser une méthode de sous-échantillonnage robuste). La chaîne d'analyse va être analysée et améliorée.

Ces résultats malgré leurs incertitudes sont très riches d'enseignements par rapport au transport du sable en suspension et vont être comparés aux prédictions des modèles théoriques de transport. Lors d'une prochaine campagne de ce type il semble intéressant de tenter de mesurer ces flux avec une fréquence plus élevée peut-être en se focalisant sur un seul site pour multiplier les échantillons en suspension et en charriage. L'utilisation de la bouteille de Delft (préleveur intégrateur de flux de sable) permettrait également d'affiner les mesures de flux. Ainsi nous pourrions mieux décrire l'évolution temporelle de l'évènement et le fonctionnement des processus de transport solide.

Références

Charte qualité de l'hydrométrie. Guide de bonnes pratiques. (2017) - Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer.

HENRY, E. – (2016). Mesures et modélisation des flux de sable dans les cours d'eau : application à une chasse de barrages. Travail de fin d'études, ENTPE, Vaulx en Velin. 88 p. []

POBANZ, K., LE COZ, J., PIERREFEU, G. - (2011). Intercomparaison ADCP sur le Rhône à l'aval du barrage de Génissiat (12-15/10/2010). 59 p. [CHHLY.32604 (LY).]

NF EN 872 - (2005). Qualité de l'eau - Dosage des matières en suspension - Méthode par filtration sur filtre en fibres de verre

ANNEXE 1

Montage du M9

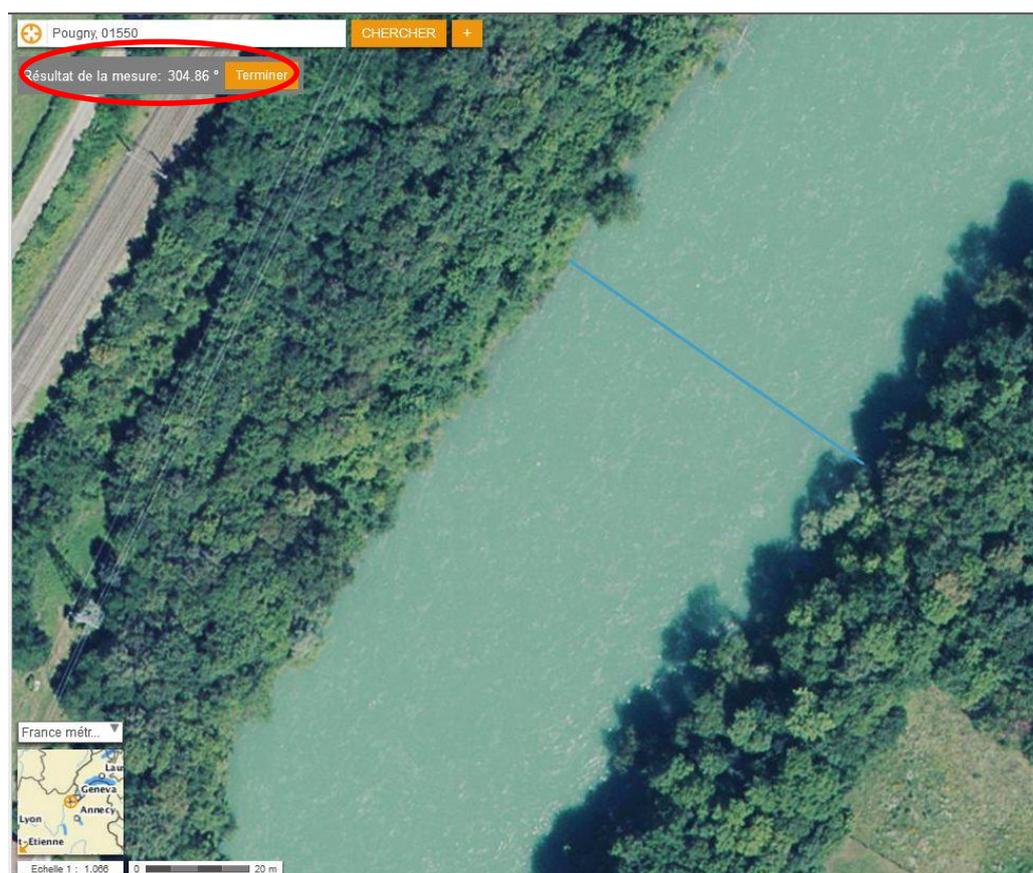
Le M9 avait été monté sur une planche RDI à l'aide d'un système de mâchoires en acier. Il s'est avéré que ces mâchoires pouvaient perturber le compas interne du M9, et des corrections ont été apportées aux mesures brutes, comme décrit ci après.

Mesures M9 du 24/05/2016

4 transects de mesure de débit ont été réalisés (20160524102850r.rivr ; 20160524103548r.rivr ; 20160524104247r.rivr ; 20160524104944r.rivr).

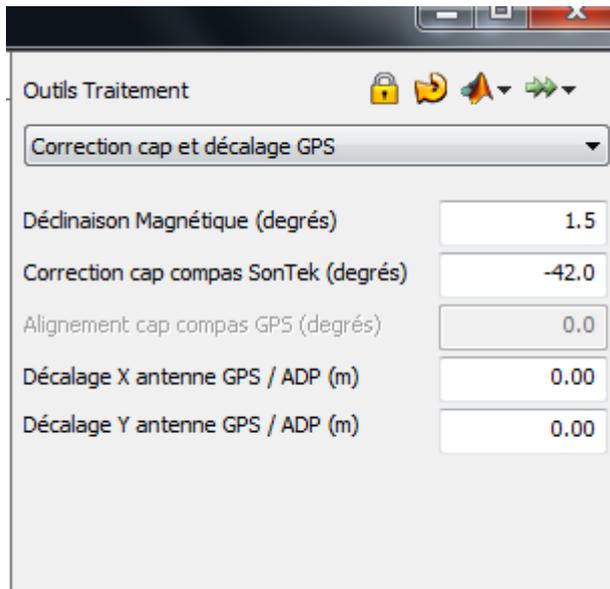
Lors de ces mesures, la forte concentration en MES a rendu impossible le suivi par Bottom Tracking. On utilise donc un suivi par GPS. La déclinaison magnétique du site a été prise à 1.5°.

Sur les données brutes, on constate que la qualité GPS est bonne (assez de satellite, HDOP < 4, qualité GPS > 2). La trace de déplacement GPS du M9 est correcte, avec un cap à 307° pour les allers et 127° pour les retours, ce qui est en adéquation avec l'orientation du Rhône.

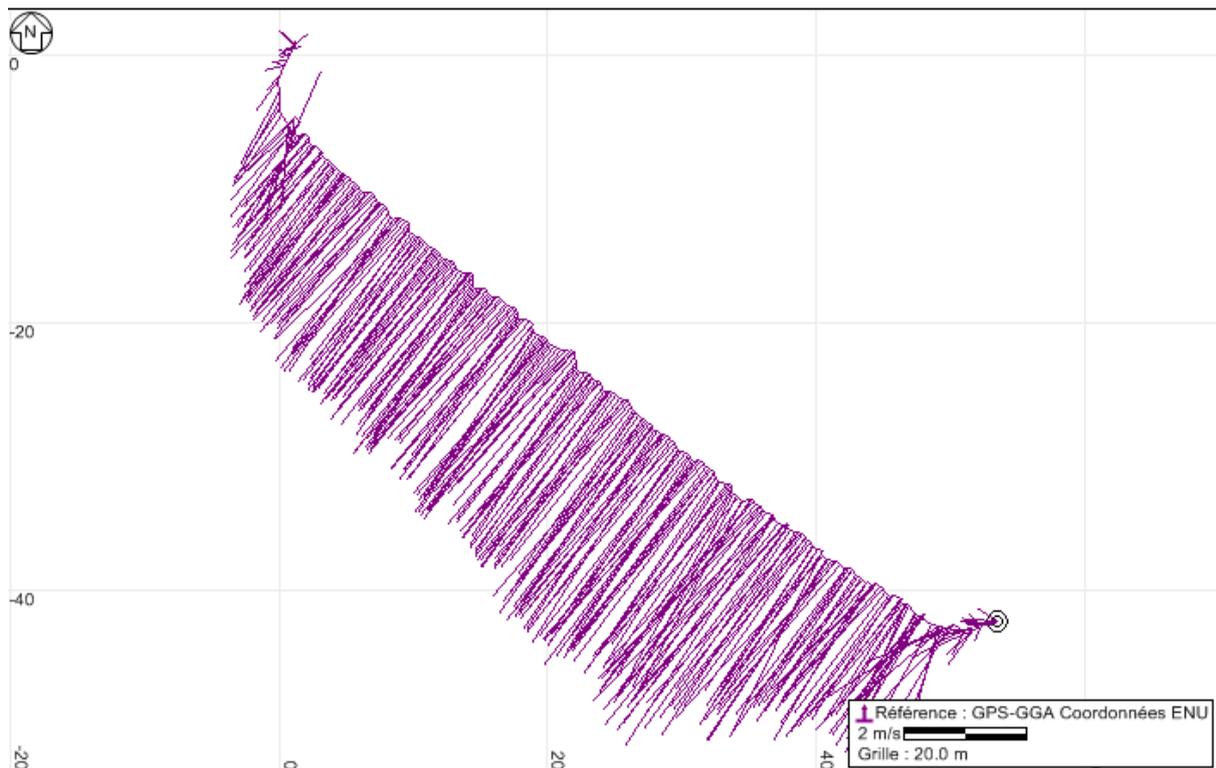


L'orientation des vitesses mesurée par le M9 est de 259°. Ceci n'est pas cohérent, puisque les écoulements sont bien perpendiculaires à la traîle. On devrait donc avoir des écoulements orientés à

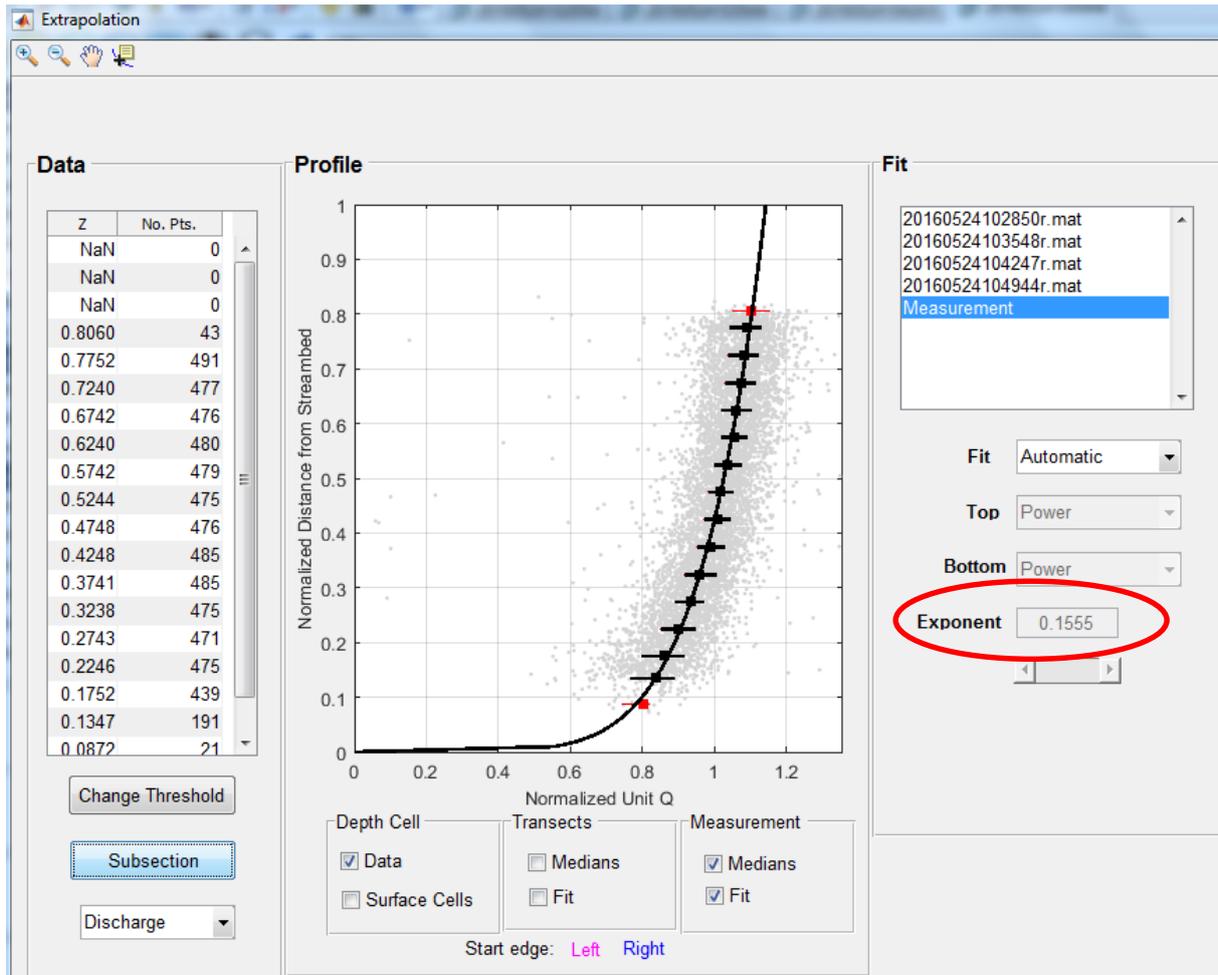
217° (127°+90°). Il y a donc un biais dans le compas interne de -42°, probablement du aux mâchoires métalliques installés pour tenir le M9. On corrige donc ce biais dans le logiciel RSL :



On constate que les vitesses reprennent une orientation perpendiculaire au déplacement de l'ADCP.



L'extrapolation des profils verticaux est réalisée avec une loi puissance au fond et en surface, dont le coefficient est calé à 1/6 (calculé à partir du logiciel QRev de l'USGS).



Les débits ainsi calculés sont répertoriés dans le tableau ci-dessous :

Résultats de Mesure																		
N° Tr	Heure		Distance				Vit. moy.		Débit					%				
#	Heure	Durée	Temp.	Trajet	Corrig.	Largeur	Surface	Bateau	Eau	Gauche	Droite	Haut	Médian	Fond	Total	LCTotal	Mesuré	
1	B	10:28:50	0:06:32	9.7	98.41	67.98	75.976	145.078	0.251	2.585	-0.03	-0.01	60.61	284.21	30.31	375.093	--	75.8
2	B	10:35:49	0:06:42	9.5	96.51	71.23	79.230	147.269	0.240	2.581	-0.15	-0.04	61.70	289.59	29.00	380.108	--	76.1
3	B	10:42:48	0:06:46	9.5	99.10	72.01	80.005	150.561	0.244	2.474	-0.11	0.08	60.83	284.57	27.07	372.431	--	76.4
4	B	10:49:45	0:06:16	9.5	93.28	71.05	79.047	148.150	0.248	2.612	-0.11	0.03	63.08	292.85	31.17	387.023	--	75.6
			Moyenne	9.6	96.82	70.56	78.565	147.765	0.246	2.563	-0.10	0.01	61.56	287.81	29.39	378.664	0.000	76.0
			Déviat	0.1	2.26	1.54	1.537	1.964	0.004	0.053	0.04	0.04	0.97	3.61	1.55	5.558	0.000	0.3
			Ecart	0.0	0.023	0.022	0.020	0.013	0.017	0.021	-0.423	3.262	0.016	0.013	0.053	0.015	0.000	0.004
			Type															

On a donc un débit moyen de 379 m3/s, avec une très bonne répétabilité des mesures.

Mesures M9 du 25/05/2016

6 transects de mesure de débit ont été réalisés : 20160525084935r.rivr ; 20160525085742r.rivr ; 20160525090834r.rivr ; 20160525091546r.rivr ; 20160525093028r.rivr ; 20160525094041r.rivr.

Comme pour les mesures du 24, les fortes concentrations en MES ont perturbé le suivi BT, et seul la trace GPS est disponible (et de bonne qualité).

On fait le même constat que pour les mesures du 24/05 en termes de biais de compas. Les mesures sont donc dépouillées avec une déclinaison magnétique de 1,5 ; une correction de compas de -42° et une extrapolation verticale e loi puissance à coefficient 1/6 (vérifie avec QRev).

Les débits ainsi calculés sont répertoriés dans le tableau ci-dessous :

Résultats de Mesure																	
N° Tr	Heure			Distance				Vit. moy.		Débit						%	
#	Heure	Durée	Temp.	Trajet	Corrig.	Largeur	Surface	Bateau	Eau	Gauche	Droite	Haut	Médian	Fond	Total	LCTotal	Mesuré
1 B	08:49:37	0:06:30	11.4	82.72	66.14	75.143	174.124	0.212	2.491	1.91	0.19	63.06	334.06	34.54	433.759	--	77.0
2 B	08:57:44	0:06:57	11.0	86.20	69.56	77.563	172.597	0.207	2.518	-0.31	0.08	62.47	339.03	33.40	434.685	--	77.9
3 B	09:08:35	0:06:09	10.8	76.73	66.62	76.621	170.844	0.208	2.508	1.17	0.41	62.10	332.52	32.25	428.445	--	77.6
4 B	09:15:48	0:06:10	10.7	78.20	69.74	77.745	173.050	0.211	2.506	0.12	0.69	62.67	333.89	36.32	433.681	--	77.0
5 B	09:30:31	0:06:32	10.6	88.80	67.06	77.059	172.165	0.227	2.405	-0.89	0.61	60.36	320.94	33.02	414.031	--	77.2
6 B	09:40:44	0:09:06	10.5	85.19	66.69	75.687	172.316	0.156	2.467	-0.67	1.02	61.60	330.11	33.01	425.081	--	77.4
		Moyenne	10.8	82.97	67.64	76.636	172.516	0.203	2.483	0.22	0.50	62.05	331.76	33.76	428.280	0.000	77.4
		Déviatio std	0.3	4.30	1.45	0.948	0.986	0.022	0.038	1.00	0.31	0.88	5.53	1.33	7.229	0.000	0.3
		Ecart Type	0.0	0.052	0.021	0.012	0.006	0.109	0.015	4.530	0.630	0.014	0.017	0.040	0.017	0.000	0.004
Durée d'utilisation : 0:41:24																	
Tr1=20160525084935r.rivr; Tr2=20160525085742r.rivr; Tr3=20160525090834r.rivr; Tr4=20160525091546r.rivr; Tr5=20160525093028r.rivr; Tr6=20160525094041r.rivr;																	

On a donc un débit moyen de 428 m3/s, avec une très bonne répétabilité.

Mesures M9 du 26/05/2016

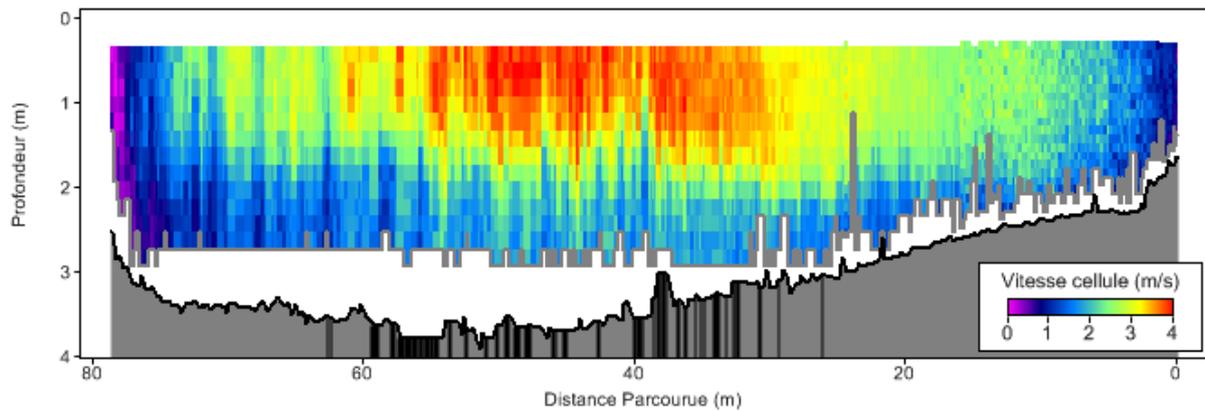
Ces mesures sont composées de :

- 6 transects de mesure de débit (20160526085214r.rivr ; 20160526085940r.rivr ; 20160526090617r.rivr ; 20160526091247r.rivr ; 20160526091932r.rivr ; 20160526092647r.rivr)
- 4 mesures stationnaires (20160526094337r.rivr ; 20160526095037r.rivr ; 20160526095648r.rivr ; Smba_20160526093703r.rivr).

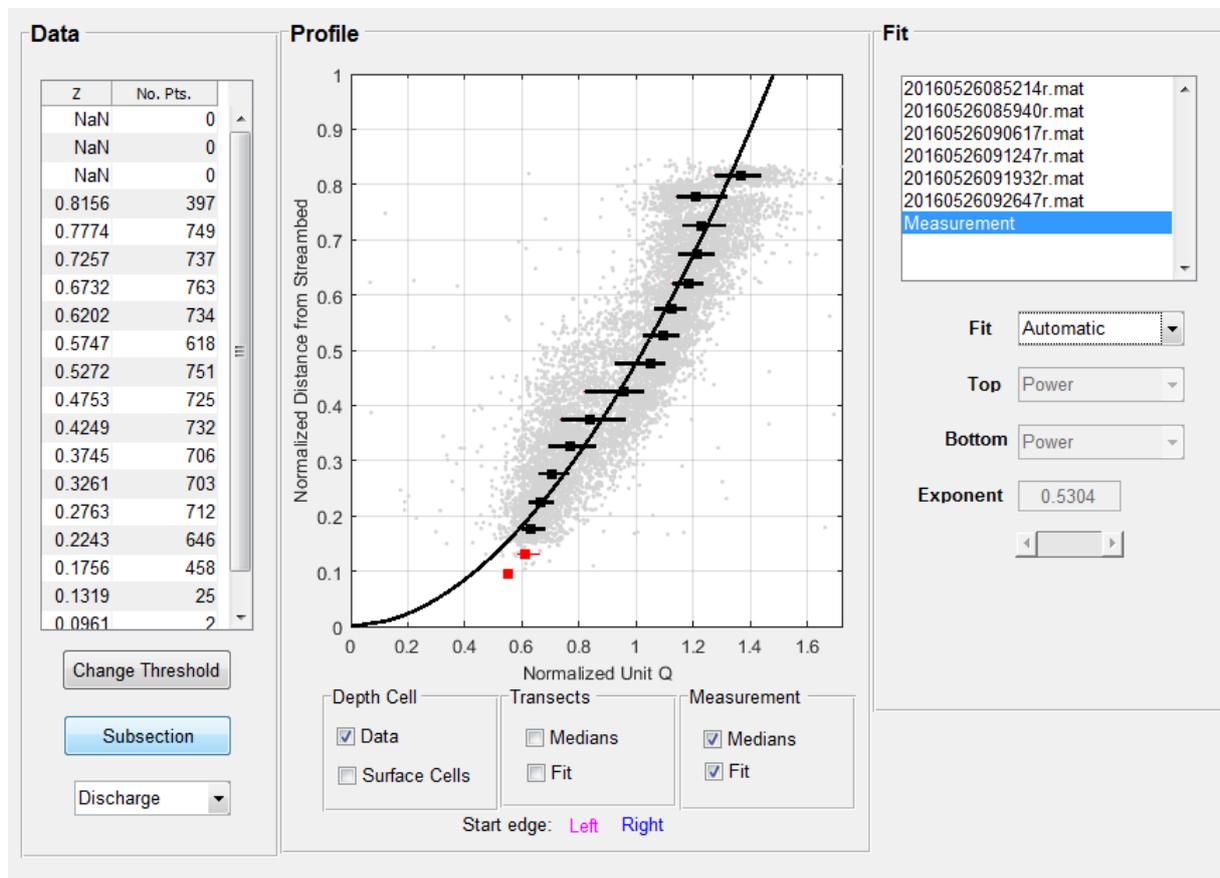
Comme pour les mesures du 24, les fortes concentrations en MES ont perturbé le suivi BT, et seul la trace GPS est disponible (et de bonne qualité). Les mesures stationnaires ne sont donc pas utilisables pour de l'analyse de fond mobile.

Le compas a été étalonné le 26/05. On constate que le biais dans la direction des écoulements est de -20° avec ce nouvel étalonnage.

La distribution verticale des vitesses n'est plus la même le 26 (changement de mode de restitution du débit par le barrage ?). On constate des vitesses rapides en surface, et donc un profil vertical accéléré vers la surface, qui ne suit plus une loi puissance, comme illustré dans la figure ci-dessous :



On utilise donc une extrapolation puissance avec un coefficient plus élevé, de 0,53 (calé avec QRev).

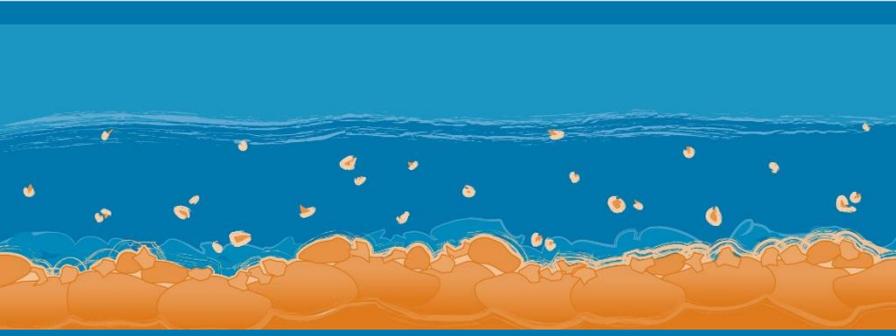


Les mesures sont donc dépouillées avec une déclinaison magnétique de 1,5 ; une correction de compas de -20° et une extrapolation verticale en loi puissance à coefficient 0.53 (vérifiée avec QRev).

Les débits ainsi calculés sont répertoriés dans le tableau ci-dessous :

Résultats de Mesure																	
N° Tr	Heure			Distance				Vit. moy.		Débit						%	
#	Heure	Durée	Temp.	Trajet	Corrig.	Largeur	Surface	Bateau	Eau	Gauche	Droite	Haut	Médian	Fond	Total	LCTotal	Mesuré
1 B	08:52:18	0:06:25	11.9	81.98	68.08	74.076	208.819	0.213	2.095	0.55	0.82	68.76	335.08	32.38	437.579	--	76.6
2 B	08:59:45	0:06:13	11.6	78.85	68.76	75.257	215.003	0.211	2.084	0.32	0.75	69.50	346.78	30.67	448.022	--	77.4
3 B	09:06:22	0:06:11	11.3	78.23	67.51	74.508	213.837	0.211	2.087	0.26	1.51	68.57	341.64	34.23	446.200	--	76.6
4 B	09:12:51	0:06:14	11.1	78.83	67.85	74.846	214.248	0.211	2.106	-0.02	1.27	69.63	348.15	32.08	451.110	--	77.2
5 B	09:19:37	0:06:14	11.0	76.61	67.37	74.370	215.093	0.205	2.054	0.16	1.26	67.79	341.94	30.58	441.727	--	77.4
6 B	09:26:52	0:06:11	11.0	82.17	66.75	73.751	213.250	0.221	2.103	0.51	1.30	68.41	345.80	32.39	448.411	--	77.1
		Moyenne	11.3	79.44	67.72	74.468	213.375	0.212	2.088	0.30	1.15	68.78	343.23	32.05	445.508	0.000	77.0
		Déviat ion std	0.3	2.00	0.62	0.491	2.135	0.005	0.017	0.19	0.27	0.63	4.36	1.23	4.542	0.000	0.3
		Ecart Type	0.0	0.025	0.009	0.007	0.010	0.023	0.008	0.657	0.237	0.009	0.013	0.038	0.010	0.000	0.005
Durée d'utilisation : 0:37:28																	
Tr1=20160526085214.rivr; Tr2=20160526085940.rivr; Tr3=20160526090617.rivr; Tr4=20160526091247.rivr; Tr5=20160526091932.rivr; Tr6=20160526092647.rivr;																	

Le débit moyen est de 446 m3/s, avec une très bonne répétabilité.



Observatoire des Sédiments du Rhône



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