HAL
open science

Monitoring du charriage avec une trappe à fente, observatoire de Draix

Frédéric Liébault, Sebastien Klotz, Hugo Jantzi, Xavier Ravanat

To cite this version:

Frédéric Liébault, Sebastien Klotz, Hugo Jantzi, Xavier Ravanat. Monitoring du charriage avec une trappe à fente, observatoire de Draix. Monitoring en milieux naturels. Retours d'expériences en terrains difficiles, 19, Université de Savoie, pp.221-226, 2017. hal-02490885

HAL Id: hal-02490885

https://univ-tlse2.hal.science/hal-02490885v1

Submitted on 25 Feb 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.

MONITORING DU CHARRIAGE AVEC UNE TRAPPE À FENTE, OBSERVATOIRE DE DRAIX

Bedload monitoring at Draix using a slot sampler

Frédéric LIEBAULT, Sébastien KLOTZ, Hugo JANTZI, Xavier RAVANAT

Université Grenoble-Alpes, Irstea, UR ETNA, Domaine Universitaire,
2 rue de la Papeterie BP76, 38402 Saint-Martin-d'Hères cedex.

Contact : frederic.liebault@irstea.fr

Résumé

La mise en service d'une trappe à fente sur le site du Moulin à Draix en septembre 2011 a permis de quantifier le flux charrié spécifique sur un pas de temps de 10 s et de capturer les fluctuations du transport solide par charriage à l'échelle de l'événement hydrologique. Les valeurs de flux charrié spécifique sont proches des extrêmes publiés dans la littérature, ce qui souligne le caractère exceptionnel du transport solide par charriage des Terres Noires préalpines. Les résultats confirment que le dispositif permet de séparer de manière efficace le charriage de la suspension pour des écoulements dont la concentration en fines atteint plusieurs centaines de g/l.

***Mots-clés** : transport solide, charriage, mesure automatique, trappe a fente, observatoire de Draix.*

Abstract

The deployment of a slot sampler in the Moulin ravine at Draix in September 2011 allowed quantifying 10 s unit bedload fluxes and capturing bedload transport fluctuations at the scale of the flow event. Unit bedload fluxes of the Moulin are very close to the highest hitherto reported values in the literature, underlining the exceptional bedload transport conditions of the prealpine black marls domain. Results confirm that the device offers an efficient separation of bedload and suspended load during flows with suspended sediment concentrations reaching several hundreds of g/l.

***Keywords**: bedload transport, automatic monitoring, slot sampler, Draix observatory.*

Introduction

L'observatoire de Draix, situé dans les Alpes-de-Haute-Provence, enregistre depuis le début des années 1980 l'hydrologie et le transport solide de petits bassins versants torrentiels qui se sont formés dans les Terres Noires des Préalpes de Digne (Mathys, 2006). Dédié à l'origine aux effets du reboisement sur les réponses hydrologiques et sédimentaires des roubines duranciennes, l'observatoire constitue aujourd'hui un site atelier de recherches interdisciplinaires sur le fonctionnement de la zone critique, qui rassemble une dizaine de laboratoires fédérés au sein d'un groupement d'intérêt scientifique (GIS Draix-Bléone). Parmi les enjeux scientifiques qui structurent les recherches actuelles, la question des réponses sédimentaires aux forçages météorologiques occupe une place centrale.

L'analyse des réponses sédimentaires requiert une métrologie capable de bien restituer la variabilité temporelle des flux solides au pas de temps court. L'usage combiné de turbidimètres et de préleveurs d'échantillons a permis très tôt de capturer le passage des bouffées de charge en suspension et de les mettre en lien avec le débit liquide à l'échelle de l'événement hydrologique. En revanche, cette approche n'a pu être mise en œuvre que très récemment sur la fraction grossière du transport solide, grâce au déploiement d'une trappe à fente en 2011 sur le site du Moulin. Avant cette date, le charriage n'était mesuré qu'au moyen d'une plage de dépôt dont le suivi topographique ne donne qu'un volume déposé entre deux relevés, ceux-ci pouvant intercepter plusieurs pics de crue. La présence de dépôts de fines dans la zone distale des plages de dépôt montre d'autre part que ces dispositifs ne permettent pas toujours une bonne séparation entre la suspension et le charriage, ce qui pose problème lorsqu'on souhaite conduire une analyse fine du flux charrié. L'installation d'une trappe à fente a permis de résoudre ces problèmes et de répondre à plusieurs objectifs : (i) la quantification du flux charrié spécifique au pas de temps court, (ii) la caractérisation des fluctuations du charriage à l'échelle de l'événement hydrologique, (iii) l'évaluation du bon fonctionnement des trappes à fente dans des conditions d'écoulement à très forte concentration en fines. La trappe à fente du Moulin n'est pas seulement la première déployée en France, elle est aussi la première qui permet de tester l'efficacité d'un tel dispositif dans des conditions d'écoulement hyperconcentré.

La trappe a fente du Moulin

Le site du Moulin à Draix

La ravine du Moulin draine un bassin versant dégradé de 8,9 ha inscrit dans les marnes noires du Jurassique (Figure 1A). Les altitudes sont comprises entre 850 et 925 m. Le transport solide à l'exutoire (suspension et charriage) et l'hydrologie sont mesurés de façon permanente depuis 1988. Le suivi régulier d'une plage de dépôt de 215 m^3 à l'exutoire donne un charriage annuel moyen de 2810 t/km^2/an (Liébault et *al*., 2016). Les concentrations de matières en suspension (MES) pendant les crues atteignent régulièrement plusieurs centaines de grammes par litre (Mathys, 2006). Malgré la taille modeste de son bassin versant, la ravine du Moulin se caractérise par la présence d'un système alluvial confiné, dont le fonctionnement contribue à réguler le charriage à l'exutoire (Figure 1B). La trappe à fente a été installée à une dizaine de mètres en amont de la plage de dépôt, à l'entrée d'un bief rectiligne de section trapézoïdale dont la pente est de 0,045 m/m, la largeur à pleins bords de 2,7 m et le diamètre médian des sédiments de surface (D_{50}) de 2 mm. Un seuil de calage en béton a été construit en aval immédiat de la trappe afin de stabiliser la section de mesure et de s'assurer que la plaque de couverture du dispositif soit en permanence à fleur du lit alluvial.

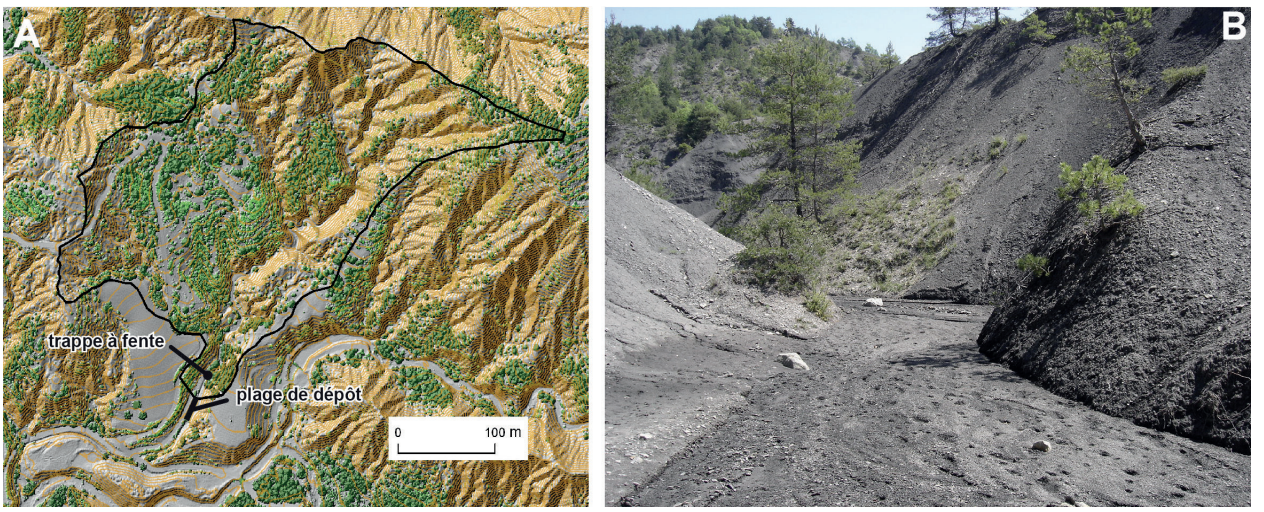


Figure 1 - Le site du Moulin à Draix. A) Localisation du dispositif de mesure du charriage dans le bassin versant (ombrage du MNT LiDAR de 2007, courbes de niveau 2 m en jaune, couverture végétale en vert, limites du bassin versant en noir). B) Le lit du cours inférieur du Moulin en amont du dispositif de mesure, après une crue de printemps, illustrant la présence d'un système alluvial confiné entre des versants actifs.

Conception, installation et fonctionnement du dispositif de mesure

Les trappes à fente (*Birkbeck* ou *Reid slot samplers*) sont considérées comme les appareillages parmi les plus efficaces pour séparer le charriage de la suspension pendant l'écoulement (Reid et *al*., 1980 ; Laronne et *al*., 2003). Elles présentent également l'intérêt majeur d'être non intrusives, au sens où elles ne perturbent que très modérément l'écoulement de surface. Elles sont ainsi à même de fournir une mesure fiable du flux charrié spécifique (par unité de largeur) sur un pas de temps court. La mesure se fait de manière automatique, en absence d'opérateur. Cet équipement fonctionne comme une balance qui pèse continuellement la masse des sédiments qui passent au travers d'une fente en travers du lit, et qui se déposent dans une fosse excavée dans le fond du lit. Les sédiments s'accumulent dans un caisson qui repose sur un coussin rempli d'eau relié à un capteur de pression (capteur Druck PTX5032 300 mbar compensé en température). Un deuxième capteur identique est utilisé pour mesurer la pression hydrostatique, et le différentiel de pression entre les deux capteurs donne une mesure de la masse sédimentaire qui s'accumule dans le caisson. La mesure s'arrête lorsque la capacité du caisson est atteinte, ce qui peut être plus ou moins rapide en fonction de l'intensité du flux et de la largeur d'ouverture de la fente. Ces dispositifs n'ont donc pas vocation à fournir un enregistrement continu du transport solide sur l'ensemble de la crue, mais plutôt de délivrer une mesure physique directe et ponctuelle du flux, qui puisse être mise en relation avec la contrainte hydraulique coïncidente. Le fait que les sédiments soient collectés dans un réservoir offre également la possibilité d'analyser la distribution granulométrique du charriage.

La trappe déployée au Moulin est opérationnelle depuis septembre 2011. Elle présente une capacité de

0,34 m³ (~440 kg). Elle est équipée de deux capteurs de pression ventilés de haute précision (0,04% d'une pleine échelle de 300 mbar, soit 1,2 mm de hauteur d'eau), qui permettent une résolution de mesure de 1,33 kg (IC 95%). Les signaux sont enregistrés sur une centrale Campbell CR1000 selon une fréquence de 10 s. Un portique équipé d'un treuil à chaîne permet de soulever le caisson et de le déposer en berge pour l'échantillonnage et l'évacuation des sédiments (Figure 2A). Le caisson est muni d'une porte latérale qui permet de visualiser la stratification des dépôts et de faciliter les prélèvements (Figure 2B). La plaque de couverture est équipée d'un dispositif permettant d'ajuster la largeur et la position de l'ouverture (Figure 2C). Après plusieurs essais, une ouverture de 8 cm a été adoptée comme un bon compromis entre le calibre maximal des particules que l'on peut soustraire à l'écoulement et la vitesse de remplissage du caisson. Il est également apparu nécessaire de déployer des ailettes latérales de part et d'autre de l'ouverture afin d'éviter que le flux solide ne soit capté sur les marges de la fente, un cas de figure fréquent d'après les premiers résultats obtenus. La longueur de l'ouverture dans le sens de l'écoulement a été fixée à 50 cm (100 fois la taille médiane des sédiments du lit), ce qui est largement suffisant pour capter les particules en saltation. Une courbe de calibration du dispositif a été obtenue en déposant des blocs de béton de volume et de masse connus dans le caisson ennoyé. Un ajustement linéaire permet de convertir le différentiel de pression en masse solide déjaugée, selon une constante de calibration de 399,9 (Figure 3), très proche de la constante théorique déduite de la surface de la base du caisson et de la masse volumique de l'eau (395,8).

Un protocole de traitement des données a été défini de manière à calculer le flux solide spécifique à partir des signaux de pression (Figure 4). Lorsque le gradient d'augmentation du différentiel de pression sur le pas d'échantillonnage est supérieur au seuil de détection des capteurs, une masse déjaugée est calculée puis convertie en masse à partir de la densité du sédiment (2650 kg/m³) et de la densité du fluide corrigée de la concentration en fines mesurée à partir des prélèvements ISCO. L'analyse granulométrique a posteriori des dépôts permet ensuite de retirer la masse des particules fines (<0,063 mm) dans le calcul du flux charrié.

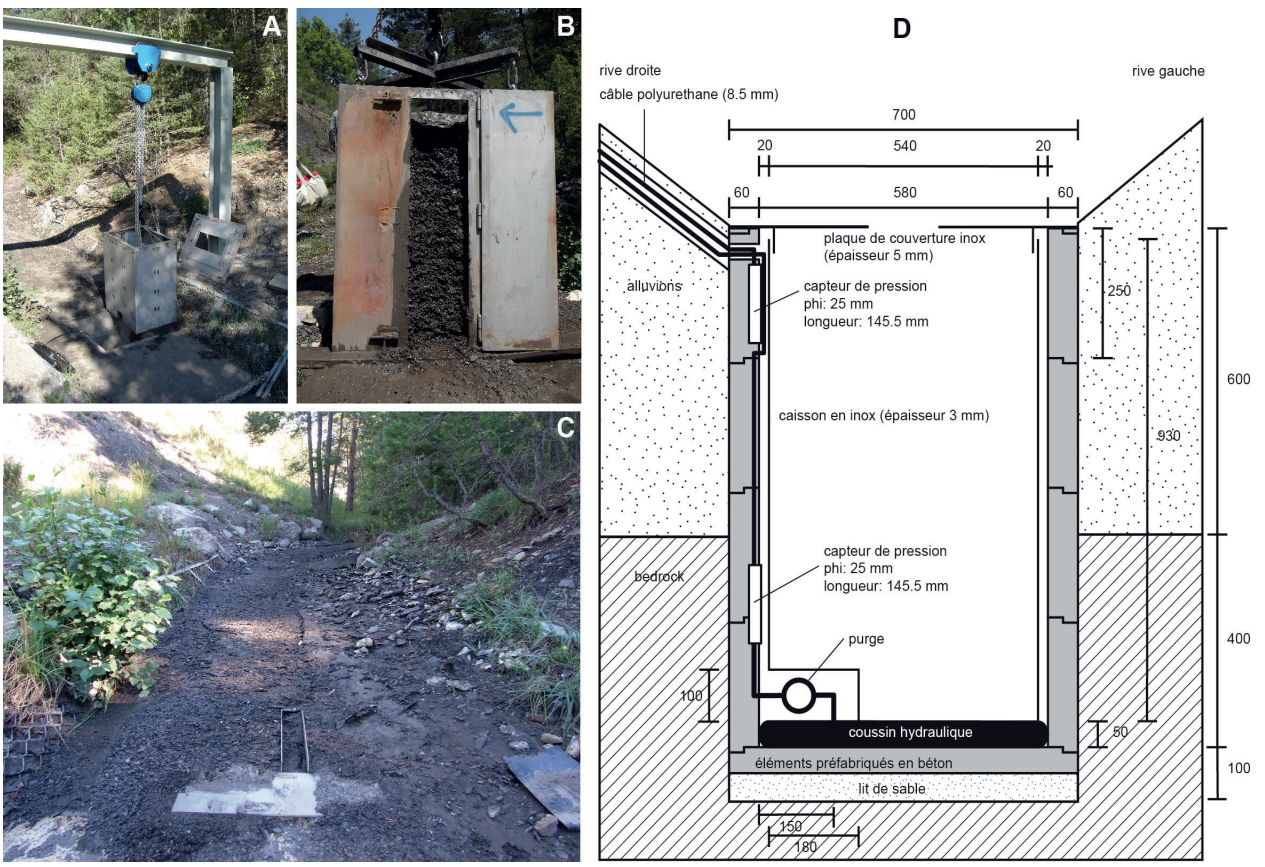


Figure 2 - Trappe à fente installée dans le lit du Moulin. A) Un portique équipé d'un treuil à chaîne permet de retirer le caisson interne du dispositif pour les opérations de vidange et de nettoyage post-crue. B) Le caisson interne est équipé d'une porte latérale permettant l'échantillonnage des sédiments et le nettoyage du dispositif. C) La fente d'échantillonnage, de largeur ajustable, a été équipée d'ailettes latérales biseautées permettant de contraindre l'entrée des sédiments depuis la face amont du dispositif (voir planche en fin d'article). D) Plan du dispositif vu en coupe transversale ; les dimensions sont exprimées en mm.

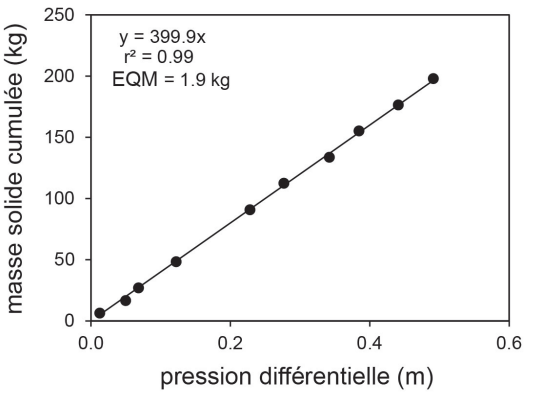
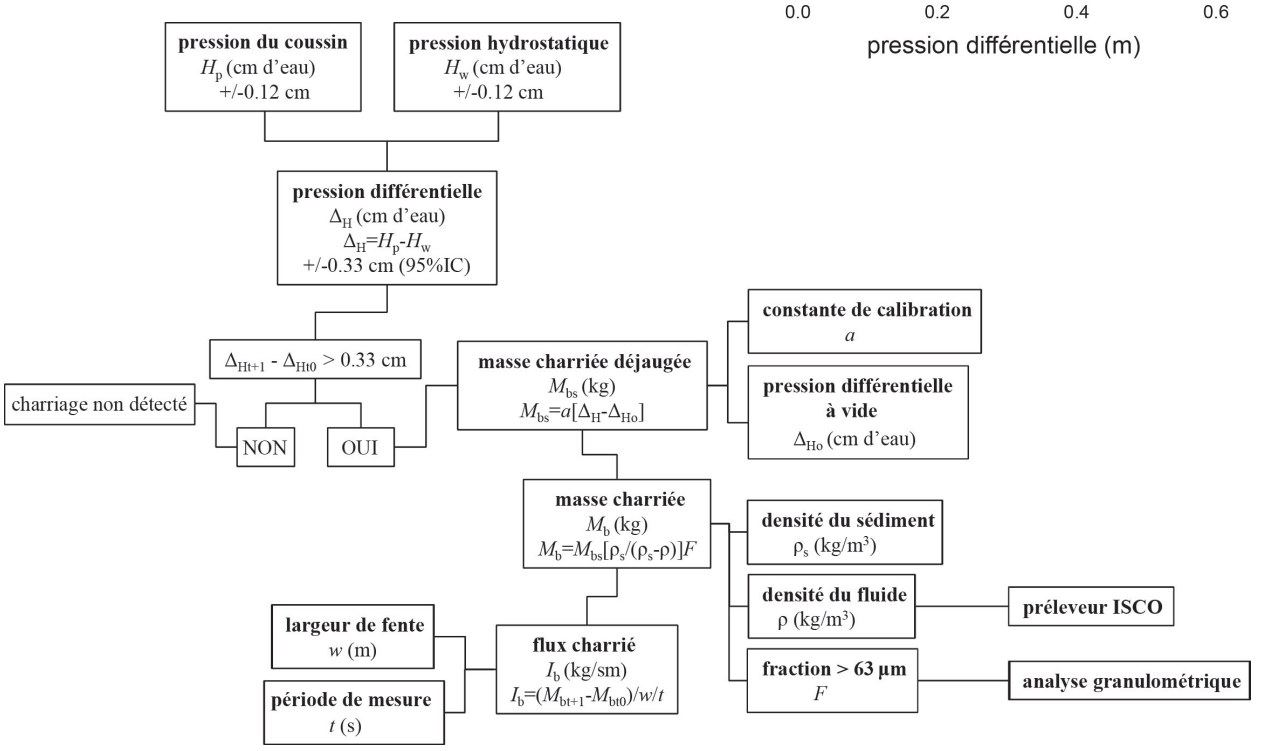


Figure 3 - Courbe de calibration entre la masse solide déposée dans la trappe et la différence de pression mesurée entre les deux capteurs du dispositif de mesure (EQM : erreur quadratique moyenne).

Figure 4 - Protocole de traitement des données pour la conversion des signaux de pression (données brutes) en flux charrié spécifique. Les prélèvements ISCO permettent de prendre en compte la concentration en MES dans la mesure de la densité du fluide.



Retour d'experience sur la mesure du charriage

À titre d'exemple, deux enregistrements obtenus lors d'épisodes orageux de l'été 2013 sont présentés ici. L'événement du 3 juin 2013 est le plus important survenu depuis la mise en service de la trappe. Le débit de pointe à la station hydrométrique du Moulin a été de 1,38 m³/s, une valeur très proche du débit de période de retour 20 ans (Mathys, 2006). Les 6 échantillons d'eau collectés durant cet événement montrent une concentration moyenne en MES de 187 g/l, et une concentration maximale de 319 g/l. Le flux charrié spécifique sur 10 s atteint communément des valeurs de l'ordre de 10 kg/m/s, avec un pic à 37,3 kg/m/s (Figure 5A), très proche des valeurs les plus fortes publiées dans la littérature (Laronne et Reid, 1993 ; Hayes et *al*., 2002). Une interruption de la mesure est observée au cours de la crue, vraisemblablement sous l'effet de l'obstruction de l'ouverture par une particule grossière. L'ouverture était fixée à 4 cm et nous avons effectivement retrouvé dans la trappe une particule d'axe b égal à 9,2 cm, ce qui confirme que des grains de diamètre supérieur à l'ouverture ont été transportés durant cette crue. Ceci nous a conduit par la suite à ouvrir à 8 cm afin d'éviter ces problèmes d'obstruction.

L'événement survenu le 24 août 2013 montre en effet une meilleure continuité de la mesure (Figure 5B). Le débit de pointe a été de 0,21 m³/s et la concentration moyenne en MES de 94 g/l. Le flux charrié spécifique maximum a été de 14,9 kg/m/s. Une coïncidence marquée entre le flux charrié et l'hydrogramme est observée pour cet événement, ce qui confirme le bon fonctionnement du dispositif.

Les analyses granulométriques des dépôts montrent systématiquement la présence de fines (<0,063 mm), qui peuvent représenter entre 15 et 20% de la masse totale. La proportion de fines dans les dépôts ne montre pas de relation avec l'hydrologie, et pose question dans la mesure où les trappes à fente sont censées faire partie des solutions les plus efficaces pour séparer le charriage de la suspension. En revanche, ce dispositif n'avait jamais été testé dans des conditions de concentration en fines aussi élevée que celles de Draix. Les analyses effectuées sur une série de crues d'été

Zoom sur le dispositif d'accroche utilisé avec le treuil à chaîne pour l'extraction du caisson.

Echantillonnage des sédiments par couches de 10 cm d'épaisseur

Zoom sur les ailettes biseautées déployées de part et d'autre de la fente pour éviter un échantillonnage latéral du charriage

Vue sur le seuil en béton de calage du lit déployé en aval immédiat de la trappe à fente

Coussin hydraulique et capteur de pression positionnés sous le caisson inox

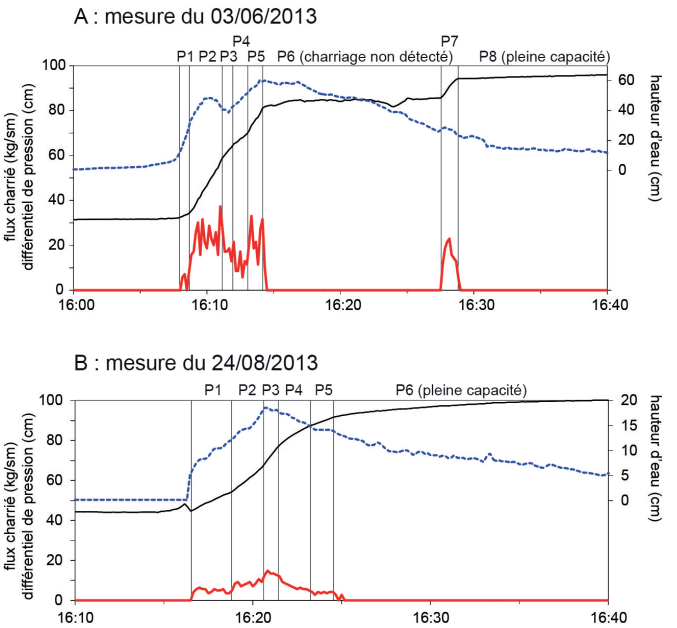


Figure 5 - Exemples d'enregistrements obtenus en juin 2013 (A) et août 2013 (B) lors d'épisodes convectifs. Le flux charrié apparaît en rouge, l'hydrogramme (hauteurs d'eau) apparaît en bleu, la pression différentielle est représentée en noir. Les échelles de hauteurs d'eau sont différentes. Les ruptures de pente de la courbe de pression différentielle ont permis d'identifier manuellement des périodes de transport solide homogène, notées P.

montrent que ces particules sont présentes dans la couche active du lit selon des proportions équivalentes à celles que l'on retrouve dans la trappe et qu'elles restent probablement piégées entre les particules grossières lors du transport (Liébault et *al*., 2016).

Conclusion

La mise en service d'une trappe à fente sur le site du Moulin à Draix a permis d'obtenir une quantification du flux charrié spécifique sur un pas d'échantillonnage de 10 s qui montre des valeurs très proches des extrêmes de la littérature, ce qui souligne le caractère exceptionnel du transport solide des Terres Noires préalpines. Ce dispositif nous permet d'explorer les fluctuations du charriage à l'échelle de la crue, ainsi que la relation flux/contrainte et sa variabilité saisonnière. La principale difficulté de la mesure concerne la gamme granulométrique très large du charriage, qui impose une ouverture de fente importante et qui réduit la période d'enregistrement du transport solide. Cette période est limitée par la capacité du caisson, qui ne permet pas toujours de caractériser l'intégralité de la crue (entre ~25 et 100% de la durée de la crue, en fonction de l'intensité du transport solide et de la durée de la crue). Une solution serait de coupler le dispositif avec des capteurs sismiques qui permettraient, après calibration, d'obtenir un signal continu (Rickenmann et *al*., 2012). Même si ces systèmes présentent une capacité de détection limitée en termes de taille des grains, on peut espérer une amélioration de la sensibilité dans un futur proche qui rendrait leur utilisation possible sur Draix.

Remerciements

Le programme de suivi du transport solide par charriage du Moulin s'inscrit dans le cadre de l'ORE Draix-Bléone (Réseau RBV, OZCAR) et a bénéficié du soutien financier de l'OSUG. Les auteurs remercient Jonathan Laronne, Ana Lucia Vela, Nicolle Mathys, Philippe Belleudy et Frédéric Ousset pour leurs conseils et leur aide précieuse lors de la conception et de l'installation du dispositif de mesure.

Bibliographie

Hayes S.K., Montgomery D.R., Newhall C.G., 2002. Fluvial sediment transport and deposition following the 1991 eruption of Mount Pinatubo. *Geomorphology*, 45, 211-224.

Laronne J.B., Reid I., 1993. Very high rates of bedload sediment transport by ephemeral desert rivers. *Nature*, 366, 148-150.

Laronne J.B., Alexandrov Y., Bergman N., Cohen H., Garcia C., Habersack H., Powell D.M., Reid I., 2003. The continuous monitoring of bedload flux in various fluvial environments, *in*: Bogen J., Fergus T., Walling D.E. (Eds.), Erosion and Sediment Transport Measurement in Rivers: Technological and Methodological Advances. International Association of Hydrological Sciences Publication 283, 134-145.

Liebault F., Jantzi H., Klotz S., Laronne J.B., Recking A., 2016. Bedload monitoring under conditions of ultra-high suspended sediment concentrations. *Journal of Hydrology*, 540, 947-958.

Mathys N., 2006. Analyse et modélisation à différentes échelles des mécanismes d'érosion et de transport de matériaux solides: cas des petits bassins versants de montagne sur marne (Draix, Alpes-de-Haute-Provence). Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 306 p.

Reid I., Layman J.T., Frostick L.E., 1980. The continuous measurement of bedload discharge. *Journal of Hydraulic Research*, 18, 243-249.

Rickenmann D., Turowski J.M., Fritschi B., Klaiber A., Ludwig A., 2012. Bedload transport measurements at the Erlenbach stream with geophones and automated basket samplers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37, 1000-1011.

View publication stats