



HAL
open science

Etude de la répartition des vitesses et des polluants particulaires en réseau d'assainissement

J.J N Randrianarimanana, F Larrarte, Marie-Noëlle Pons

► **To cite this version:**

J.J N Randrianarimanana, F Larrarte, Marie-Noëlle Pons. Etude de la répartition des vitesses et des polluants particulaires en réseau d'assainissement. 6èmes Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine (JDHU 2014), Jul 2014, Lyon, France. hal-01493831

HAL Id: hal-01493831

<https://hal.science/hal-01493831>

Submitted on 22 Mar 2017

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.

Etude de la répartition des vitesses et des polluants particulaires en réseau d'assainissement

J.J. Randrianarimanana^{1,2,3}, F. Larrarte², M.N. Pons³

¹ GEMCEA, 149 rue Gabriel Péri, F-54500 Vandoeuvre-les-Nancy, France

² LUNAM, IFSTTAR -GERS, Route de Bouaye CS4 44344 Bouguenais, France, F-44341 Bouguenais, France,

³ Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (UMR 7274 CNRS), Université de Lorraine, 1 rue Grandville, BP 20451 F-54001 Nancy cedex, France

RESUME

La bonne gestion des réseaux d'assainissement est un élément essentiel pour répondre à des objectifs aussi bien techniques qu'économiques de recouvrement du bon état écologique des milieux aquatiques. Elle nécessite de mieux connaître les charges polluantes déversées aux échelles événementielle et annuelle, d'améliorer le fonctionnement et la gestion des réseaux pour, à terme, minimiser les rejets non traités. Cet article présente une étude de l'influence d'une singularité, en l'occurrence une confluence, sur la répartition spatiale des vitesses et des concentrations afin d'évaluer la représentativité des mesures en continu de débits liquides et des mesures de charges polluantes. Des informations sur le fonctionnement des réseaux seront obtenues ainsi que des données pouvant contribuer à la validation des modélisations numériques. Les résultats contribueront à la finalisation de la méthodologie d'aide à la qualification des sites de mesures, objet du projet national MENTOR.

Mots clés : biofilm, débit, réseau d'assainissement unitaire, transport solide, vitesse

INTRODUCTION

L'amélioration et le maintien du bon état écologique des milieux récepteurs sont un enjeu environnemental majeur car en France plus de 70% de la population réside en zone urbaine. Les charges polluantes issues du milieu urbain par temps de pluie, particulièrement celles rejetées par les déversoirs d'orage, contribuent fortement à la dégradation de la qualité des milieux aquatiques. Une part importante de la pollution déversée sans traitement est de type particulaire. L'objectif de recouvrement du bon état écologique des milieux aquatiques, fixé par la Directive Cadre Européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000, ne pourra donc être atteint sans une bonne gestion des réseaux d'assainissement qui, elle-même, nécessite de mesurer les débits liquides transitant dans les collecteurs et d'estimer les flux polluants transportés par l'eau. La mise en œuvre du diagnostic permanent du réseau d'assainissement, outre sa conformité avec la réglementation (22 juin 2007), apporte les clés nécessaires à la compréhension et à l'amélioration du fonctionnement du réseau, et par la même, les moyens de réduire les rejets polluants non traités dans le milieu naturel. Cette démarche de diagnostic permanent s'effectue par la mise en place de capteurs. Elle peut être confrontée au manque

de sites répondant aux spécifications et usages des professionnels (Leclerc et Battaglia, 2001; Bertrand-Krajewski et al., 2001) pour les présélections des points de mesures pertinents, telles qu'un tronçon rectiligne, la non influence d'une singularité. Par ailleurs, il est également nécessaire de déterminer les incertitudes de mesures lorsque les capteurs sont installés sur site.

Le projet MENTOR, dans lequel cette recherche s'inscrit, vise à proposer une méthodologie permettant de qualifier les sites et les points de mesures pertinents pour une gestion efficace des eaux urbaines, de mettre en place une instrumentation intégrée au droit et au voisinage des déversoirs d'orage dans le but de surveiller en continu la quantité et la qualité des rejets aux milieux aquatiques (Larrarte et al., 2013). Les recherches décrites dans cet article portent sur l'étude de la représentativité spatiale des vitesses et des solides afin d'améliorer notre compréhension de la dynamique des polluants dans les réseaux d'assainissement. Ces travaux contribueront par ailleurs à la validation des modélisations numériques et à la finalisation de la méthodologie d'aide à la qualification des sites de mesures.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Larrarte et al. (2010) ont mené des études visant la mise au point d'un protocole de qualification des sites de mesure installés dans l'objectif de répondre aux contraintes de gestion mais aussi à la réglementation (22 juin 2007) qui demande de mesurer les débits et d'estimer les charges déversées. La représentativité des mesures des flux polluants dépend à la fois de la représentativité des mesures de vitesses et de concentrations en matières en suspension dans toute la section. Ainsi la connaissance du champ de vitesses est indispensable à la détermination de la vitesse moyenne spatiale dans une section et ceci d'autant plus que des interrogations demeurent sur la vitesse moyenne mesurée par certains appareils (Larrarte et Joannis, 2014). Par ailleurs, on constate un manque de connaissances sur les processus biochimiques et physiques des sédiments qui se déroulent au sein des réseaux d'assainissement ainsi que sur les interactions écoulement-sédiments (Ashley et al., 2003). En effet, outre les implications hydrauliques dues à leur présence, la remise en suspension des dépôts par les eaux pluviales (Chebbo et Gromaire, 2004) et l'arrachage du biofilm (Larrarte et Pons, 2011) représentent une part importante des flux polluants. Le biofilm, en particulier, contribue à la toxicité des effluents déversés par le relargage d'ADN et de bactéries (Veldhuis et al, 2010; Sauer et al, 2011). Récemment, Fang et al., (2014) ont montré l'implication du développement du biofilm sur la stabilité des sédiments dans les eaux usées d'un bassin de rétention. Ashley et al. (2003) ont indiqué que les recherches sur la dynamique des solides doivent être approfondies et que les clés de compréhension sont liées d'une part au processus de transport et à l'interaction entre le flux et les solides (tels que les processus d'érosion), et d'autre part à l'interaction entre les divers types de matières solides. Delleur (2001) et Ashley et al., (2004) indiquent qu'une amélioration des connaissances ne pourra être atteinte sans des mesures en continu sur une longue durée. Ainsi, Gourmelen et al. (2010) ont conçu un dispositif appelé Furrina qui permet de mesurer en continu la hauteur de sédiment en un point d'une section transversale de collecteur. Si le suivi d'un dépôt sableux s'est avéré possible, plusieurs problèmes ont été rencontrés sur l'analyse des données en présence de sédiments organiques et mous (Hemmerle et al., 2013).

ETUDE EXPERIMENTALE

Afin de contribuer à la connaissance des flux de polluants en réseau et répondre aux objectifs du projet MENOTR, nous avons choisi d'instrumenter de manière assez riche un site présentant une branche amont correspondant à : un tronçon amont rectiligne d'un collecteur ovoïde à banquettes de 2,25 m de haut situé le long du quai Barbusse et près du centre ancien de Nantes, une confluence avec un collecteur ovoïde sans banquettes de 1,8 m de haut (Figure 1a), un déversoir d'orage situé à l'aval immédiat de ladite confluence (Figure 1b). Ce site se situe Place de la Bonde à Nantes, à l'exutoire du bassin versant unitaire

Barbusse dont la surface est de 1,7km² pour environ 7800 équivalents habitant. L'instrumentation est segmentée en trois points de mesure : i) le regard amont, situé en amont de la confluence; ii) le regard sur la branche de la confluence ; iii) le regard aval, situé en aval de la confluence et du déversoir d'orage. Ce site dispose d'un local technique qui permet l'installation des boîtiers d'acquisition des capteurs des sondes installées dans le réseau.

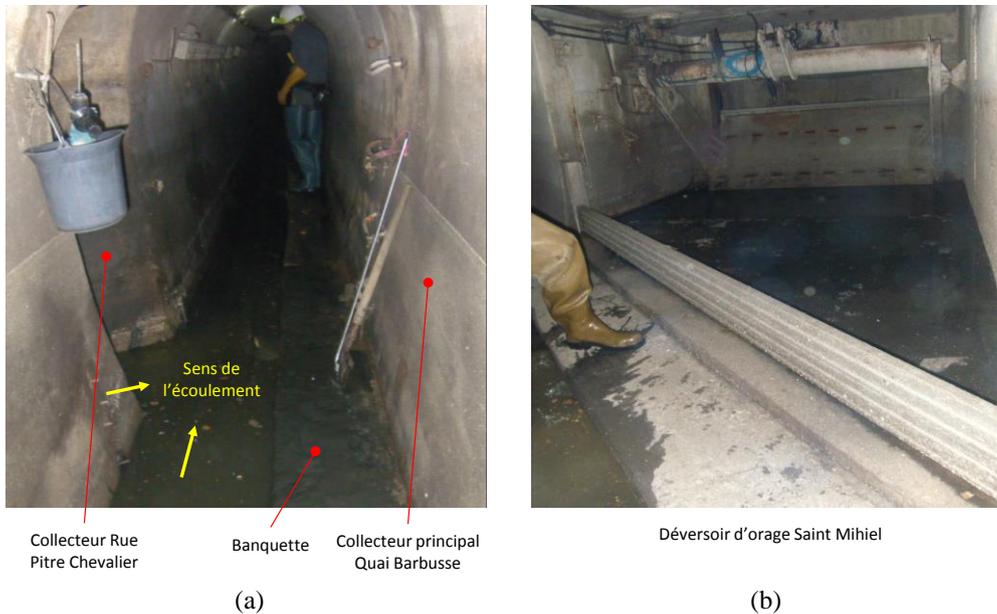


Figure 1: Présentation du site expérimental

La figure 3 montre l'instrumentation prévue et en cours d'installation. Afin d'acquérir des chroniques de longue durée, la vitesse et la hauteur d'eau sont mesurées en continu, en utilisant des débitmètres à effet Doppler (modèle ISCO 2150) installés sur chaque point de mesure. Pour les regards amont et aval, les sondes de débitmètres sont fixées sur la paroi du collecteur, en face de la banquette, afin d'éviter un problème d'encrassement vu la présence du dépôt dans ce collecteur (Figure 3a). Pour la branche de la confluence, la sonde est installée au radier et au centre de l'écoulement sur le collecteur longeant la rue Pitre Chevalier (Figure 3b). On installera deux échantillonneurs bidimensionnels appelés « Hydre » (Larrarte et Cottineau, 2008) qui permettent de réaliser des mesures de vitesses et de concentrations dans toute la section du collecteur, y compris au-dessus de la banquette, au niveau des regards situés en amont et en aval de la confluence. La conception de Hydre vise à mesurer les vitesses localement avec deux courantomètres à effet Doppler PVM-PD et la concentration avec une buse de prélèvement, reprenant en cela l'expérience déjà acquise sur un autre site (Larrarte et Cottineau, 2008) (Figure 4). Un préleveur vertical multipoint est utilisé pour initier l'échantillonnage sur une verticale des concentrations en matières en suspension dans les eaux usées (Figure 5). Les échantillons sont analysés selon la norme NF 872 (AFNOR, 2005). Sur chaque point de mesure, la qualité de l'eau sera suivie en continu par turbidimétrie (sondes de modèle Solitax de Hach-Lange), conductimétrie (modèle 3700SC de Hach-Lange) et par pH-métrie (modèle pH-D-SC de Hach-Lange). De plus, des préleveurs automatiques ISCO 3700 seront installés ponctuellement au niveau des regards pour des chroniques journalières. Des mesures de vitesse de chute seront également effectuées selon le protocole VICAS, ainsi que des analyses plus usuelles (matières en suspension, fraction organique, granulométrie) afin de caractériser les particules transportées en suspension dans les rejets. Les résultats ainsi obtenus seront confrontés entre eux mais aussi, à terme, avec les caractéristiques des aspects météorologiques objet du projet MENTOR.

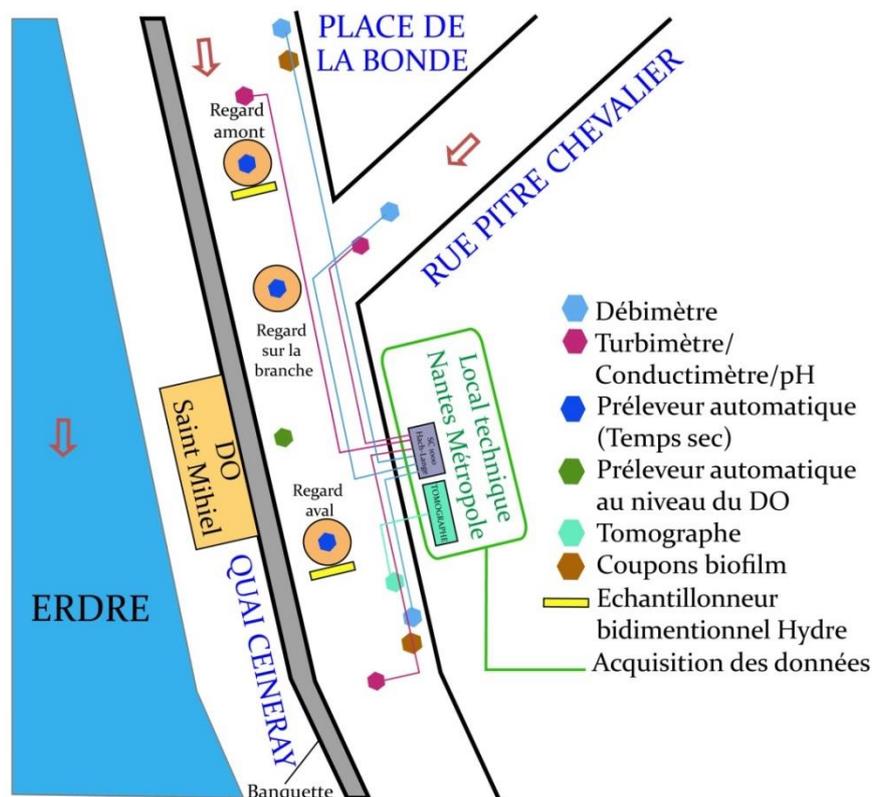


Figure 2: Instrumentation du site

L'effet de la variation de l'écoulement sur la croissance du biofilm sera étudié à l'aide de coupons installés à trois différents niveaux (Figure 3c) sur des plaques support en PVC, qui sont elles-mêmes fixées à la paroi à proximité des regards amont et aval. Les coupons sont en plexiglass (matériau de référence) et en béton (matériau représentatif du réseau). La position des coupons est définie pour étudier l'influence de l'immersion sur le développement du biofilm : le plus bas est situé de manière à être immergé en permanence, celui du haut est positionné de telle sorte qu'il ne soit immergé que lors des événements pluvieux, et celui du milieu est dans la position intermédiaire. Ces coupons seront relevés et changés régulièrement puis rapportés au laboratoire. Ils seront scannés avec un scanner HP Scanjet avec une résolution de 600 dpi en niveaux de gris de 8 bits (Milferstedt et al., 2008) pour obtenir l'opacité qui est la différence entre le niveau de gris moyen du coupon après et avant son installation. Ils seront également suivis par variation du poids après un séchage pendant 24 heures à 105°C.

L'évolution de la hauteur de sédiments sera suivie par un tomographe à conductance, fixé à la paroi et couplé à une centrale d'acquisition. Cette méthode est basée sur la mesure en continu de la conductivité entre deux mini-électrodes. Le concept est en cours de validation avec un capteur comportant 12 électrodes en or, pour minimiser l'effet de la corrosion. Le tomographe sera installé uniquement sur le regard amont. Le dépôt au fond de la canalisation est prélevé à l'aide d'un carottier et caractérisé au laboratoire. Les paramètres mesurés sont la teneur en eau et le pourcentage en matières volatiles des sédiments de taille inférieure à 2mm, la masse volumique sèche et humide, la granulométrie par tamisage à différentes fractions (4mm, 2mm, 1mm et 560 µm) et la granulométrie laser pour obtenir les D10, D50, D90.

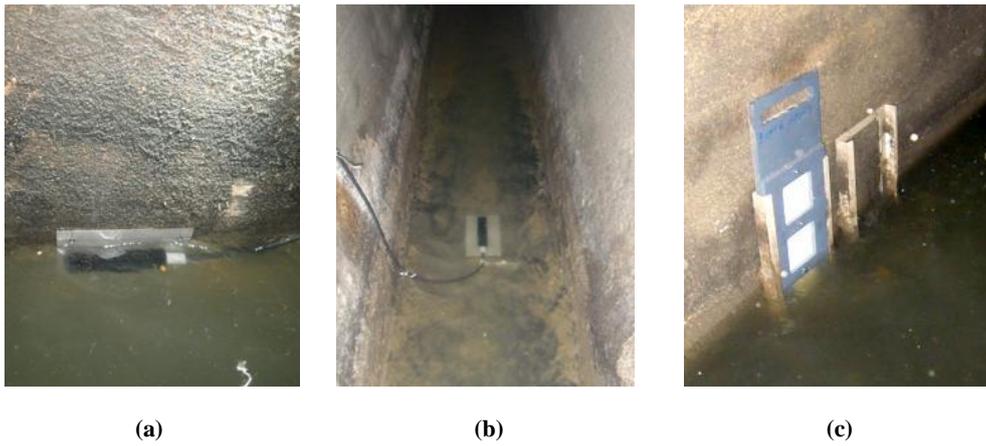
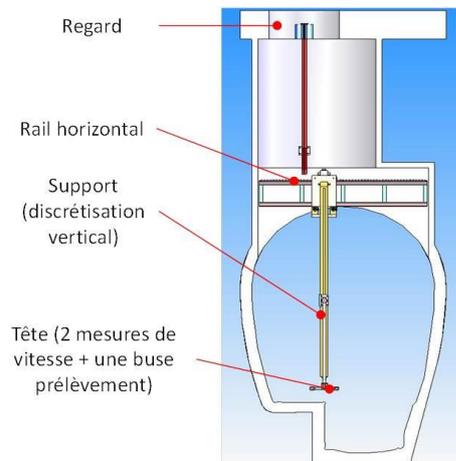


Figure 3: Quelques matériels déjà installés sur site : (a) débitmètre amont, (b) débitmètre sur la branche, (c) coupons de biofilm amont



Chariot (matériels de pilotage et de prélèvement)

(a)



(b)

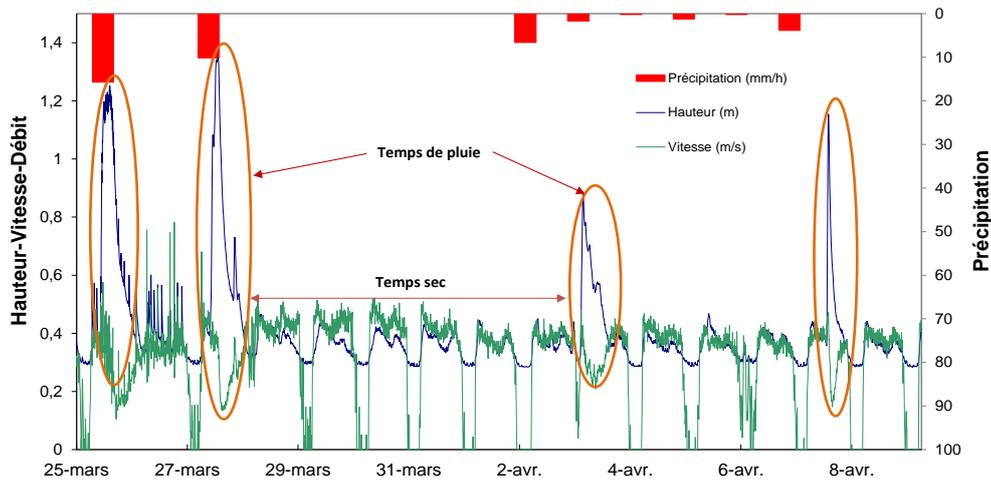
Figure 4: Hydre : (a) Hydre en fabrication, (b) concept de mesure en collecteur



Figure 5: Prélèvement d'eaux usées avec le préleveur multipoint vertical

RESULTATS ET DISCUSSION

La forte pluviométrie de l'hiver 2013-2014 a retardé la mise en place de l'instrumentation qui n'a pu commencer à être installée qu'en mars 2014. La figure 6 représente un exemple de données enregistrées avec le débitmètre installé sur le regard aval. On peut noter que les hauteurs suivent un cycle quotidien par temps sec. Lorsqu'un événement pluvieux survient, les hauteurs d'eau et les vitesses de l'écoulement varient rapidement. Ainsi le 7 avril, précédé de 3 jours de temps sec, la hauteur atteignait 1,20 m pour des précipitations de 5 mm. Par ailleurs, on observe que la vitesse diminue alors même que la hauteur d'eau augmente, ceci est vraisemblablement dû à l'influence des siphons présents en aval.



Si on observe plus en détail quelques cycles quotidiens de temps sec, on observe une variation entre les deux jours de fin de semaine et les 3 jours ouvrables suivants (figure 7) mais dans tous les cas la hauteur présente un minimum nocturne à 0,3 m. Lors des jours de week end, la hauteur augmente de 8h à 12h en heure légale avant de se stabiliser jusqu'à la fin de la pause du déjeuner. La hauteur d'eau décroît ensuite jusque vers 18h et présente un palier jusque vers 20h avant de réaugmenter pour un pic secondaire vers 20h et de diminuer jusque vers les minima nocturnes atteints vers 2h du matin (en heure légale). En semaine on observe une augmentation de la hauteur d'eau de 6h à 8h30 en heure légale puis une légère diminution jusque vers 11h30 et un nouveau pic à l'heure du déjeuner ensuite une diminution durant l'après midi et un dernier pic entre 20 et 22h avant la décroissance vers les minima nocturnes (Figure 6). Ces tout premiers résultats semblent indiquer une assez grande sensibilité du site à l'activité urbaine. Les mesures de vitesses suivent un cycle similaire et montrent déjà que la position de la sonde devra sans doute être modifiée car, pendant la nuit, le niveau d'eau devient trop faible pour permettre la mesure de vitesse. La hauteur d'eau moyenne par temps sec varie de 0,30 à 0,45 m pendant cet intervalle de temps.

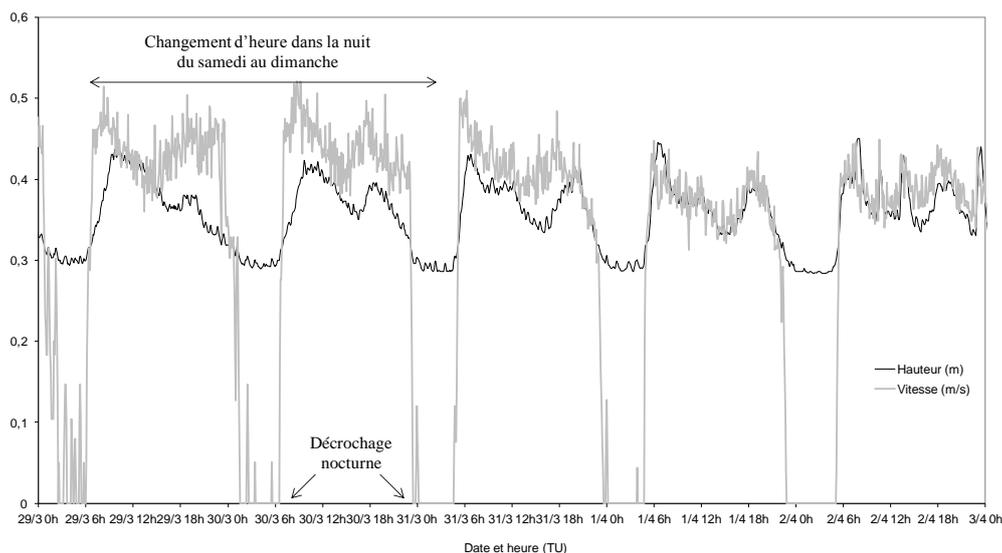


Figure 7 : Schéma montrant le cycle quotidien par temps sec (en heure TU)

Les deux profils verticaux de concentrations en matières en suspension sont caractérisés par un faible gradient, qui évolue peu avec la profondeur dans le haut de l'écoulement, puis un fort gradient dans la zone proche du dépôt (Figure 8). Ce gradient de concentration est beaucoup plus visible sur la courbe du 28/11/2013. Il est similaire à celui observé sur le site d'Allée d'Erdre, situé à 500m en aval (Carnacina et Larrarte., 2014), où la présence d'une couche meuble concentrée a également été observée. Au-dessus de cette couche meuble (le ou les deux points du bas), les concentrations en MES présentent des fluctuations mais pas de gradient et leurs moyennes sont respectivement de 293 et 277 mg/l pour les essais effectués le 28/11/2013 et 05/12/2013. Ces valeurs de temps sec sont comprises dans la gamme de concentrations trouvées par Larrarte (2014) sur le site Jardin des plantes, situé sur une autre branche du réseau urbain nantais, et similaires à celles présentées par Hemmerlé et al, (2013) sur Allée d'Erdre. On observe qu'il n'y a pas de grande évolution sur les niveaux d'eau et de sédiment pour les deux mesures effectuées à la même heure en l'espace d'une semaine. En effet, la hauteur totale h_t (mesurée entre le radier et la surface libre) et la hauteur de sédiment mesurées ponctuellement sont respectivement de 0,50m et 0,26m pour les mesures effectuées le 28/11/2013, et 0,54m et 0,28 pour celles effectuées le 05/12/2013. Les mesures de vitesses ont été effectuées deux fois avec un courantomètre PVM-PD, et chaque mesure est la moyenne des vitesses instantanées enregistrées pendant 10s, conformément aux préconisations de la norme NF EN ISO 748. On note une variation du simple au double quasiment, liée semble t'il à une influence mal gérée.

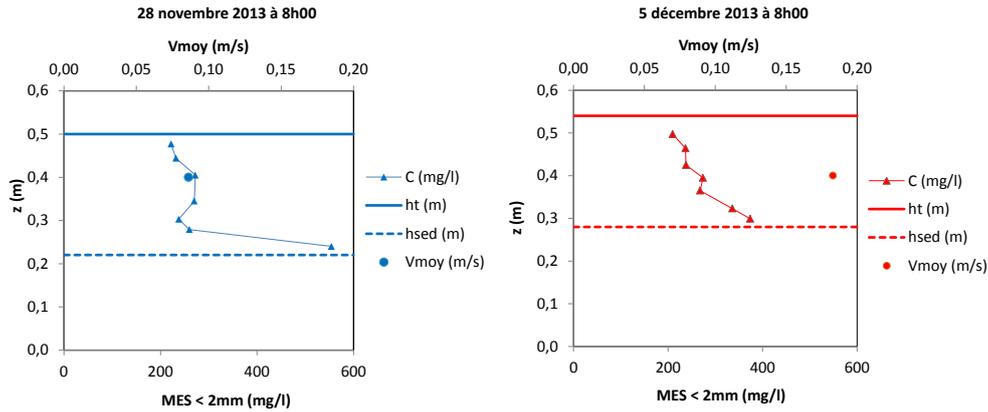


Figure 8: Mesures ponctuelles de vitesses, de hauteur d'eau et de sédiment

Des études préliminaires sur le suivi du développement du biofilm dans les eaux usées ont été menées dans la fosse d'une station d'épuration de Maxéville à Nancy en utilisant des coupons de quatre matériaux différents (verre, PTFE, plexiglass, béton). La dispersion des opacités (Figure 11) peut être due au fait que les données sont issues des expériences menées de mars à aout donc contextes météorologiques différents et à des conditions hydrodynamiques elles-mêmes différentes, notamment les événements pluvieux, conduisant au détachement du biofilm. Ce phénomène est similaire à ce qu'on a observé pour les études effectuées dans les réseaux nantais (Larrarte and Pons, 2013). Nous avons remarqué que le biofilm se détache facilement sur les supports qui ont une surface lisse (verre, PTFE, plexiglass), tandis que le phénomène d'arrachement est plus difficile pour les supports de surface rugueuse comme le béton.

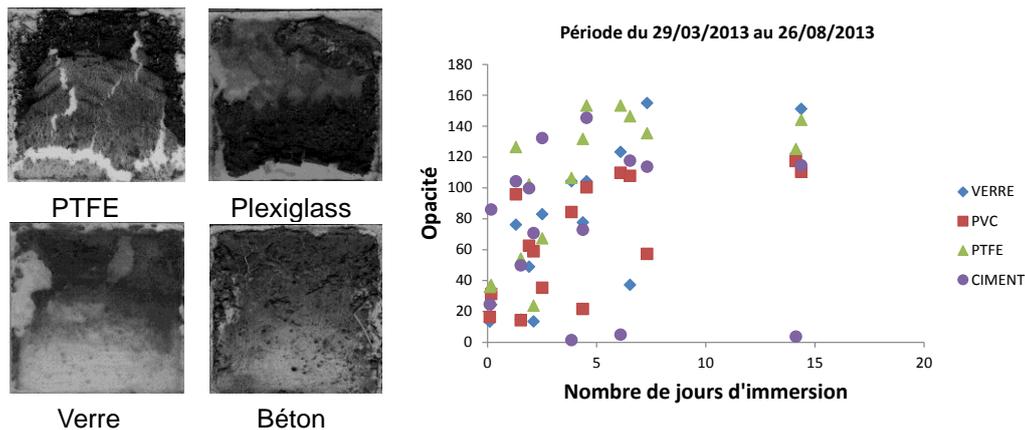


Figure 9: Scans des coupons secs

Figure 10: Variation de l'opacité au cours du temps

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les campagnes expérimentales préliminaires effectuées à ce jour ont permis d'évaluer quelques ordres de grandeur des caractéristiques des polluants transitant par temps sec. Cela a contribué au schéma d'instrumentation ainsi qu'à la sélection, la prise en main et les tests (dont les étalonnages) des matériels qui sont en cours d'installation. Les mesures débitométriques devraient permettre de préciser les caractéristiques hydrauliques du site Place de la Bonde et, au besoin, de modifier le positionnement des capteurs de suivi en continu. Les résultats des études sur la croissance du biofilm dans la fosse d'une station d'épuration confirment que les coupons donnent une image représentative de la croissance du biofilm

dans les eaux usées. La mise en place des appareils de suivi en continu va se poursuivre en fonction des conditions météorologiques, en parallèle les échantillonneurs Hydre sont en cours de finalisation, leur prise en main sur site est espérée au début de l'été.

REMERCIEMENTS

Ce projet bénéficie du soutien financier de l'Agence Nationale de la Recherche, « Notification de décision d'aide n°ANR 11 ECOT 007 07 du 13 décembre 2011 ». Les auteurs remercient les personnels du GIP GEMCEA (Groupement pour l'Evaluation de la Mesure en Continu dans les Eaux et en Assainissement), du Laboratoire Eau et Environnement à l'IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux) et de la Direction de l'Assainissement de Nantes Métropole pour leur aide lors de ces travaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR (2005), Norme NF EN 872, (2005) Qualité de l'eau - *Dosage des matières en suspension - Méthode par filtration sur filtre en fibres de verre*. 10 p
- AFNOR (2009), Norme NF EN ISO 748, (2009) Hydrométrie - *Mesurage du débit des liquides dans les canaux découverts au moyen d(e moulinets ou de flotteurs*. 47 p
- Ashley R. M., Crabtree B., Fraser A., Hvitved-Jacobsen T., (2003), European research into sewer sediments and associated pollutants and processes, *Journal of Hydraulic Engineering*, 129, No 4, April, pp. 267-275.
- Ashley, R. M., Bertrand-Krajewski, J. L., Hvitved-Jacobsen, T., Verbanck, M. (2004). Solids in sewers: characteristics, effects and control of sewer solids and associated pollutants. *IWA Publishing Company*.
- Bertrand-Krajewski, J. L., Laplace, D., Joannis, C., Chebbo, G. (2001). DOSSIER-Météorologie en réseaux d'assainissement-Quelles mesures pour quels objectifs? *Techniques Sciences Méthodes- Génie Urbain Génie Rural*, (2), 29-38.
- Carnacina, I., & Larrarte, F. (2014). Coupling acoustic devices for monitoring combined sewer network sediment deposits. *IWA Publishing Company*.
- Chebbo, G., Gromaire, M. C. (2004). The experimental urban catchment 'Le Marais' in Paris: what lessons can be learned from it? *Journal of Hydrology*, 299(3), 312-323.
- Delleur J.W., (2001), New results and urban needs on sediment movement in urban drainage. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol 127, N°3, pp. 186-193.
- Fang, H., Shang, Q., Chen, M., He, G. (2014). Changes in the critical erosion velocity for sediment colonized by biofilm. *Sedimentology*. 61, 648-659
- Gourmelen L., Cottineau L.-M ., Larrarte F., (2010), Développement d'un dispositif de mesure en continu de la hauteur de sédiments, *Journées Génie Civil Génie Côtier, Les Sables d'Olonnes*, pp. 477-484.
- Hemmerle N., Joannis C., Larrarte F., (2013), Does lutocline exist in sewers ?, *16th International Conference Transport and Sedimentation of Solid Particles, Rostock*
- Larrarte, F. (2013). Velocity and suspended solids distributions in an oval-shaped channel with a side bank. *Urban Water Journal*, (accepté), 1-9.
- Larrarte, F., & Pons, M. N. (2011). Biofilm growth and hydraulic conditions in sewers. *In Proceedings of the 34th World Congress of the International Association for Hydro-Environment Research and Engineering: Engineers Australia*. p. 2855
- Larrarte, F., Cottineau, L.M. (2008). Le projet Hydre: Echantillonnage 2D des vitesses et des concentrations en collecteur d'assainissement. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 272 (2008) pp 21-32

- Larrarte, F., Joannis, C., Bonakdari, H. (2010). Qualification et conception de sites de mesures débitométriques en réseaux d'assainissement. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 277.
- Larrarte, F., Pons, M. N., Riochet, B. (2013). Biofilms en réseau d'assainissement. *92ème congrès de l'ASTEE*.
- Larrarte, F., Vareilles, S., Dufresne, M., Rivière, N., Pons, M.-N., Kouyi, G.L., Joannis, C., Claverie, R., Chebbo, G., Riochet, B. (2013). Qualifying measurement sites in sewer systems: methodology and operational tool. *In 8th International Conference Novatech, Lyon*.
- Larrate, F., Joannis C. (2014) Représentativité des capteurs de vitesse et impact sur l'évaluation en continu du débit d'un écoulement à surface libre. *COACHS Guide Technique n°4*, 27 p
- Leclerc, P., Battaglia, P. (2001). Recommandations pratiques pour la conception de stations de mesure de débit: Métrologie en réseaux d'assainissement. *TSM. Techniques sciences méthodes, génie urbain génie rural*, (2), 45-56.
- Milferstedt, K., Pons, M.-N. Morgenroth, E. (2008). Textural fingerprints: A comprehensive descriptor for biofilm structure development. *Biotechnol. Bioeng.* 100, 889–901.
- Sauer, E. P., VandeWalle, J. L., Bootsma, M. J., & McLellan, S. L. (2011). Detection of the human specific *Bacteroides* genetic marker provides evidence of widespread sewage contamination of stormwater in the urban environment. *Water Res.* 45(14), 4081-4091.
- Veldhuis, J.A.E., Clemens, F., Sterk, G., and Berends, B.R. (2010). Microbial risks associated with exposure to pathogens in contaminated urban flood water. *Water Res.* 44, 2910–2918.