



## Développement d'un dispositif de mesure en continu de la hauteur de sédiments

Loïc GOURMELEN<sup>1</sup>, Louis-Marie COTTINEAU<sup>2</sup>, Frédérique LARRARTE<sup>2</sup>

1. Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de l'Ouest, Centre d'Etudes et de Construction de Prototypes, 2 bis Av du Général Foy 49100 Angers, France.
2. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, route de Bouaye, BP 4129, 44341 Bouguenais Cedex, France.  
*frederique.larrarte@lcpc.fr*

### Résumé :

Prévenir l'ensablement des réseaux d'assainissement est un enjeu majeur alors que la norme européenne NF EN 14654-1 mentionne explicitement le fait qu'il convient de se soucier d'empêcher la sédimentation, que diverses études montrent que la remise en suspension de ces dépôts contribue aux déversements d'effluents non traités dans les milieux récepteurs dont le retour au bon état écologique est une échéance réglementaire pour 2015. Dans le même temps on constate un manque de connaissances fondamentales sur les interactions écoulement – sédiments. Afin de mieux comprendre les phénomènes physiques liés aux dépôts, à leur remise en suspension, il apparaît important de pouvoir suivre en continu la hauteur des dépôts. Cette communication présente le cahier des charges du projet Furrina qui permettra la mesure en continu de la hauteur de sédiment en un point d'une section transversale de collecteur d'assainissement. Les résultats des essais préliminaires sont présentés.

### Mots clés :

Ultrasons – Sédiments – Mesure en continu

### 1. Introduction

Les réseaux d'assainissement constituent un patrimoine considérable. D'après les données de l'IFEN (Institut Français de l'Environnement), en France en 2008, 23,5 millions de logements étaient raccordés à des réseaux de collecte des eaux usées dont le linéaire total dépassait 373000 km. Alors que, par exemple, l'agglomération de Lille indique curer chaque année 321 km, soit 8% de son réseau et celle de Tours 226 km, soit 21% de son réseau (sources internet), AFLAK *et al.* (2007) signalent que prévenir l'ensablement est un enjeu majeur dans un contexte où la norme européenne NF EN 14654-1 qui traite de la gestion et du nettoyage des réseaux, introduit la notion de performance de ceux-ci et mentionne explicitement le fait qu'il convient de se soucier d'empêcher la sédimentation. Dans le même temps, ASHLEY *et al.* (2004) indiquent que 40 à 80% des effluents non retraités rejetés au milieu naturel proviennent

de la remise en suspension de ces dépôts alors que la réglementation prescrit le retour à leur bon état écologique et une échéance réglementaire pour 2015.

On constate un manque de connaissances fondamentales sur les interactions entre les écoulements et les sédiments. Une des causes de ces carences est la difficulté à trouver des sites expérimentaux permettant des mesures en continu et l'absence de matériels pertinents. Ces préconisations sont également cohérentes avec celles du Grenelle de l'Environnement qui prône l'acquisition de longues séries de données afin de contribuer à la connaissance et à la modélisation du cycle de l'eau dans la ville mais faute de matériel adapté, ces préconisations ne portent pas sur le suivi des dépôts.

Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) mène des recherches sur les dépôts présents au fond des collecteurs d'assainissement urbain. Afin de mieux comprendre les phénomènes physiques liés aux dépôts, à leur remise en suspension (champ tridimensionnel des vitesses et leurs composantes turbulentes, cisaillement pariétal), il apparaît important de pouvoir suivre en continu la hauteur des dépôts. Le LCPC s'est associé au Centre d'Etudes et de Conception de Prototype du Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de l'Ouest pour développer Furrina (ancienne divinité latine, tantôt nymphe des eaux du Tibre tantôt furie. Ce nom dérive de celui de la déesse Furrina, qui préside au forage des puits) qui permettra la mesure en continu de la hauteur de sédiment en un point d'une section transversale de collecteur d'assainissement. L'objectif est de tester Furrina en conditions réelles courant 2010 dans un collecteur unitaire de la ville de Nantes.

Cette communication présente le cahier des charges et les principaux aspects du projet qui doit répondre aux contraintes liées à un environnement explosif (Atex), confiné, humide, corrosif, et difficile d'accès. Enfin les résultats des essais préliminaires sont présentés.

## **2. Inventaire des dispositifs existants**

L'objectif de ce projet est de disposer d'un appareil permettant de suivre en continue la hauteur de sédiment dans un collecteur d'assainissement urbain. (OMS, 2003) a utilisé un endoscope pour observer des variations de hauteurs et de nature de sédiments mais cet appareil repose sur une mesure visuelle ponctuelle (par le biais d'un appareil photo numérique) et nécessite la présence permanente d'un opérateur. Dans le cadre de ce même projet, un autre système d'observation autonome par appareil photo a été mis au point mais il ne possède qu'une autonomie de 72 heures.

(LAWLER, 2008 ; ARNAUD *et al.*, 2008) ont développés des méthodes de suivi des sédiments en zones côtières ou estuariennes et la société Argus propose à la vente la perche ASM. Ces méthodes fonctionnent en continu mais elles impliquent l'intrusion du dispositif de mesure dans le sédiment et présentent donc de nombreux risques d'encrassement.

### 3. Développement du prototype

L'objectif est d'obtenir un appareil de mesures en continu de la hauteur de sédiments en un point. Avant tout, il faut préciser la notion de point de mesure. En effet, les résultats de BERTRAND-KRAJEWSKI & GIBELLO (2008) semblent indiquer que la couche supérieure des dépôts n'est pas plane alors que les travaux de recherches effectués à l'université de Gent (BANASIAK, 2008 ; BANASIAK & VERHOEVEN, 2008) montrent, au niveau d'une étude de laboratoire, la nette influence d'une fraction de matériaux cohésifs sur la topographie des dépôts sédimentaires qui s'aplatissent. Par ailleurs, (AHYERRE, 1999 ; OMS, 2003) montrent l'existence de phénomènes d'arrachage de la couche fortement organique située près du fond lors d'augmentation du cisaillement pariétal suite à une augmentation de débit. Un suivi en continu doit donc s'inscrire dans un lieu géométrique suffisamment restreint pour ne pas être perturbé par des variations spatiales de la hauteur des dépôts. On appellera par la suite *point de mesure* un lieu géométrique circonscrit dans un cercle de 0,1 m de diamètre maximum, situé dans la section principale de l'écoulement d'un collecteur de hauteur maximale D. La mesure de la hauteur de sédiment doit être non-intrusive. Le système de mesure ne peut donc pas pénétrer le sédiment et il doit être le plus faiblement immergé pour ne pas provoquer une accumulation des flottants.

Il faut donc étudier les 3 origines de mesure sans contact.

- *Mesure depuis la voûte* : cette mesure peut être réalisée à l'aide d'un signal électromagnétique traversant l'air et l'eau. Le rayon laser vert ( $520 < \lambda < 560 \text{ nm}$ , NF EN 60825-1) peut répondre à ce besoin mais la turbidité des effluents impliquera d'utiliser un laser de classe très élevée, à forte puissance. Cela ajouterait une contrainte majeure en termes de sécurité des opérateurs qui interviennent déjà en milieu hostile.
- *Mesure depuis le fond* : cette mesure peut être assurée par des méthodes électriques développées en géophysique de surface. Une succession d'électrodes peuvent tapisser le fond du canal mais cela implique d'assécher le canal pour le montage, de fixer les électrodes, de faire des mesures sans eau, avec eau et avec sédiment et eau, afin de calibrer le dispositif. Cette méthode fonctionne bien après une longue phase de mise au point, mais cette solution est trop contraignante vis-à-vis de l'exploitant du réseau.
- *Mesure depuis la surface de l'eau* : cette mesure peut être assurée à l'aide de la méthode acoustique couramment utilisée pour mesurer les hauteurs d'eau dans les collecteurs. Pour un collecteur de hauteur totale  $h_t$ , cela nécessite par contre de déterminer la distance  $h_1$  entre la surface de l'eau et la voûte du collecteur, la distance  $h_2$  entre la surface de l'eau et l'interface eau-sédiment, pour pouvoir, par différence, obtenir la hauteur de sédiment  $h_s$  comme suit (figure 1) :

$$h_s = h_t - h_2 - h_1 \quad (1)$$

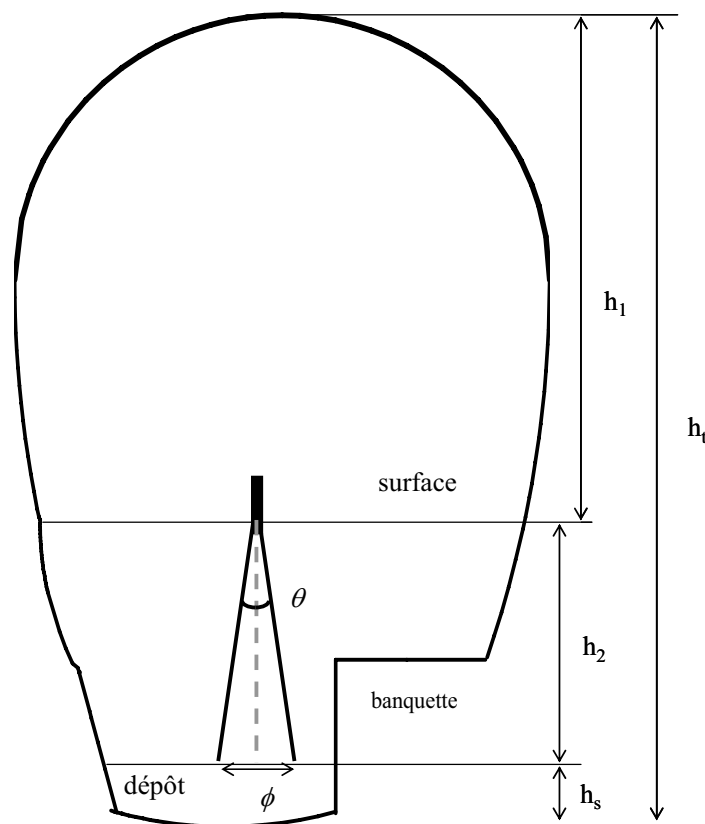


Figure 1. Mesure de la hauteur de sédiments dans un collecteur.

LAPLACE *et al.* (1988) ont utilisé cette technique mais leur matériel n'est plus disponible. Une étude de faisabilité, avec des limnimètres à ultrasons immergés, a confirmé que l'obtention de mesures de hauteur par méthode acoustique est possible (figure 2) mais dépend de la fréquence d'émission des ultrasons, de la granulométrie des dépôts et de leur nature. La qualité des résultats dépend également de la stabilité du support dans l'écoulement et, bien sûr, implique que le capteur acoustique soit toujours à la surface de l'eau. Cela nous a amené à développer un nouveau dispositif. Compte tenu de la masse du capteur, un radeau support est nécessaire. Celui-ci pourra être immergé en cas de pleine charge du collecteur. Ce dernier point implique que le capteur réponde à la norme IP68 (fonctionnement en immersion totale).

La mesure acoustique s'effectue selon le principe de "la mesure par temps de vol" qui consiste à calculer une distance d'après la mesure du temps écoulé entre l'émission et la réception d'un signal acoustique, avec approximation de la vitesse de propagation de l'onde dans les milieux traversés. La température des effluents variant durant l'année, le choix de la technique ultrasonore impose de prévoir en sus une mesure de la

température. Cette mesure de température est nécessaire à la mesure par temps de vol puisque la célérité des ondes dépend de la température.

Les géométries de collecteurs sont extrêmement diverses. Nous concentrons l'étude sur les collecteurs visitables. Il s'agit donc de section majoritairement circulaire ou ovoïde et de hauteur maximale  $D$  généralement inférieure à 3 m. Le matériel de mesure doit permettre de respecter la définition du point de mesure telle qu'établie ci-avant. Compte tenu de la propagation sphérique du signal acoustique (figure 1), le diamètre  $\Phi$  du disque insonifié est défini par :

$$\Phi = 2h_2 \tan(\theta/2) \quad (2)$$

où  $\theta$  correspond à l'angle d'ouverture du capteur acoustique. Cela implique que le capteur ait un angle d'ouverture inférieur à  $1,9^\circ$  pour une valeur maximale de  $h_2=3$  m.

La hauteur  $h_1$  est déterminée par calcul depuis une mesure angulaire, obtenue par un inclinomètre placé sur le bras du dispositif (figure 3). Le dispositif de mesure est autonome en énergie puisqu'il est alimenté par une batterie 12 V à forte décharge. L'électronique est ramenée dans un coffret étanche situé dans la chambre supérieure. A l'aide d'un câble, l'opérateur pourra interroger le système sans avoir à descendre dans le collecteur.

Le capteur de mesure de hauteur d'eau (altimètre 1,1 MHz) est associé au capteur de température (PT100) dans un radeau relié à la voûte du collecteur par un système de bras pivotants/coulissants. Un système de rappel favorise l'aplomb du radeau au dessus du point de mesure quel que soit la hauteur d'eau et exerce un effort de traction vertical constant afin d'alléger le radeau, de limiter sa flottabilité et donc son encombrement.

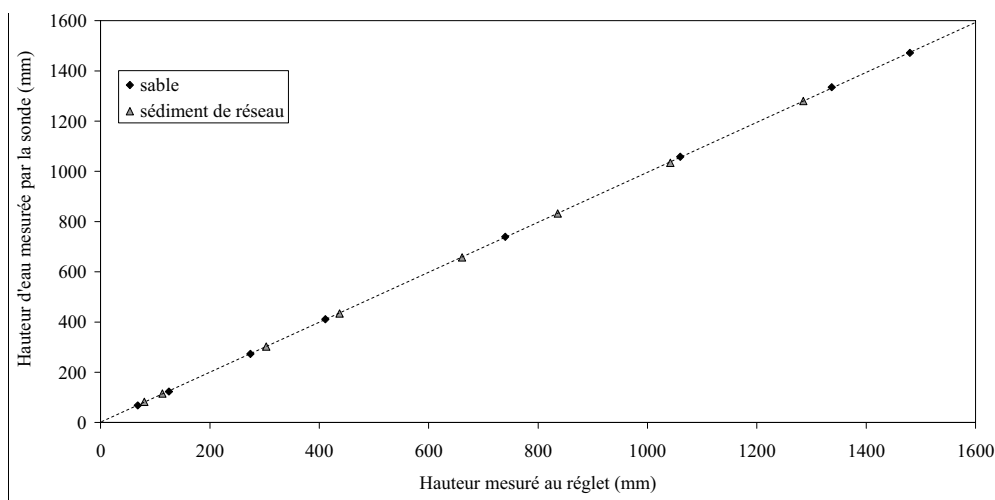
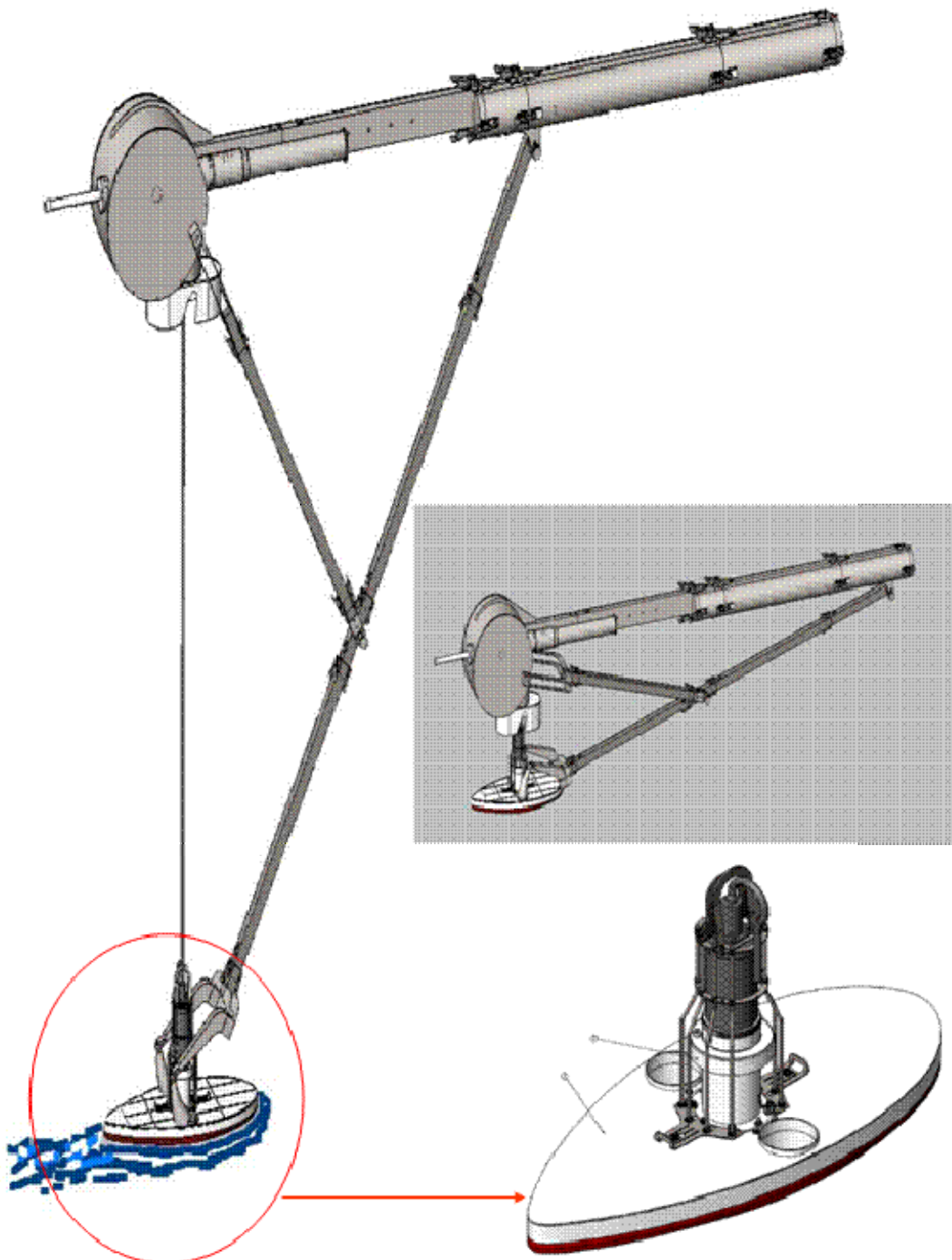


Figure 2. Test de faisabilité.

#### 4. Tests préliminaires

Le capteur acoustique dispose d'une plage de mesure compatible avec le dispositif mais il est handicapé par une zone aveugle de 0,20 m sous la partie active du capteur. Cela

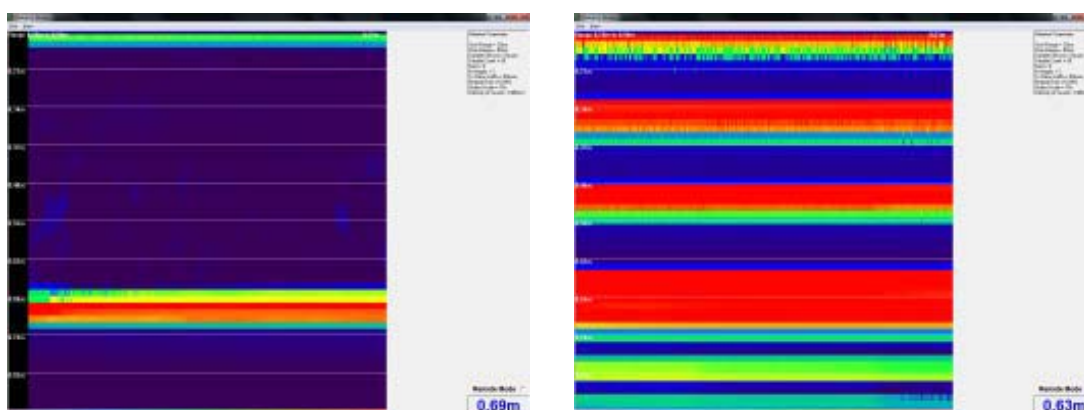
signifie qu'il ne peut détecter une interface située à moins de 0,20 m de sa fenêtre acoustique.



*Figure 3. Schéma du bras coulissant en position déployée (gauche) et ramassée (droite), correspondant respectivement à des niveaux d'eau faibles et élevés.*

Un des enjeux du système Furrina est de pouvoir déterminer la hauteur du sédiment avec une hauteur d'eau minimale de 0,10 m. Par conséquent, le capteur est placé dans une colonne d'eau de 0,15 m faisant office de chambre acoustique (figure 3). L'eau est maintenue piégée dans la colonne par une membrane. Des essais ont été menés pour choisir une membrane dont le matériau est suffisamment robuste pour permettre de retenir l'eau dans la colonne mais suffisamment neutre d'un point de vue acoustique. La figure 4 présente deux enregistrements réalisés en équipant la colonne d'eau de membrane caoutchouc synthétique puis de monofilm. Le premier laisse passer le signal convenablement, la ligne à 0,69 m correspond à la surface du sédiment. Le monofilm, trop rigide, agit comme un miroir et le capteur enregistre des signaux aller-retour multiples entre le monofilm et la surface active du capteur. La surface du sédiment n'est pas détectée.

Des mesures complémentaires vont permettre de déterminer l'exactitude et l'incertitude de mesure du dispositif, qui devra être inférieure à +/-1 cm.



*Figure 4. Effet de la membrane sur la qualité de la donnée transmise. A gauche : membrane en caoutchouc synthétique, à droite, membrane en monofilm.*

## **5. Conclusion**

Le suivi en continu de la hauteur de sédiments en réseau est un enjeu cognitif afin de mieux comprendre les interactions entre le contexte hydraulique et les phénomènes de remise en suspension. Afin de contribuer à la création de connaissances, un prototype de mesure répondant aux normes de sécurité en assainissement est en cours de développement. Cet article rappelle les principaux points du cahier des charges et les principaux éléments de conception du prototype qui est en cours de fabrication. Les résultats des premiers tests sont également présentés.

## **6. Remerciements**

Les auteurs remercient les personnels du LCPC et du CECP pour leur contribution à ce projet.

## 7. Références

- AFLAK A., GENDREAU N., PASCAL O., PISTER B., VUALTHIER J. (2007), *Gestion préventive de l'ensablement des collecteurs visitables d'assainissement et optimisation des interventions de curages.*, Novatech 2007, pp 1325-132.
- AHYERRE M. (1999). *Bilans et mécanismes de migration de la pollution organique en réseau d'assainissement unitaire.* Thèse de doctorat, Université de Paris 6, 250 p.
- ARNAUD G., MORY M., ABADIE S., CASSEN M. (2008). *Nouvelle technique de mesure locale de l'évolution du fond en zone de surf.* Xèmes Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil, 14-16 octobre 2008, Sophia Antipolis, pp 515-524. doi:10.5150/jngcgc.2008.049-A
- ASHLEY R.M., BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., HVITVED-JACOBSEN T., VERBANCK M. (2004). *Solid in sewers.* IWA Publishing, ISBN 1-900222-91-4.
- BANASIAK R. (2008). *Hydraulic performance of sewer pipes with deposited sediments.* Water Sciences & Technology, No 57, Vol. 11, pp 1743-1748. doi:10.2166/wst.2008.287
- BANASIAK R., VERHOEVEN R. (2008). *Transport of sand and partly cohesive sediments in a circular pipe run partially full.* Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 134, No 2, February, pp 216-224. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:2(216)
- BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., GIBELLO C. (2008). *A new technique to measure cross-section and longitudinal sediment profiles in sewers.* 11th Int Conf on Urban Drainage, Edinburg, 8 p.
- LAPLACE D., DARTUS D., BACHOC A. (1988). *Développement d'un dispositif de mesure en continu de la hauteur de dépôt en un point d'un collecteur d'assainissement.* Rapport du programme de recherche sur le transfert des solides en réseaux d'assainissement, I.M.T.F. / E.S.L., Rapport n° 396, 25 p.
- LAWLER D.M. (2008). *Advances in the continuous monitoring of erosion and deposition dynamics: Developments and application of the new PEEP-3D systems.* Geomorphology, 93, pp 17-39. doi:10.1016/j.geomorph.2006.12.016
- OMS C. (2003). *Localisation, nature et dynamique de l'interface eau-sédiment en réseau d'assainissement unitaire.* Thèse ENPC.