



Lutte contre les micropolluants des eaux urbaines



ROULÉPUR – maîtrise de la contamination des eaux de voirie

Tâche 3 – Livrable 3.4a Filtres horizontaux à Rosny sous Bois : Présentation du site expérimental et de l'instrumentation

Rapport intermédiaire

**Julien PAUPARDIN, Direction de l'Eau et de l'Assainissement du
Département de la Seine Saint Denis**

Version AVRIL 2017

Partenaires du projet :

Ecole des Ponts ParisTech – LEESU
CEREMA
Université Bordeaux 1 – EPOC
Conseil Départemental de Seine-Saint-Denis
Conseil Départemental de Seine-et-Marne
Ville de Paris ; Ecovégétal ; Saint Dizier Environnement

- **AUTEURS**

Julien PAUPARDIN, Chargé d'étude en Hydrologie Urbaine, (Département de la Seine Saint Denis, Direction de l'Eau et de l'Assainissement), jpaupardin@seinesaintdenis.fr

- **CORRESPONDANTS**

Coordinatrice ROULÉPUR : Marie-Christine GROMAIRE, LEESU, Ecole des Ponts ParisTech, marie-christine.gromaire@enpc.fr

Agence française pour la biodiversité : Claire LEVAL, Chargée de mission « Eau, Biodiversité et Aménagements urbains » (ancien ONEMA), claire.leva1@afbiodiversite.fr

AESN : Pauline CHABANEL, Ingénieur chargée d'études (Agence de l'Eau Seine-Normandie), chabanel.pauline@aesn.fr

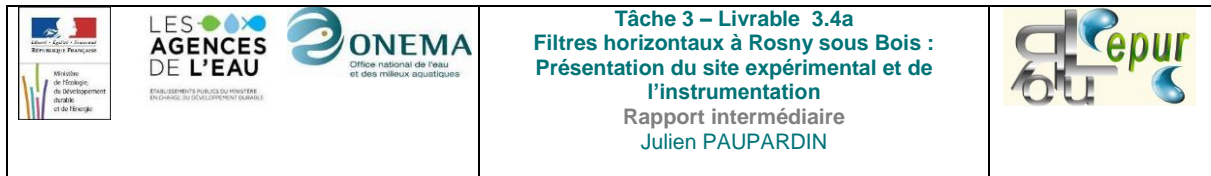
- **AUTRES CONTRIBUTEURS**

Droits d'usage : accès réservé

Niveau géographique : départemental

Couverture géographique : Seine Saint Denis, Rosny sous Bois

Niveau de lecture : professionnels, experts



- **RESUME**

Ce livrable présente le dispositif expérimental mis en œuvre dans le cadre du projet Roulépur, afin d'évaluer la capacité d'un ensemble de mini filtres horizontaux plantés à abattre les micropolluants associés au ruissellement urbain.

Le site étudié se trouve dans le centre ville de Rosny sous Bois (Seine Saint Denis) et collecte les eaux de ruissellement d'une portion de voirie (chaussée, places de stationnement et trottoir) à trafic modéré.

L'évaluation des performances possibles quant à l'abattement des micropolluants nécessite de suivre le débit et la qualité de l'eau en entrée et en sortie des filtres. La mesure des débits entrants est réalisée au moyen d'un débitmètre électromagnétique tandis que pour le calcul des débits à l'aval deux types de données sont acquises : mesure de la hauteur d'eau au niveau du régulateur vortex (loi hauteur-débit du vortex fournie par le fabricant) et mesure de la hauteur d'eau au niveau d'un manchon déversoir triangulaire. Des échantillons moyens par événement pluvieux sont prélevés en entrée et en sortie au moyen de préleveurs automatiques asservis à la mesure de hauteur (amont) ou de débit (aval).

La mise en œuvre de ce dispositif métrologique s'est avérée relativement complexe et de nombreux ajustements ont dû être effectués par rapport au schéma d'instrumentation initial afin d'assurer la fiabilité et la représentativité des données.

- **MOTS CLES (THEMATIQUE ET GEOGRAPHIQUE) :** filtre horizontal planté, métrologie, micropolluants, ruissellement urbain, Seine Saint Denis, Rosny sous Bois, Ile de France

SOMMAIRE

1.	Introduction	6
2.	Présentation des Filtres Horizontaux de Rosny sous Bois	6
2.1.	Situation générale	6
2.2.	Bassin versant étudié	7
3.	Description de la solution innovante	8
3.1.	Caractéristique des filtres horizontaux	8
3.2.	Schéma des filtres de dépollution	9
3.3.	Fonctionnement hydraulique des filtres de dépollution	11
4.	Dispositif expérimental envisagé	11
4.1.	Principes du dispositif expérimental envisagé avant la réponse à l'appel à Projet	11
4.2.	Principes du dispositif expérimental initialement envisagé pour l'appel à projet	15
5.	Dispositif métrologique et moyens humains mis en œuvre	16
5.1.	Moyens humains	16
5.2.	Emplacement des points de mesures hydrauliques et prélèvements	18
5.3.	Mesure de la pluie (Pluviographes à auget basculant)	18
5.4.	Point 197 – Amont - Mesure du débit et prélèvement sur grande canalisation (Ø 600 – intérieur ø567)	19
5.5.	Point 198 – Aval - Mesure du débit et prélèvement sur petite canalisation (Ø 180)	26
6.	Vérification des mesures débitmétriques	31
6.1.	Mesure de débit amont – point 197 – In situ	31
6.2.	Mesure du débit aval – point 198 – Banc d'essai	33
6.3.	Mesure du débit aval – point 198 – In situ - Mesure réalisé au cours d'événement pluvieux	35
7.	Conclusion et planning	37

DISPOSITIF DE FILTRES HORIZONTAUX A ROSNY SOUS BOIS EN SEINE SAINT DENIS

RAPPORT DE PRESENTATION DU SITE EXPERIMENTAL ET DE L'INSTRUMENTATION

1. Introduction

La tâche 3 du projet ROULÉPUR vise l'évaluation in-situ de quatre solutions innovantes de gestion à la source des micropolluants dans les eaux de ruissellement de voiries et parkings :

1. dispositif industrialisé STOPPOL, site de Paris
2. filtres à sable horizontaux plantés, site de Rosny sous Bois
3. accotements végétalisés et fossés filtrants/infiltrants, site de Compans
4. parking perméable Ecovégétal, site de Villeneuve le Roi

Les travaux menés dans cette tâche au cours de l'année 2015 sur les filtres horizontaux de Rosny sous Bois ont essentiellement portés sur une meilleure connaissance du fonctionnement du site et ouvrage d'étude, et d'autre part sur la définition et la mise en œuvre du dispositif expérimental.

Depuis janvier 2016, un certain nombre de réajustements matériels ont été réalisés sur l'ensemble du dispositif expérimental déjà mis en place sur les filtres horizontaux de Rosny-sous-Bois. Par conséquent, ce rapport décrit l'instrumentation mise en place à la date du 28/04/2017.

Aussi, ce présent rapport (livrable 3.4a) présente une synthèse des difficultés métrologiques rencontrées, des solutions qui ont été mises en oeuvre, de la validation de la métrologie et des premiers prélèvements eau, substrat et sédiment jusqu'à la fin du premier trimestre 2017. Même si les analyses réalisées et décrites dans ce rapport s'appuient sur l'ensemble des données hydrologiques mesurées jusqu'au premier trimestre 2017, elles ne seront pas exhaustives et feront l'objet d'un second rapport. Une validation des mesures hydrauliques et une validation du fonctionnement hydraulique des filtres est encore nécessaire.

2. Présentation des Filtres Horizontaux de Rosny sous Bois

2.1. Situation générale

Le site étudié se trouve à Rosny sous Bois (93110), à l'angle de la rue Lavoisier et de la rue Missak Manoukian (Cf. *Figure 1: Localisation du site d'étude Rosny sous Bois* et *Figure 2: Bassin versant d'étude (1) et implantation des ouvrages de gestion des eaux pluviales (bleu)*). Il s'agit d'une portion de voirie de 0.5 ha, à trafic modéré, insérée dans un tissu urbain mixte, et comprenant une chaussée circulée, des places de stationnement, une voie cyclable, des trottoirs ainsi qu'un morceau de parvis. La gestion à la source des eaux pluviales via les filtres plantés ne concerne que les sous-bassins versants 1 et 4, avec des surfaces respectives de 0.341 et 0.060 ha (Cf. *Figure 3*). La mise en service des filtres plantés date de l'automne 2008.



Figure 1: Localisation du site d'étude Rosny sous Bois

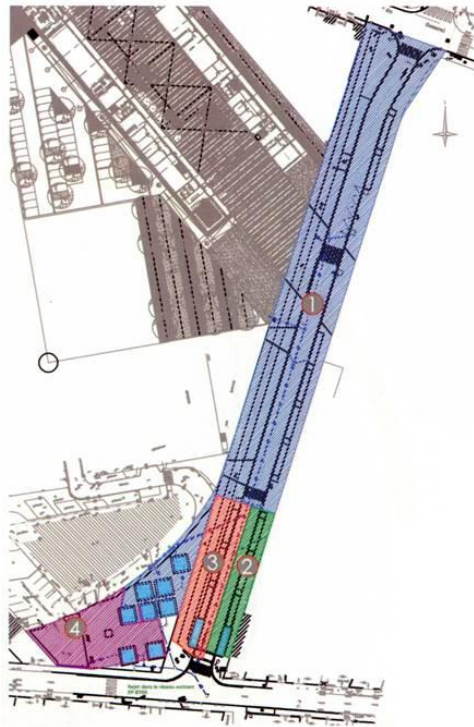


Figure 2: Bassin versant d'étude (1) et implantation des ouvrages de gestion des eaux pluviales (bleu)

Le bassin versant 1 récupère un débit traversier de 10 l/s correspondant au débit limité du Lycée Jean Moulin situé le long de la Rue Missak Manouchian.



Figure 3: Bassin versant du Lycée Jean Moulin (rouge)

2.2. Bassin versant étudié

Dans le cadre de ROULÉPUR, seul le sous-bassin versant 1, d'une surface de 0.341 ha (**??Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), sera étudié. Il comprend 6 ouvrages plantés, soit 3 bassins de dépollutions et 3 bassins de stockages (Cf. encadré blanc de la figure 3). Le suivi des filtres plantés ne comprend que les 3 bassins de dépollutions (Cf. encadré rouge dans la figure 3).



Figure 4: vue aérienne des bassins de stockage et de dépollution

Surface totale (m ²)	Surface espaces verts (m ²)	Surface enrobé/désactivé (m ²)	Coefficient de ruissellement moyen	Surface active (m ²)	Volume décennal à stocker environ (logiciel BASSIN) (m ³)
3410	297	3113	0,85	2891	93,3 (dont 14,5 m ³ en canalisation ϕ 600)

Tableau 1 : caractéristiques du bassin versant d'apport (sous bassin 1)

3. Description de la solution innovante

Conformément aux directives du Département et de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), le projet hydraulique assure le stockage ainsi que la dépollution des eaux pluviales, avant rejet au réseau départemental séparatif à débit de fuite régulé à 10 l/s/ha. Sur ce tronçon, le stockage et la dépollution des eaux se réalisent par des dispositifs à ciel ouvert. Compte tenu des risques naturels liés à la présence de gypse, le choix a été fait d'étanchéifier les bassins de dépollution et les bassins de stockage.

3.1. Caractéristique des filtres horizontaux

La gestion des eaux de ruissellement du sous-bassin 1 est centralisée dans 6 ouvrages plantés :

- 3 bassins de dépollution (BD1, BD2 et BD3) en parallèle, soit 3 bassins carrés plantés (4,20 x 4,20) situés sur la placette. Ces bassins couplent une fonction de dépollution, par filtration au travers d'un massif de sable et gravier, à une fonction de stockage. Le volume de stockage est constitué d'un stockage à ciel ouvert et d'un stockage enterré dans les substrats de dépollution.
- 3 bassins de stockage (BS1, BS2 et BS3) en parallèle pour les fortes pluies, soit 3 bassins carrés plantés (4,20 x 4,20) situés sur la placette, et alimentés que par surverse des bassins de dépollution, constitués d'un stockage à ciel ouvert et d'un stockage enterré dans une structure de bulbe cailloux. La présence d'un clapet anti-retour empêche que les bassins de stockages ne soient alimentés par mis en charge du réseau avant même que les bassins de dépollution ne débordent. Sollicités uniquement pour les événements rares (approximativement pour des temps de tour de l'ordre de 1 à 2 ans), les bassins de stockages (BS1, BS2 et BS3) devraient jouer un rôle négligeable au regard des pluies étudiées dans le cadre du projet.

Les caractéristiques des ouvrages liés au sous bassin versant 1 sont :

Réseau de collecte alimentant les bassins	- Ouvrage sous propriété privée et trottoir phi 600 d'une pente de 1%, d'une longueur rectiligne d'environ 23 m à partir du regard de la prise d'eau du premier filtre avec coude à l'amont d'environ 150°. - A l'amont de ce coude l'ouvrage est un phi 400 sous la chaussée de la rue Manoukian à l'approche de la rue Lavoisier d'une pente de 4% annoncés. Ce coude est le résultat d'un raccordement du phi 600 avec le 400 qui a été muré.
Procédés utilisés et mécanismes	Dépollution par filtration : filtres à sable horizontaux plantés - Partie minérale : couches de granulométries différentes sur une longueur moyenne de 8,80m et une hauteur de 1,40m : filtration graduelle des particules selon leur taille - Partie végétale : pollution dégradée par les microorganismes et prélevée par les racines des plantes, biodégradation des hydrocarbures et adsorption des particules de métaux lourds.
Profondeur du filtre	1,40m
Géotextile	Géotextile vertical
Caractéristiques d'entrée	Centralisée : canalisation Ø 600 mm
Limiteur Vortex	A la sortie des 6 bassins (BS1, 2, 3 et BD1, 2, 3.) à 10 l/s/ha soit à 3.4 l/s.
Clapet antiretour	Situé à l'aval des bassins de stockage (BS1, 2 et 3). L'alimentation en eaux pluviales des BS ne peut se faire qu'à ciel ouvert.
Caractéristiques de sortie	Centralisée : canalisation après limiteur vortex Ø 180 mm. La pente est de 1.3%

Tableau 2: caractéristiques des ouvrages liés au sous bassin versant 1

3.2. Schéma des filtres de dépollution

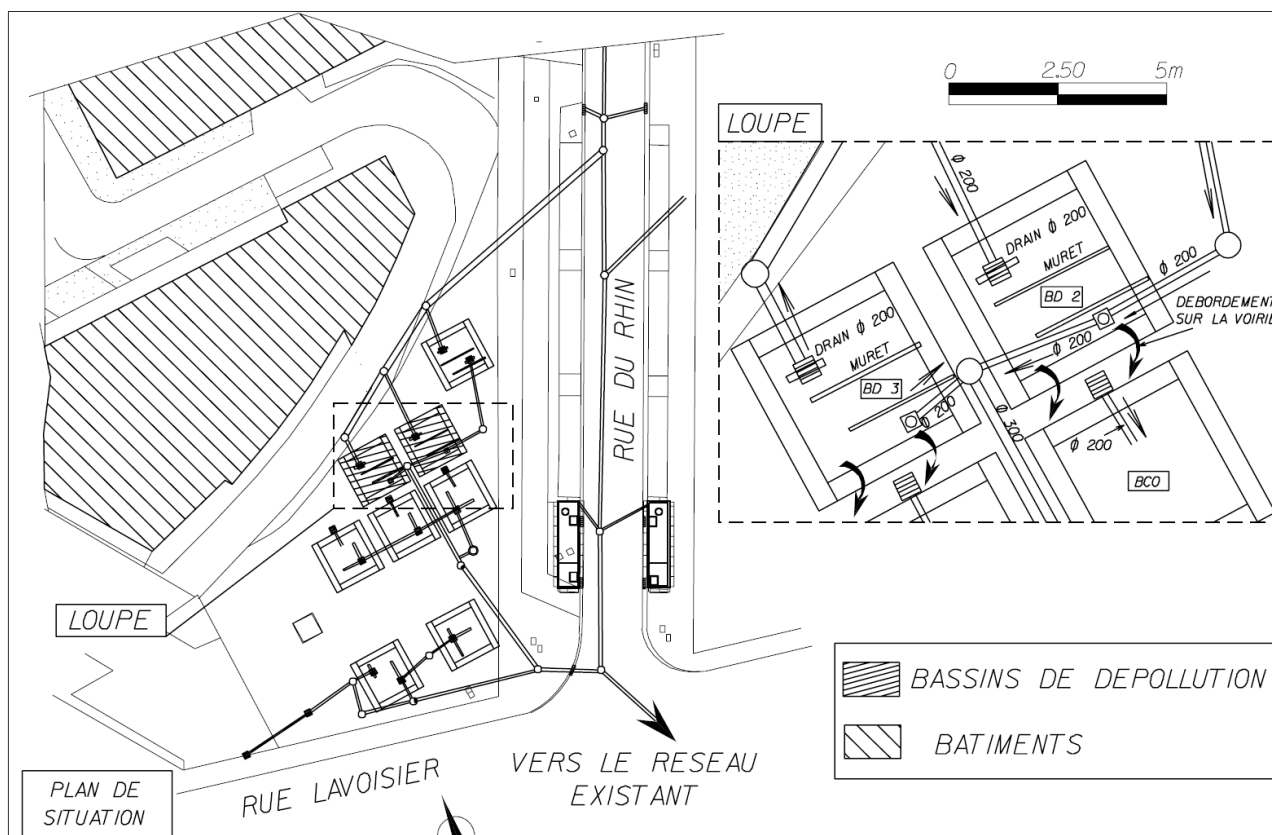


Figure 5 : Plan de situation des filtres de dépollution (DEA)

Deux des trois bassins de dépollutions sont concernés par la loupe de la figure 5. Le premier bassin est identique aux deux autres sauf en un point. En effet et ce jusqu'à la période de retour 1 à 2 ans, ce bassin ne surverse pas vers les bassins de stockage à l'aval.

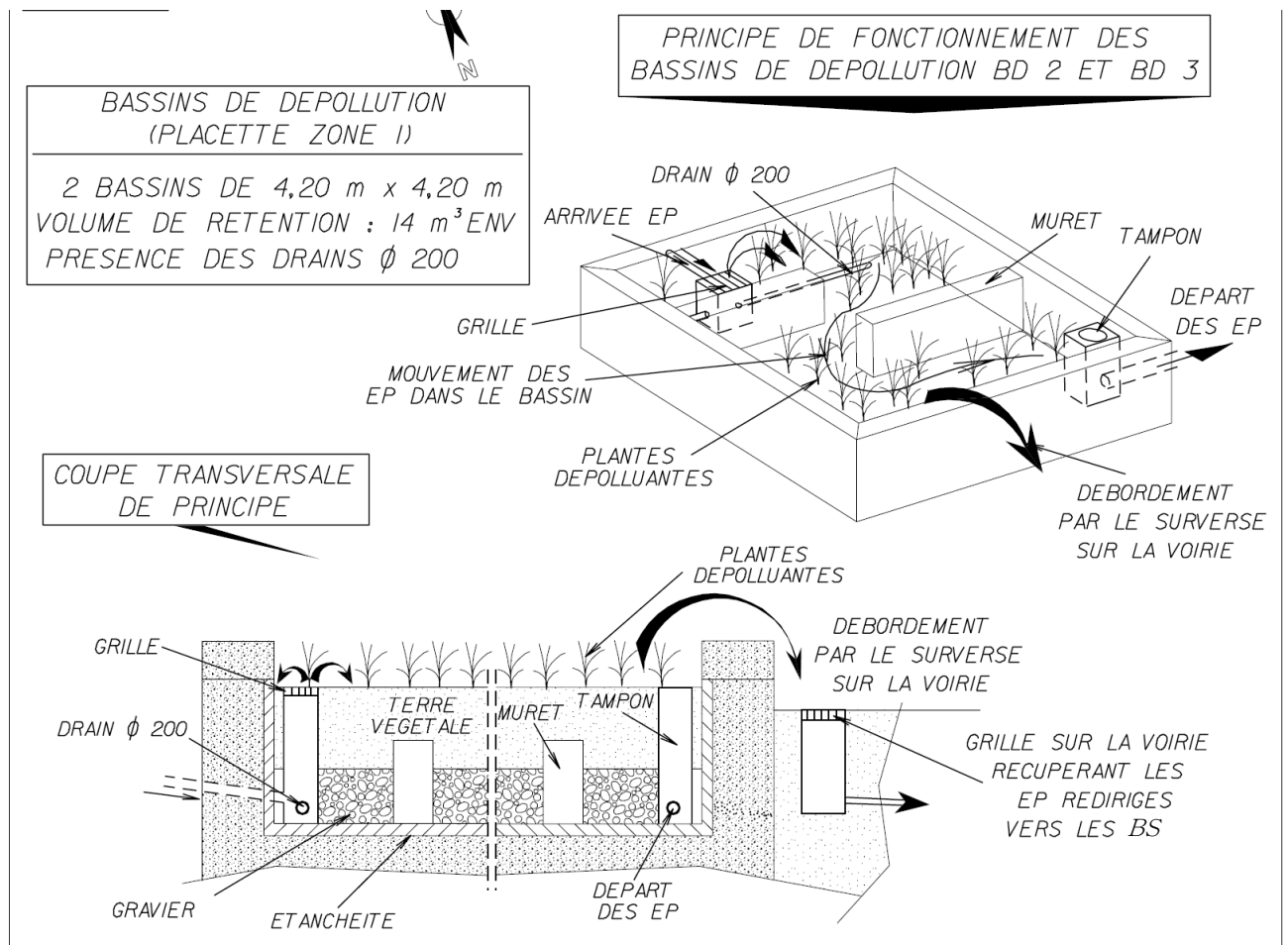


Figure 6: Principe de fonctionnement d'un filtre de dépollution et coupes transversales de principe des BD2 ET BD3 (DEA)

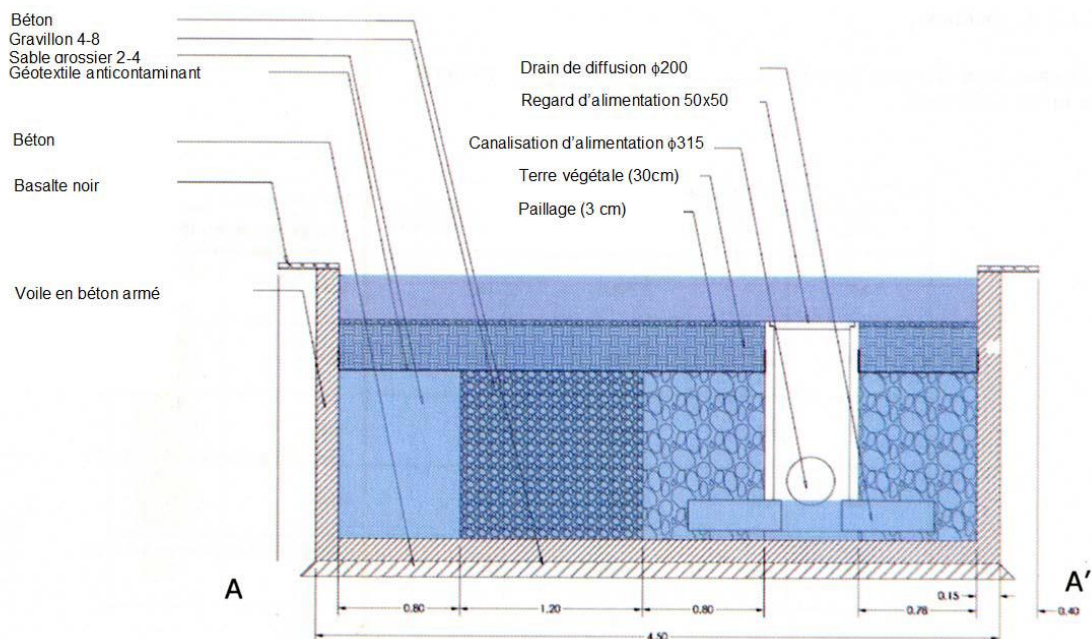


Figure 7: Coupe transversale de principe de BD2 et BD3- bis (Composante Urbaine)

3.3. Fonctionnement hydraulique des filtres de dépollution

Les eaux de ruissellement du sous-bassin versant 1 sont collectées via les caniveaux de voirie dans les avaloirs disposés tous les 50 m environ. Elles sont conduites par une canalisation enterrée ($\phi 600$) le long de la rue Missak Manoukian et transitent avant leur rejet dans des filtres par des regards, équipés en leur fond d'un élément de décantation d'une hauteur de 50cm. Les éléments grossiers sont ainsi piégés avant le passage des eaux pluviales dans les filtres à sables plantés de dépollution (BD1, BD2 et BD3). Cette décantation est grossière et permet de se prémunir d'un colmatage précoce des filtres. La canalisation $\phi 600$ située à l'amont des 3 filtres de dépollution se divise en 3 canalisations qui alimentent chaque bassin de dépollution. Des drains en $\phi 200$ permettent de diffuser les eaux à traiter dans la première couche de substrat (gravier 6-20). Des cloisons perpendiculaires à l'écoulement naturel de l'eau forcent les eaux à traverser horizontalement toutes les couches de granulométrie différente (gravier 6-20, puis 4-8, puis sable grossier 2-4, sable fin 0,1-2 et enfin gravillon 4-8). Les eaux ainsi filtrées sont ensuite captées par des drains connectés à un regard, pour être dirigées vers le limiteur à effet vortex (limité à 3.4 l/s). Le regard d'alimentation de chaque bassin de dépollution est équipé d'une grille afin de permettre un stockage à ciel ouvert, puis si nécessaire une surverse en cas de fort événement pluvieux. Les eaux de surverses sont acheminées à ciel ouvert dans les bassins de stockage. Il est probable qu'aucune surverse ne soit observée durant l'expérimentation par son caractère exceptionnel. Les eaux sont ensuite conduites au réseau départemental existant ($\phi 700$) situé sous la rue Lavoisier au débit limité de 3.4 L/s (exutoire final : la Marne), auquel s'ajoute le débit traversier de 10 L/s correspondant au débit limité du Lycée Jean Moulin.

4. Dispositif expérimental envisagé

L'instrumentation des filtres plantés a commencé bien avant l'appel à projet. A titre de retour d'expérience, il est indiqué dans la première sous partie (4.1), l'historique du dispositif expérimental initialement envisagé avant l'appel à projet. Par la suite, sera explicité le principe du dispositif expérimental initialement envisagé lors de la réponse à l'appel à projet et l'historique des modifications qui ont suivies.

4.1. Principes du dispositif expérimental envisagé avant la réponse à l'appel à Projet

Le protocole expérimental de suivi des filtres plantés initialement proposé était le suivant :

- Eaux de ruissellement
 - o Mesure de la pluie (Pluviographe à auget basculant). Le pluviographe télétransmis le plus proche du site est situé à l'adresse suivante : Ecole Edouard Herriot, 34 rue Daniel Perdrigé, Neuilly-Plaisance.
 - o Mesure de débit sur grande canalisation à l'amont ($\phi 600$)
 - Site avec déversoir : Débitmètres SIGMA 950 avec sonde couplée piézomètre (mesure hauteur d'eau) / doppler (mesure vitesse)
 - Site non régulé, soit sans déversoir : Débitmètre SIGMA 950 avec sonde couplée piézomètre (mesure hauteur d'eau) / doppler (mesure vitesse) ou Bulle à bulle (mesure hauteur d'eau) + mini sonde Doppler (mesure vitesse)
 - o Mesure de débit sur petite canalisation à l'aval ($\phi 180$)
 - Débitmètres ISCO 4230 + manchon déversoir (fiabilité difficile à évaluer)
 - o Mesure de la qualité entrée et sortie d'ouvrage
 - Préleveur d'échantillons automatique ISCO 3700 (24 flacons) asservi au débitmètre
 - Mélange des échantillons
 - Conditionnement plastique et verre
 - Prélèvement immédiat en moins de 24 heure ou conservation à 4 degré dans glacière sur le terrain
 - Fréquence 6 fois par an
 - Pluies significatives (pas d'indication sur la période de retour)
 - o Alimentation du dispositif

- Idéalement sur 2 prises électriques sur le terrain nécessitant un convertisseur 220 V en 12 V
- Batterie spéciale : 17 ampères, 12 V, autonomie de 2 semaines environ
- Substrat
 - Carottage par zone en fonction de la sollicitation (forte, moyenne, faible)
 - Mélange des échantillons
 - Fréquence (1 fois tous les 10ans)
 - Conservation (congélation, lyophilisation)
 - Témoin
- Végétation
 - 100 g par espèce par fauchage
 - Mélange des échantillons
 - Fréquence (tous les ans)
 - Conservation (à sec)
 - Témoin

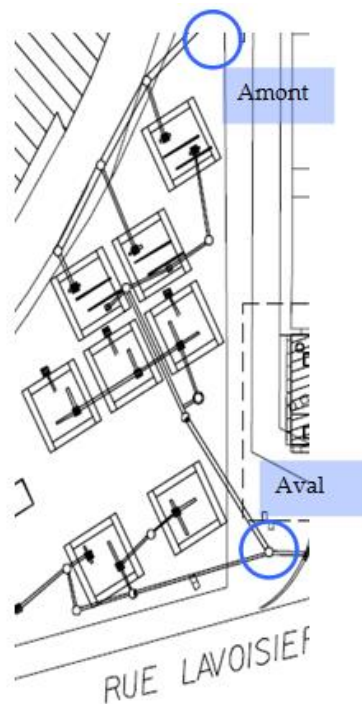


Figure 8: Illustration du dispositif d'échantillonnage

Les polluants à analyser étaient les suivants :

- pour les eaux de ruissellement :
 - paramètres de base : granulométrie, pH, conductivité, Ntk, MES, DCO, DBO5
 - Métaux (Zn, Cu, Pb)
 - Hydrocarbures totaux
 - PCB
 - HAP
 - Phtalates
 - Pesticides (Glyphosate + AmPA)
 - COHV
 - Fluorures
 - Indice Phénol
 - Cyanures totaux
- Pour le substrat (sable et terre végétale)
 - paramètres de base : granulométrie, pH
 - COT
 - Métaux (Zn, Cu, Pb, As, Cd, Hg, Ni, Cr, Ba, Mo, Sb, Se)
 - Hydrocarbures totaux
 - HAP
 - COHV
 - Fluorures
 - Indice Phénol
 - Cyanures totaux

- Dans les végétaux, même si seule la matière végétale, une fois compostée était soumise à la réglementation
 - o Métaux (Zn, Cu, Pb, Cr, Cd, Hg, Ni)

Le protocole d'instrumentation a ensuite été modifié au regard de sa pertinence plus ou moins avérée pour remplir toutes les conditions nécessaires à un protocole de prélèvement de micropolluants. Est décrit ci après, l'historique simplifié des modifications du protocole d'échantillonnage :

Etape 1 :

- Mesures amont envisagées:
 - o capteur à effet doppler ou un débitmètre électromagnétique en conduite semi-immergée
 - o une crépine de prélèvement à l'amont du premier filtre aussi loin que possible
- Mesures aval envisagée:
 - o capteur de pression ou d'un débitmètre électromagnétique dans les mêmes conditions que l'amont
 - o une crépine de prélèvement à la sortie du filtre dans le regard où est installé le vortex.

Etape 2 :

- Mesures amont envisagées :
 - o Mise en place d'une armoire à l'extérieur pour contenir le préleveur ISCO 3700, les appareils nécessaires à la mesure de débit, les appareils de télétransmissions et les batteries nécessaires aux différents appareils.
 - Si la mesure est effectuée par un débitmètre électromagnétique, l'armoire contiendra le convertisseur adapté et l'acquisiteur/transmetteur RT+
 - Si les mesure de la hauteur et de la vitesse plus classiques sont réalisées, l'armoire contiendra un sigma et un Vegamet 381 (alimente simplement la sonde)
 - Des fourreaux sont à créer entre l'armoire Amont et le dispositif de mesure de débit
- Mesures aval envisagées:
 - Le premier regard (équipé d'un régulateur vortex) contiendra la crépine de prélèvement et la sonde de hauteur (calcul du débit avec la caractéristique $Q=f(h)$ du régulateur)
 - Le second regard, immédiatement à l'aval du premier contiendra l'ensemble du matériel de mesure/prélèvement (préleveur ISCO 3700, Vegamet 381, acquiiseur RT+, batteries nécessaires) et sera relié au premier regard par un fourreau placé dans la canalisation.
 - Il n'est pas envisagé la mise en place d'un débitmètre électromagnétique. Cette solution était trop couteuse, voir même impossible au regard notamment des réseaux existants des différents concessionnaires.

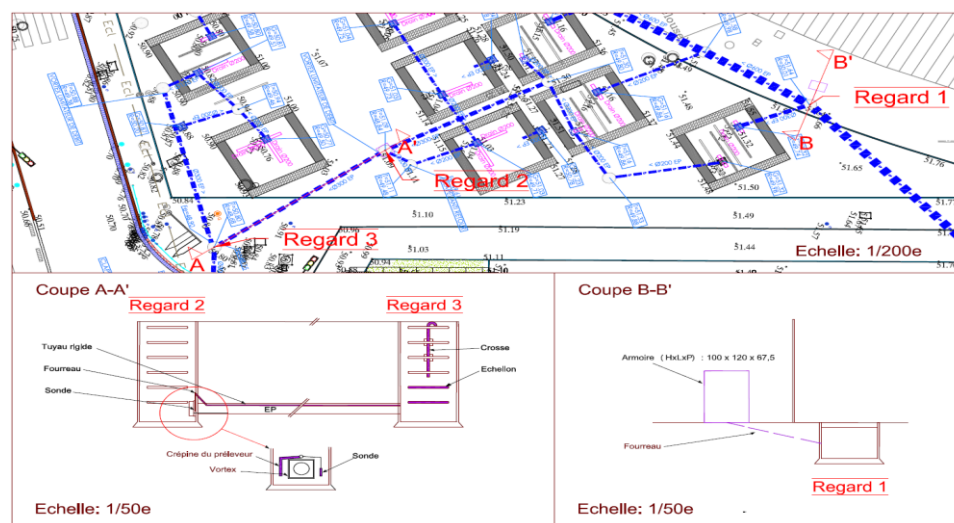


Figure 9: Schéma de principe pour les devis de travaux envisagé sur le site de Rosny sous Bois le 10/06/2011

Etape 3 :

- Mesures amont envisagées:
 - Mise en place d'une mesure de débit par débitmètre électromagnétique muni de l'acquisiteur (KHRONE)
 - Mise en place de deux préleveurs réfrigérés placés directement dans la chambre du débitmètre (demande alimentation 220V ou 12/24V)
 - Mise en place d'une chambre pour le débitmètre + pompe de relevage pour éviter l'inondation des préleveurs + échelons avec crosse + trappe de visite de la canalisation pour nettoyage + trappe de circulation sur la voirie
 - Mise en place d'une armoire pour le convertisseur de mesure (KHRONE) et l'acquisiteur/transmetteur RT+
 - Apport d'une alimentation secteur EDF (solutions par candélabre et/ou batteries non retenues)
 - Des fourreaux sont à créer entre l'armoire Amont et le dispositif de mesure de débit
- Mesures avalées envisagées:
 - Une mesure de débit avec déversoir rectangulaire et relation hauteur débit avec une sonde piézométrique



Figure 10: Photo du dispositif réalisé sur place

- Un prélèvement directement dans la canalisation Ø180 via un préleveur réfrigéré



Figure 11: Photo du dispositif de prélèvement avec une sonde piézométrique

- Alimentation par batterie (une alimentation continue avec EDF aurait été trop couteuse avec mis en place de tranchées pour accès à l'armoire de l'amont)

Cet historique, même sommaire, reflète la complexité de mettre en synergie des services avec des agents aux compétences variées dans le cadre d'un projet d'instrumentation innovant et assez exceptionnel :

- mise en place d'un débitmètre électromagnétique (en section semi-immersée) non conventionnel pour l'amont nécessitant des contraintes de poses et d'alimentation spécifiques

- mise en place d'un dispositif de mesure de débit non conventionnel sur petite canalisation (pour l'aval)
- mise en place de préleveurs réfrigérés nécessitant des contraintes de poses, d'alimentation électrique et donc de sécurité en endroit confiné
- organisation des équipes prélèvement peu adaptée aux prélèvements de micropolluants (réactivité – conditionnement des échantillons – protocole de nettoyage, etc.)

Aussi, certaines problématiques et dépenses n'ont pas été prévues au regard du caractère innovant de l'instrumentation, concernant surtout le débitmètre électromagnétique. Souffrant d'un manque de recul certain sur la mise en place et l'exploitation de ce dernier, le comité de pilotage et les groupes de travail (équipes mesures, équipes prélèvement, etc.) ont été contraints de travailler en perpétuel réajustement. Ce projet permet d'accumuler une expérience significative sur le plan technique (instrumentation, protocole de suivi) mais aussi organisationnel et relationnel.

4.2. Principes du dispositif expérimental initialement envisagé pour l'appel à projet

L'instrumentation amont était existante mais en cours de validation

- Pour la mesure amont :
 - o La mesure de débit est réalisée à l'aide d'un débitmètre électromagnétique pour mesure en conduite partiellement remplie.
 - o Le prélèvement est proportionnel à un événement (dépassement d'une hauteur seuil dans la canalisation) et est effectué à l'aide d'un préleveur automatique asservi à un contact « temps sec ». Cela signifie que le débitmètre envoie une commande de prélèvement (courant) à partir d'une certaine hauteur d'eau dans la canalisation. Le prélèvement s'effectue ensuite à intervalle de temps régulier avec un volume de prélèvement fixe. Est prévue une hauteur seuil légèrement inférieure au seuil de déclenchement pour arrêter le prélèvement.
 - o Une armoire électrique (EDF) permettra d'accueillir l'ensemble des acquiseurs de données et d'autres si nécessaires pour des instruments de mesure supplémentaires du type « sondes d'humidité » dans le substrat des BD ou encore « sondes de hauteur d'eau » dans les regards des BD.
- Pour la mesure aval
 - o Pour des raisons de faisabilités techniques et financières, l'instrumentation aval ne comprend pas de débitmètre électromagnétique. Sont présents une mesure de débit sur $\phi 180$ avec seuil rectangulaire et un préleveur automatique asservi à un contact « temps sec ».
 - o Le préleveur se situe dans le même regard où est placé le débitmètre aval et l'alimentation se fait sur batterie. La mesure effectuée par déversoir est adaptée au contexte de débit régulé (gamme de variation modéré des débits) et a déjà fait ses preuves dans des contextes similaires (Bressy, 2009).

Une campagne de validation est nécessaire, notamment pour l'aval afin d'établir la forme du déversoir la plus adaptée au contexte d'une petite canalisation avec faible débit (triangulaire, rectangulaire...). Dans le cadre du projet ROULÉPUR, l'équipement initial des filtres plantés sera complété par :

- La mesure de la hauteur d'eau dans les regards d'entrée de chaque filtre
- la mesure de la teneur en eau via des sondes d'humidité dans le substrat ; ceci, afin de permettre une meilleure compréhension du fonctionnement hydrique des bassins de dépollution en évaluant la répartition des eaux pluviales entre les trois BD à partir du $\phi 600$.
- la mise en place de préleveurs réfrigérés (amont et aval) pour les micropolluants.

Le protocole comprendra également des campagnes de prélèvements sur les végétaux et le substrat. Les végétaux d'origines (*Carex muskingumensis* et *Panicum virgatum*) sont toujours présents sur le site. Seuls certains bassins ont subi quelques modifications en matière d'espèces plantées par le service communale de la commune (*Calamagrostis acutiflora* Overdam et *Imperata cylindrica* Red Baron). Sont prévues des analyses des teneurs en polluants des végétaux au regard de leur devenir en tant que déchets verts après faucardage.

Sera proposé dans le protocole, des mesures de la capacité d'infiltration de la surface du filtre.

Sont prévues deux campagnes de prélèvements pour le substrat, soit en début et fin de projet, soit le prélèvement :

- d'un échantillon moyen du sable en entrée et sortie de chaque filtre

- et d'un échantillon moyen du sol (couche de végétalisation) de chaque filtre.

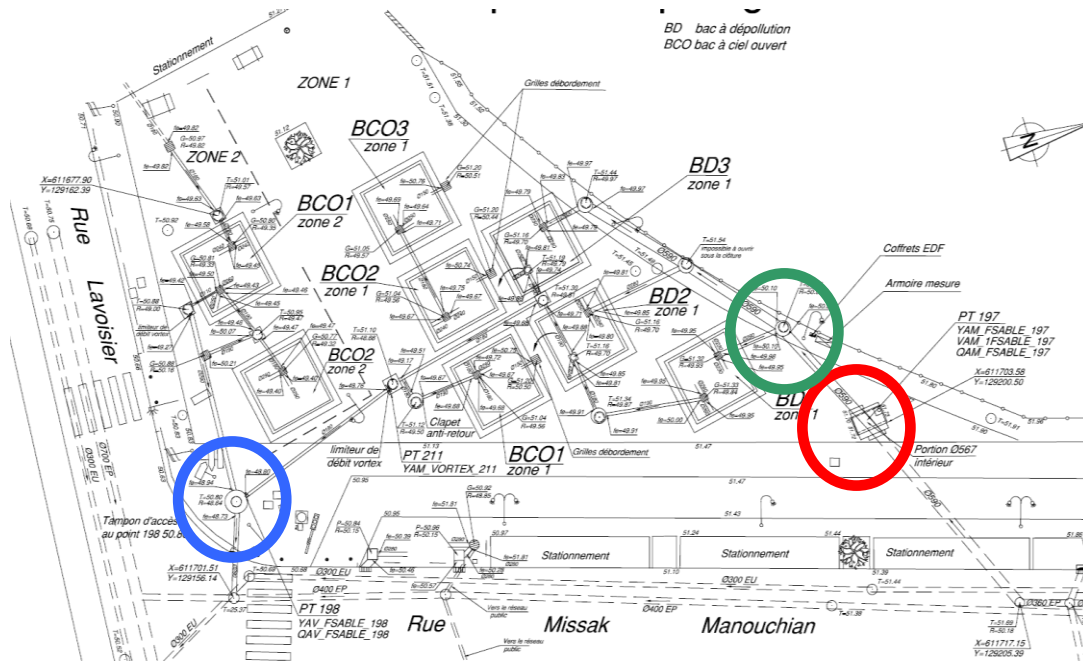


Figure 12: Instrumentation sur la base d'un plan croquis de repérage réalisé en novembre 2015

Légende de la Figure 12 :

- Bac à ciel ouvert (BCO) appelé aussi bassin de stockage (BS)
- Instrumentation amont existante (en cours de validation)
 - o Mesure de débit sur \varnothing 600 avec un débitmètre électromagnétique TIDALFLUX 4300PF pour mesure en conduite partiellement remplie
 - o un échantillonneur automatique asservi à un contact temps sec
 - o un préleveur
- Une armoire d'enregistrement
- Instrumentation aval (en cours de validation)
 - o Mesure de débit sur \varnothing 180 avec seuil rectangulaire et bulle à bulle
 - o un échantillonneur automatique asservi à un contact temps sec
 - o un préleveur dans le même regard où est placé le débitmètre aval.

5. Dispositif métrologique et moyens humains mis en œuvre

5.1. Moyens humains

L'instrumentation, la validation des données et leur exploitation sont réalisés par la DEA avec l'appui du LEESU.

Les engagements de la DEA consistent notamment à mettre en place une équipe projet pour l'instrumentation et le suivi des filtres à sables plantés de Rosny sous Bois (Figure 13: Organigramme de fonctionnement pour le suivi des filtres). L'organigramme n'est pas exhaustif mais se veut synthétique pour représenter l'ensemble des services concernés :

- service curage, inspection télé des réseaux: SEER (service exploitation et entretien du réseau)
- service en charge de l'instrumentation et de la récupération des mesures hydrauliques des points 197 et 211 : SGE (Service gestion des eaux)
- Service en charge de l'instrumentation du point 198, de la récupération des mesures hydrauliques du point 198 et récupération des prélèvements des points 198 et 197 : SHUE (service hydrologie urbaine et environnement)

- Service en charge de la validation et de l'analyse des mesures : SHUE

De nombreux services et agents sont impliqués.

SEER Responsable : Sylvie Decatte	SHUE Responsable : Bernard Breuil			SGE Responsable : Jocelyn Leroy
Bureau intervention en régie et raccordement au réseau	Bureau Liaison Aménagement et Urbanisme <i>Responsable Ronan Quillien</i>	Bureau qualité des eaux <i>Resp : Godefroy Belhomme</i>	Bureau Etudes Avant projet et Mesures <i>Resp : François Chaumeau</i>	Bureau Télégestion et mesures
Cellule de curage (BIRRR) Elvis Rozman Prêt d'une Hydrocureuse pour le curage du réseau ou bien pour faire des test hydrauliques	Chargé d'études pilote du projet à la DEA: Julien Paupardin Exploitation des données (hydrauliques et qualités) en lien avec Martin Seidl (LEESU)	Contrôleur : Athmane Abassy 3 équipes terrain en turn over (1 chef d'équipe et 2 agents) <u>Point 198</u> (débitmètre triangulaire et préleveur réfrigéré) <u>Point 197</u> (préleveur réfrigéré uniquement)	Fabien Desetables : exploitation des données et validation des mesures hydrauliques Guillaume Oudin : référent Sivhy (logiciel d'exploitation des mesures hydrauliques) Frederick Vandelannoote : chargé d'étude référent en qualité	Alain Queinec : responsable des équipes pour la mise en place des mesures travaux de câblage – gestion des problèmes électriques – instruments aux <u>point 197 et 211</u>

Figure 13: Organigramme de fonctionnement pour le suivi des filtres

Un stage de 6 mois a été réalisé du 1^{er} mars au 31 août 2016. L'objet du stage était le suivant :

- Recherche bibliographique sur l'état de l'art des techniques de traitement des eaux pluviales en milieu urbain basées sur un complexe filtrant « sol/substrat/végétation » (conception – suivi – exploitation)
- Suivi des filtres plantés de Rosny sous Bois pour évaluer leur efficacité (suivi des instruments, collecte et traitement des données et prélèvements)
- Réalisation d'un guide opérationnel apportant des préconisations ciblées (conception/suivi/exploitation) sur les filtres plantés de Rosny sous Bois et de manière plus générale pour toutes techniques de traitement des eaux pluviales en milieu urbain basées sur un complexe filtrant « sol/substrat/végétation ».

Toutes interventions réalisées sur le point 198 (relève des mesures, changement de batterie, campagne de prélèvement, entretien, maintenance) engagent nécessairement le déplacement d'une équipe terrain ce qui peut être impactant. Globalement, l'organisation en interne que nécessite le projet pour tous les points de mesures, (instrumentation, maintenance, récupération et validation des mesures, campagnes de prélèvements, achats de matériel) repose sur une pluralité très significative de services et d'agents aux compétences variés. Indépendamment de l'investissement et de l'engagement de l'ensemble des agents sur le projet qu'il est nécessaire de souligner, les délais engagés par les demandes d'intervention, au regard du plan de charge de chaque service, ou encore les délais alloués à l'achat de matériel, peuvent être impactants pour le projet. Des ajustements (groupe de travail, procédures de prélèvement, procédure de validation et de maintenance, réorganisation des équipes) ont été opérés au fil du projet pour faciliter son avancement.

5.2. Emplacement des points de mesures hydrauliques et prélèvements

Des modifications significatives ont été apportées au protocole d'instrumentation initialement envisagé pour l'appel à projet.

Voici un schéma du site avec l'emplacement des points de mesures :

- **Point 197** _ amont avec une chambre pour le débitmètre/préleveur et une armoire électrique + un nouveau capteur de pression en complément du débitmètre électromagnétique
- **Point 211** _ entre l'amont et l'aval, une nouvelle mesure de la hauteur avec une sonde piézométrique dans le regard du limiteur à effet vortex
- **Point 198** _ aval avec un regard pour l'obturateur déversoir avec seuil triangulaire, la mesure de hauteur par bulle à bulle et le préleveur

Un certain nombre de réajustements ont été réalisés sur l'ensemble des instruments de prélèvements.



Figure 14: emplacement des points de mesure

5.3. Mesure de la pluie (Pluviographes à auget basculant)

La hauteur de basculement de l'auget est de 0,2mm et chaque basculement est horodaté, ce qui permet de travailler par la suite à pas de temps fixe ou variable selon les besoins. Les pluviomètres installés sur le territoire de la Seine Saint Denis sont doublés et donnent des cumuls relativement constants l'hiver. Pour l'été, il y a des petites différences surtout en bord de Marne et sur le plateau de Bagnolet.

Les pluviographes télétransmis les plus proches du site sont situés aux adresses suivantes :

- Adresse: 99 avenue du général de Gaulle - 93110 Rosny-sous-Bois (toit du bâtiment E jusqu'à décembre 2015, toit du bâtiment C depuis le 01/01/2016)
- rue du jardin École - 93100 Montreuil (pluviomètre terrestre)
- 34 rue Daniel Perdrigé - 93360 Neuilly-Plaisance (pluviomètre terrestre)

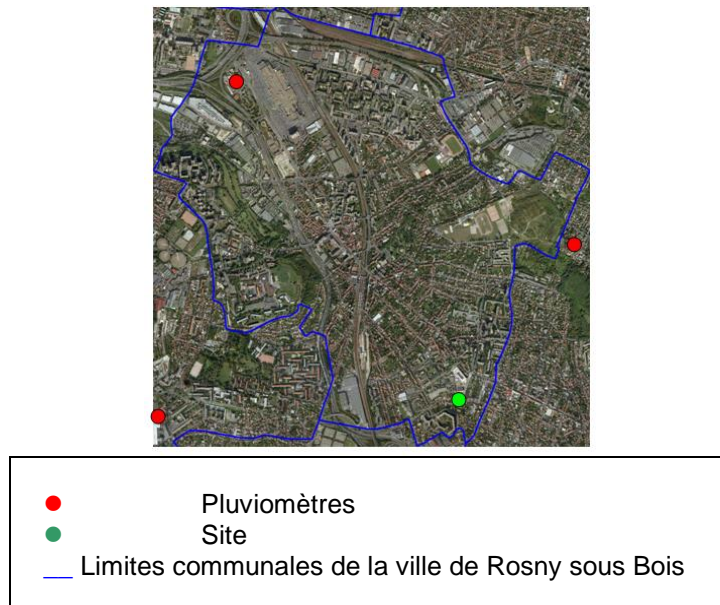


Figure 15 : localisation des pluviomètres autour du site d'étude

Au 28/04/2017, aucun des trois pluviomètres n'est pour le moment privilégié pour représenter la pluviométrie sur le site des filtres horizontaux.

L'accès aux données pluviométriques est nécessaire pour faire des bilans de masses d'eaux entre la pluviométrie et les volumes d'apport mesurés à l'amont des filtres via le débitmètre électromagnétique.

Ces données pluviométriques permettent de comparer le comportement du filtre pour des événements pluvieux différents mais également de calculer un taux de recouvrement des prélèvements sur une pluie.

Les données débitmétrique récoltées à l'amont des filtres n'étaient pas suffisamment précises (jusqu'au 21 mars 2017). Une comparaison entre les volumes apportés et la pluviométrie ne pouvait pas être réalisée pour ainsi déterminer quel pluviomètre privilégier.

Aussi, nous nous portons sur l'éventualité où les apports d'eaux pluviales à l'entrée des filtres seraient calculés à partir de la pluviométrie. La formule utilisée pour calculer le volume ruisselé sur le bassin versant est le simple produit de la surface active avec le cumul de pluie observé. La réflexion portera sur la possibilité d'intégrer dans cette formule des pertes initiales. La possibilité d'implanter une mesure pluviométrique même temporaire directement sur le site a été écarté pour plusieurs raisons :

- Trop de contraintes (place, météo France) au niveau du site
- Manque de temps

5.4.Point 197 – Amont - Mesure du débit et prélèvement sur grande canalisation (Ø 600 – intérieur φ567)

5.4.1. Descriptif du débitmètre électromagnétique

Alimenté en continu (12/24 V), le débitmètre électromagnétique TIDALFLUX 4300 F est conçu pour la mesure du débit de liquides électro conducteurs, même en conduites partiellement remplies. En connaissant le taux de remplissage avec la surface mouillée et la vitesse d'écoulement du liquide, il est facile de calculer la quantité de liquide qui traverse le tube. Le débit $Q(t)$ dans une conduite est de $Q(t) = v(t) \times A(t)$ où :

- $v(t)$. La **vitesse d'écoulement du liquide** est mesurée selon le principe de mesure électromagnétique inductif. Les deux électrodes de mesure sont positionnées dans la partie basse du tube de mesure, à une hauteur de 10% env. du diamètre intérieur de la conduite afin d'assurer une mesure fiable à partir d'un niveau de remplissage de 10%. Un fluide conducteur coule à l'intérieur du tube de mesure isolé électriquement et y traverse un champ magnétique.

Ce champ magnétique est généré par un courant qui traverse une paire de bobines de champ. Une tension U , alors induite dans le fluide, proportionnelle à la vitesse moyenne d'écoulement v et donc au débit q , est captée par des électrodes. La tension du signal est très faible (typiquement 1mV à $v = 3 \text{ m/s}$ / 10 ft/s et bobines de champ d'une puissance de 1 W). Un convertisseur de mesure amplifie ensuite le signal de la tension mesurée, le filtre (le sépare du bruit), puis le transforme en signaux normalisés pour la totalisation, l'enregistrement et le traitement.

- A(t). La **section mouillée** A de la conduite est calculée grâce à la mesure de niveau capacitive brevetée, intégrée dans le revêtement du tube de mesure, et au diamètre interne de la conduite. La partie électronique est logée dans un boîtier compact, monté directement sur le capteur de mesure. Le raccordement de cette électronique au convertisseur de mesure IFC 300 F déporté se fait par un câble de communication numérique qui se situe dans l'armoire électrique.

Un regard de visite a été placé à l'amont du débitmètre pour le nettoyage de ce dernier.

Une tige de prélèvement fixe avec crépine se situe à la hauteur des électrodes environ (8.5 cm du radier de la canalisation).

Une petite butée de 7 cm située juste à l'aval du débitmètre permet par temps sec, un remplissage constant de 10% du diamètre intérieur de la conduite et assurer une mesure de débit pour tous les événements pluvieux

Le débitmètre est raccordé à un convertisseur multi-signal de mesure IFC 300 F qui se situe dans l'armoire électrique afin d'avoir accès à toutes les données nécessaires (hauteur, vitesse et débit).pour valider la mesure de débit

L'armoire comprend dans son ensemble :

- Le convertisseur multi-signal
- l'acquisiteur/transmetteur RT+ pour la télétransmission des données
- l'alimentation électrique d'une pompe d'épuisement avec flotteurs dans la chambre du débitmètre pour éviter l'inondation du matériel de prélèvement
- des batteries de secours
- une source de chaleur en cas de gel



Figure 16 : Débitmètre électromagnétique TIDALFLUX 4300 PF



Figure 17 : Photo du convertisseur multi-signal (IFC300PF) situé dans l'armoire du point 197

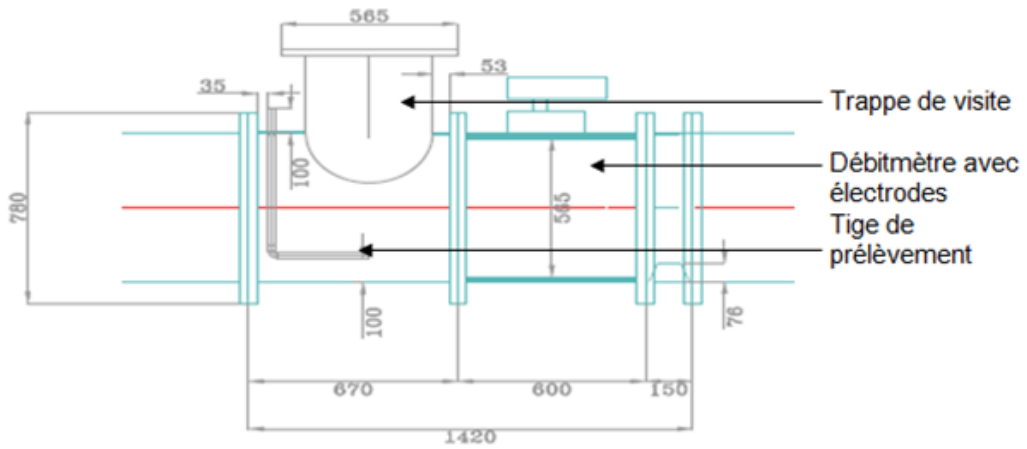


Figure 18 : Schéma du débitmètre avec, de la gauche (amont) vers la droite (aval), la trappe de visite, la tige de prélèvement et la butée

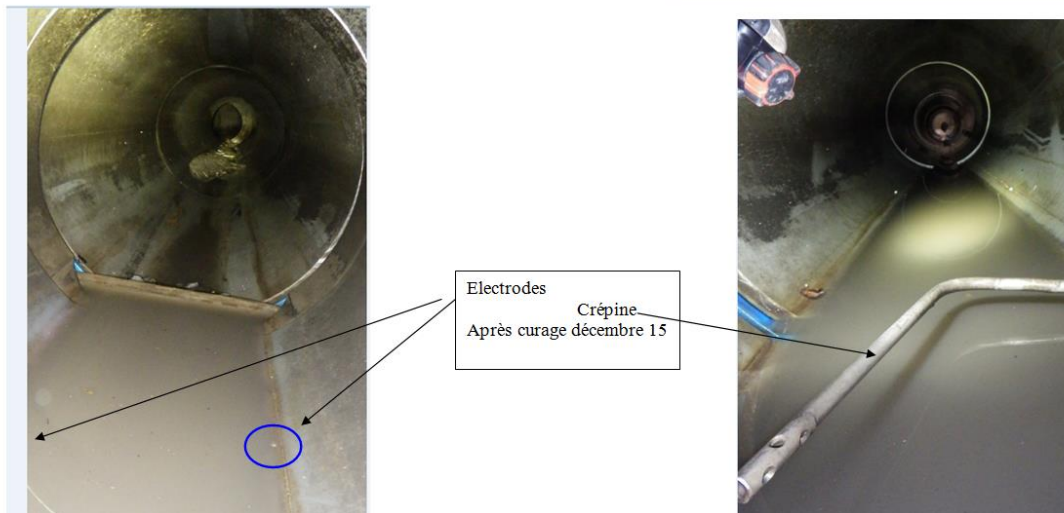


Figure 19 : Observation par la trappe de visite de l'intérieur du $\phi 600$ (photo de gauche vers aval et photo de droite vers amont)



Figure 20 : Photo du débitmètre avec la trappe de visite à l'amont



Figure 21 : Photo de l'armoire électrique du point 197

5.4.2. Historique des modifications sur le point 197

Concernant le point amont, des modifications ont été apportées afin de fiabiliser les mesures (hauteurs et débits) et l'asservissement pour les campagnes de prélèvements.

Le prélèvement est effectué à l'aide d'un seul préleveur réfrigéré (Bühler 1029). La mise en place de deux préleveurs réfrigérés en amont est inenvisageable au regard de l'alimentation et de la place dans la chambre. Ont été rajoutés des échelons pour sécuriser la descente dans la chambre. D'autres modifications ont été apportées pour fiabiliser l'asservissement (câblage) et pérenniser l'alimentation du préleveur qui souffrait de multiples chute de tensions lors des campagnes de prélèvement. La trappe de visite du débitmètre qui était trop lourde pour les agents techniques a été modifiée (06/12/2016).

A été mis en service fin 2015 un acquiiseur ISODAQ-RT+ pour l'enregistrement et la transmission des données par GSM. La chaîne de mesure est la suivante : capteur, convertisseur, enregistreur/transmetteur, serveur (accès aux données pour validation)

Le convertisseur KROHNE initial a été remplacé par un convertisseur KROHNE multi signal IFC -300F (20/01/2016). Ce dernier permet l'enregistrement de l'ensemble des mesures (hauteurs, vitesses et débits) qui sont nécessaires à leur validation.

A été posé un relai pour l'asservissement du préleveur réfrigéré à la hauteur (18/08/2016). Ce changement a été opéré pour passer d'un asservissement dépendant du débit à un asservissement proportionnel à un événement (dépassement d'une hauteur seuil). Cette modification a été réalisée face à l'impossibilité d'enregistrer une couverture débitmétrique suffisante. L'influence aval des filtres induit effectivement des vitesses assez faibles, qui se traduisaient par des débits nuls malgré le ressuage de l'ouvrage. Pour avoir de meilleurs résultats, de nombreuses investigations et modifications ont été réalisées sur l'ensemble de la chaîne de mesure partant du capteur jusqu'aux serveurs en passant par le convertisseur et, l'enregistreur/transmetteur. Cela demande validation, mais des modifications récentes (21/03/2017) sur la sensibilité d'enregistrement du débitmètre électromagnétique KROHNE nous donnent une couverture débitmétrique satisfaisante et fiable. Il a été décidé que l'asservissement restera proportionnel à un événement (hauteur seuil) au regard des moyens humains et matériels qu'engendrerai un passage à un asservissement dépendant du débit.

A été posé un capteur de pression dans une chambre juste en aval du débitmètre afin de compléter la mesure de hauteur du débitmètre électromagnétique lorsque la canalisation ($\varnothing 600$) est en charge (09/11/2016). Cela permet d'observer l'état de remplissage théorique des filtres.

Contrairement à ce qui a été proposé, la mise en place de sondes hygrométriques dans le substrat des bassins de dépollution ou de « sondes de hauteur d'eau » dans les regards des BD est en stand-by.

5.4.3. Chaîne de mesure du point 197

La transmission des mesures enregistrées par le débitmètre électromagnétique se traduit en une succession d'étape :

- mesure des capteurs KROHNE de la hauteur (surface mouillée) et de la tension (vitesse)
- transmission vers le convertisseur KROHNE IFC300PF
- transmission vers l'enregistreur/transmetteur RT+
- transmission vers le serveur nommé SHUTWEB
- récupération des données sur le serveur pour validation et intégration dans Silvhy

La chaîne de mesure du débitmètre électromagnétique est la suivante :

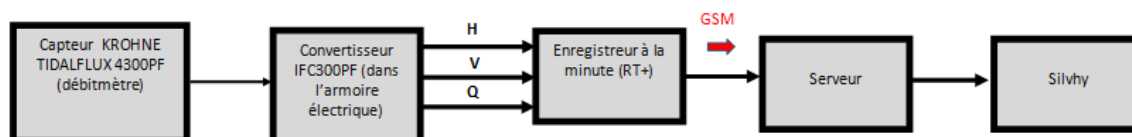


Figure 22 : Schéma de la chaîne de mesure du débitmètre électromagnétique (point 197)

Courant 2016, des difficultés ont été rencontrées au cours de cette chaîne de transmission.

Une transformation des données est réalisée entre le RT+ et le serveur qui ne peut garder que quelques chiffres significatifs. Le seul moyen de récupérer les données brutes (sans conversion pour le RT+) était de les récupérer manuellement sur site au niveau du RT+ en sachant que la conservation des données dans l'appareil était limitée.

Les données récupérées au niveau du serveur SHUTWEB semblaient ne pas comporter suffisamment de chiffres significatifs pour avoir accès aux petites valeurs de vitesses et de débits. Ce qui se traduisait selon les observations par des vitesses et débits nuls pour la quasi-totalité du fonctionnement de l'ouvrage.

Les amplitudes d'enregistrement ont été ajustées pour avoir accès à la plage de données la plus large et aussi adaptée pour enregistrer des faibles valeurs que nous supposons à un moment avoisinant les mm/s. Nous avons aussi supposé que nous avons dépassé les limites de quantification de l'appareil.

Voici à ce jour les amplitudes réglés de l'ensemble de la chaîne de mesure sur le point 197:

197	Nom de la voie	Krohne TIDALFLUX4300PF / Convertisseur IFC300PF				
		0 % (mini)	100 % (maxi)	0 % (mini)	100 % (maxi)	
Hauteur	YAM_FSABLE_197	pas de réglage possible	pas de réglage possible	00,00 cm	56,70 cm	
Vitesse	VAM_1FSABLE_197	0,000 m/s	1,000 m/s	0,000 m/s	1,000 m/s	
Débit	QAM_FSABLE_197	00,00 L/s	50,00 L/s	00,00 L/s	50,00L/s	
Hauteur sup.	YAM_2FSABLE_197	Sans objet	Sans objet	0,060 m	4,150 m	
197	Nom de la voie	Serveur (enregistreur, 4 bits max)		Silvhy (base de données)		
		Position virgule	Traduction données	Données brutes	Action	Données valides
Hauteur	YAM_FSABLE_197	-2	00,00 cm	00,00 cm	X 1	00,00 cm
Vitesse	VAM_1FSABLE_197	-3	0,000 m/s	0,000 m/s	x 100	000,0 cm/s
Débit	QAM_FSABLE_197	-2	00,00 L/s	00,00 L/s	x 1000	00000,00 mL/s
Hauteur sup.	YAM_2FSABLE_197	-3	0,000 m	0,000 m	x 100	000,0 cm

Tableau 3 : Amplitudes de l'ensemble de la chaîne de mesure du point 197

Silvhy est un outil interne à la DEA qui propose une interface de recherche et d'observations graphiques de l'ensemble des mesures hydrologiques et pluviométriques disponibles du Département.

Voici les éléments à disposition concernant les incertitudes le long de la chaîne de mesure :

Test incertitudes RT+ (Test du 02/03/2017)	Convertisseur IFC300PF	Incertitudes TIDALFLUX4300PF			
	Incertitude moyenne	Incertitude max	Incertitude max	Partiellement rempli (u<1 m/s)	En charge (u<1 m/s)
%	0,092	0,172	?	0,100	0,100
en valeur (hauteur)	0,05 m	0,1 cm[CLE1]	?	0,06 m	0,06 m
en valeur (vitesse)	0,001 m/s	0,002 m/s	0,00043 m/s	0,01 m/s (1 % PE)	0,0055 m/s (0,5 % u + 0,005 m/s)
en valeur (débit)	0,05 L/s	0,1 L/s	?	?	?

Tableau 4 : Incertitudes alloués à la chaîne de mesure du point 197

5.4.4. Mesure de la qualité amont au niveau du point 197

Un certains nombres de réajustements ont été réalisés afin de remplir les meilleures conditions de prélèvements. Certains réajustements ont été réalisés au niveau de l'alimentation du préleveur et aussi au niveau de l'asservissement.

Un Préleveur Bühler 1029 avec une embase réfrigérée avec 12 flacons verres de 900 ml chacun ou 12 flacons plastiques de 1L chacun. Si l'objectif était d'analyser à la fois les polluants métalliques et organiques pour le même événement pluvieux, cela nécessiterait la mise en place d'un dispositif permettant de prélever simultanément, soit en même temps, dans un flacon plastique et dans un flacon verre. Par manque de moyen et de place, un seul préleveur est mis en place en amont des filtres.

La tête de préleveur est alimentée en continue par l'armoire (12V). L'embase réfrigérée est alimentée en continue par l'armoire (24V). Pour assurer toutes les conditions de sécurités requises en milieu confiné, le 220 V est proscrit par la DEA.

Des problèmes d'aspiration ont été observés. Un abaissement de la crépine a été réalisé (radier + 8,5 cm). Les sédiments empêchent un abaissement trop important de la crépine pouvant provoquer un colmatage de cette dernière.

Description	Unités	Quantité
Volume nominal d'un échantillon verre et plastique	ml	900 et 1000
Volume par prélèvement verre ou plastique.	ml	215
volume total pour un échantillon verre ou plastique (4 prélèvements)	ml	860
Nombre de prélèvements total (12 échantillons)		48
Mode de prélèvement		Proportionnel à l'événement (déclenchement à partir d'une hauteur seuil)
Hauteur seuil du déclenchement	Cm	10.2
Hauteur seuil pour l'arrêt du prélèvement	Cm	9.6
fréquence échantillonnage	min	10
changement de flacon :		dépend du temps
changement de flacon :	min	40 (pour avoir 4 prélèvements par flacon)
Temps total prélèvement max par événement	heures	8 (10min * 48 prélèvements)

Tableau 5 : Caractéristiques du préleveur Amont (Bülher 1029) et paramètres de prélèvement

Il a été observé que le nombre de prélèvement dépassait le maximum autorisé par le programme du préleveur. L'embase était noyée. L'hypothèse finalement retenue à l'origine de ce dysfonctionnement est un reflux d'eau dans le préleveur lorsque la canalisation est en charge. La solution qui semble

fonctionner jusqu'à maintenant a été de surélever le préleveur pour remédier à ce problème (seul le tuyau a été surélevé). L'apport excessif de sédiments par les chantiers avoisinants le site d'étude a peut être causé des perturbations au niveau du préleveur. Mais cette hypothèse n'a pas été validée. Initialement, le préleveur multiflacon réfrigéré (Bülher 1029) était asservi au débitmètre électromagnétique pour un prélèvement dépendant du débit (prélèvement à fréquence variable mais avec un volume fixe. Dans la mesure où les mesures de débits n'étaient pas fiables et ne permettaient pas un recouvrement suffisamment de la pluie lors des campagnes de prélèvement, il a été décidé de modifier l'asservissement pour un prélèvement proportionnel à un événement. Au-delà d'une valeur seuil de hauteur dans la canalisation, une commande est envoyée au préleveur pour un prélèvement à pas de temps fixe avec un volume fixe également. Pour donner un ordre de grandeur, la hauteur seuil est atteinte dans la canalisation pour un cumul entre 2 et 3 mm de pluie en moins de 2 heures.



Figure 23 : Photo du préleveur Bülher 1029 avec embase réfrigéré



Figure 24 : Photo du préleveur dans la chambre du débitmètre électromagnétique



Figure 25: Photo des flacons plastique (1L) et verre (900 ml) avec membrane de Téflon

5.5. Point 198 – Aval - Mesure du débit et prélèvement sur petite canalisation (Ø 180)

5.5.1. Descriptif de l'obturateur à déversoir triangulaire avec bulle à bulle

Le débitmètre dans son ensemble est de type obturateur déversoir avec section triangulaire avec une mesure de hauteur via un bulle à bulle (S950).

L'obturateur déversoir aussi appelé manchon déversoir est lié à la canne de prélèvement. Ce dispositif a été choisi pour plusieurs raisons :

- Déversoir pour la mesure temporaire des faibles débits en réseaux d'assainissement à faible diamètre (150 à 300 mm).
- Chambre à air pour épouser la canalisation et rendre le dispositif hermétique
- Mesure précise grâce à son déversoir à 53°8' aux normes françaises ou à sa section circulaire
- Mesure de niveau et conversion hauteur/débit précise grâce au débitmètre bulle à bulle S950
- Récupération et traitement des données à l'aide du progiciel WinFluid

La hauteur de pelle du déversoir est de 4.23 cm.

La fourchette de mesure de hauteur de l'obturateur est comprise entre

- 4.16 cm soit le seuil de l'obturateur pour un débit à 0.00 L/s
- et 15.24 cm pour un débit de 2.14 L/s.

La section d'écoulement est partiellement obstruée par le tuyau de prélèvement, le tuyau permettant le gonflage de la chambre à air et le tuyau pour le débitmètre bulle à bulle. De ce fait, la mesure de la hauteur, et par extension de débit, est limitée.



Figure 26: Obturateur déversoir avec mesure de hauteur/débit via le débitmètre bulle à bulle sigma 950 (HYDREKA)

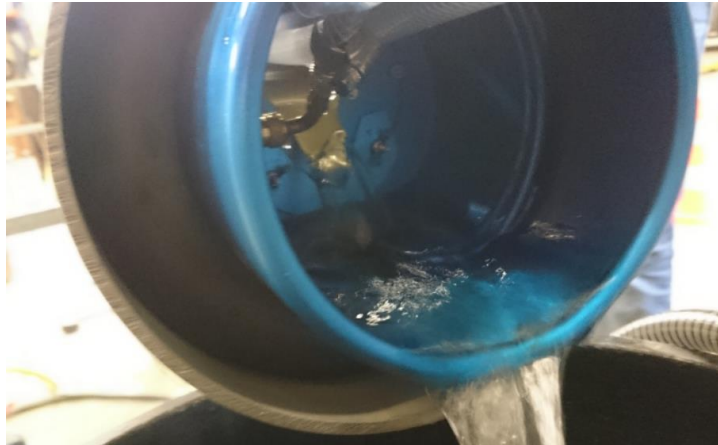


Figure 27: Photo du manchon déversoir à l'aval (sur banc d'essai)



Figure 28: focus sur le point de mesure avec le débitmètre bulle à bulle – point 198

Un banc d'essai a été installé en octobre 2015 pour évaluer l'efficacité d'une installation de mesure par débitmètre avec manchon à déversoir triangulaire pour des petits débits dans une conduite de diamètre inférieur à 180mm. Cette installation a été réalisée en prévision d'une l'installation en condition réelle pour une mesure de débit avec asservissement d'un préleveur à aval des filtres plantés de Rosny-sous-Bois (site 198). L'objectif premier était de rendre compte de la durabilité de la chambre à air qui, en épousant la canalisation, rend l'obturateur fonctionnel et maintenu à la canalisation.

La hauteur max mesurée sur banc d'essai était de l'ordre de 12.05 cm soit un débit de fuite de 1.12 L/s selon la relation empirique hauteur/débit. Le débit max n'a pas été atteint. Nous étions limités par la capacité nominale débitmétrique de la pompe d'alimentation (environ 3.6 m³/heure soit de l'ordre du 1 L/s).

In situ, à l'aval des filtres plantés, les valeurs de hauteurs enregistrées sont, pour tous les événements pluvieux enregistrés du 08/12/2015 au 20/01/2016, en deçà de cette valeur de 12.05 cm. Jusqu'ici, la mesure semblait compatible avec les débits attendus en aval du limiteur vortex.

NB : Voir le paragraphe 6.2 pour les résultats de ce banc d'essai et les résultats associés.

Les débits attendus à l'aval du filtre plantés devaient correspondre à la plage de mesure du débitmètre pour des faibles événements uniquement. Nous savons que pour une pluie exceptionnelle (décennale), le débit théorique attendu au point de mesure aval est de 3.4 L/s auquel s'ajoute le débit traversier de 10 L/s. Donnée par le bureau d'étude à l'origine de la conception des filtres, un débit théorique de 13 L/s est attendu avec un limiteur Vortex pour une charge de 2.44 m (cote du terrain naturel à 51.10 NGF et radier à 48.66 NGF). Ce débit maximal est largement supérieur à la plage d'enregistrement de l'instrument mis en place. N'ayant pas trop de moyen d'estimer les volumes autrement, nous avons expérimenté le dispositif.

5.5.2. Historique des modifications sur le point 198

Concernant l'aval des filtres, des ajustements ont été réalisés permettant entre autres, de fiabiliser les mesures de débits, de faciliter l'accès au débitmètre et permettre la mise en place du préleveur réfrigéré sur site.

Un préleveur sigma AS950 réfrigéré a été mis en place. Il devait respecter des conditions limites initiales comme un diamètre inférieur à 58.5 cm pour rentrer dans le regard et une réfrigération. Des travaux ont été réalisés (agrandissement du tampon) pour permettre le passage et la mise en place du préleveur réfrigéré (27/06/2016) dans le regard. Le prélèvement est dépendant du débit c'est à dire que le prélèvement s'effectue à fréquence variable en fonction du débit avec un volume de prélèvement fixe.

Du fait d'une trop grande incertitude, la mesure de débit par seuil rectangulaire a été changée par un obturateur déversoir à seuil triangulaire asservi à un débitmètre bulle à bulle (Sigma950). Le débit est obtenu par une loi hauteur/débit.

Au cours du deuxième semestre 2016, des ajustements sur le débitmètre bulle à bulle ont été réalisés afin de faciliter la mesure manuelle de la hauteur d'eau dans la canalisation et l'entretien de l'obturateur. La mesure du point 198 semble fiable depuis décembre 2016 mais doit encore être comparée avec des mesures du point 197 (depuis le 21/03/2017) et du point 211 (en cours de validation).

Un capteur de pression (point 211) a été placé à l'aval des filtres, avant le point 198 au niveau d'un regard où se situe un limiteur de débit vortex (20/02/2016) que nous pensions être un PVX40. Ce point consiste en une mesure de hauteur qui est ensuite traduite en débit à partir d'une relation hauteur/débit donné par le constructeur (Saint Dizier). Les mesures permettront notamment d'évaluer l'influence du limiteur sur le débit de fuite et de compléter les mesures du point 198. De nombreuses difficultés ont été enregistrées sur ce point au cours de l'année 2016 (panne, problème de niveau, mauvaise relation hauteur/débit). Nous avons pu identifier que le limiteur vortex réellement mis en place sur le site (PVX 110) était surdimensionné. La plage de débit attendu à l'aval de l'ouvrage est donc beaucoup plus large. Le risque que la plage d'enregistrement du débitmètre bulle à bulle soit dépassée, est plus grand. Pour la validation des mesures de ce débit, nous sommes dans l'attente de la relation hauteur/débit du constructeur pour un limiteur vortex PVX 110. Est envisagé (04/2017) la mise en place d'un vortex dimensionné aux prescriptions de limitation initiales (3.4 L/s pour une pluie décennale).



Figure 29: Photo du point de mesure 211 avec le limiteur Vortex (sonde piézométrique dans le fourreau)

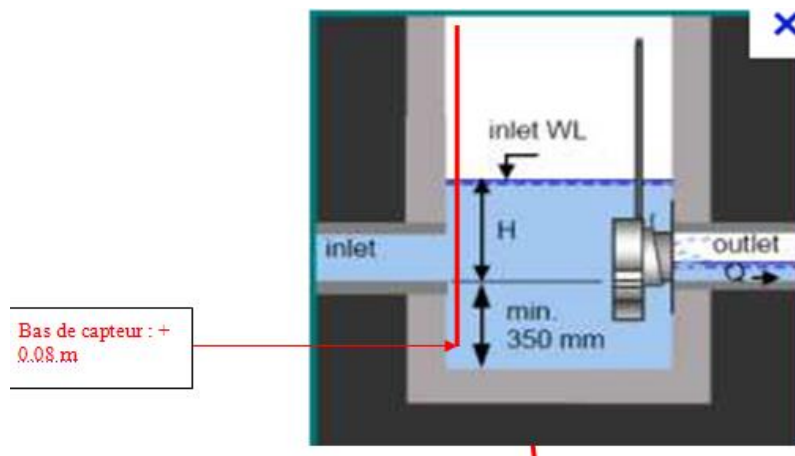


Figure 30: Coupe de principe du point 211

A été posé le même dispositif que le point 197 soit un capteur acquiseur VEGA W52 FROG RX. La relève est pour le moment encore manuelle.

5.5.3. Chaîne de mesure du point 198

L'équipe prélèvement en charge de ce point de mesure mettra à disposition un fichier de format .csv (hauteur et débit) avec horodate à chaque ligne afin d'intégrer les données dans la base SILVHY. La relève des mesures par l'équipe prélèvement est manuelle.

En raison de défaut de batteries, de nombreuses plages de données n'ont pas été enregistrées par le débitmètre bulle à bulle. Il n'est pas envisageable d'avoir une alimentation continue et à distance comme pour le point 197. A ce jour, la fréquence des relèves a été augmentée afin de vérifier le bon fonctionnement des batteries.

Concernant la relève des mesures, la mémoire du débitmètre se sature au bout de 13 jours (pas de temps d'acquisition de 1 minute). Certaines plages de données n'ont pas été sauvegardées à cause de cette limite de mémoire. La fréquence de passage est assurée à minima 1 fois tous les 10 jours. Le problème de batterie a aussi augmenté cette fréquence.

5.5.4. Mesure de la qualité aval au niveau du point 198

L'asservissement n'a pas été modifié. Il est dépendant au débit (prélèvement à fréquence variable en fonction du débit et à volume fixe)

Description	Unités	Quantité
Volume nominal d'un échantillon verre et plastique	ml	16000
Volume par prélèvement verre ou plastique.	ml	500
Nombre de prélèvements total (12 échantillons)		32
Mode de prélèvement		Dépendant du débit
Pic d'asservissement tous les x m3	L	50 (x=2 soit 100 L)

Tableau 6 : Caractéristiques du préleveur aval (AS950) et paramètres de prélèvement

Le préleveur est de type sigma AS950 réfrigéré sur batterie voiture .



Figure 31: photo – illustration du dispositif de prélèvement au niveau de la canne de prélèvement (photo réalisée sur banc d'essai))

Une canne de prélèvement se situe à 80 cm du débitmètre bulle à bulle. Un bras de renfort situé à mi parcours permet de maintenir la crosse tout le long de la canalisation. La hauteur d'aspiration est à 2 cm du radier de la canalisation $\phi 180$. Nous n'avons pas observés sur banc d'essai de perturbations significatives de la mesure de débit du fait des phases d'aspiration et de refoulement du préleveur.

Des cordons d'asservissement spécifiques ont été mis en place pour faire le lien avec le débitmètre bulle à bulle S950.



Figure 32: Photo prise lors de la mise en service du préleveur. Nécessité d'un treuil et d'une équipe « prélèvement » pour récupérer les flacons

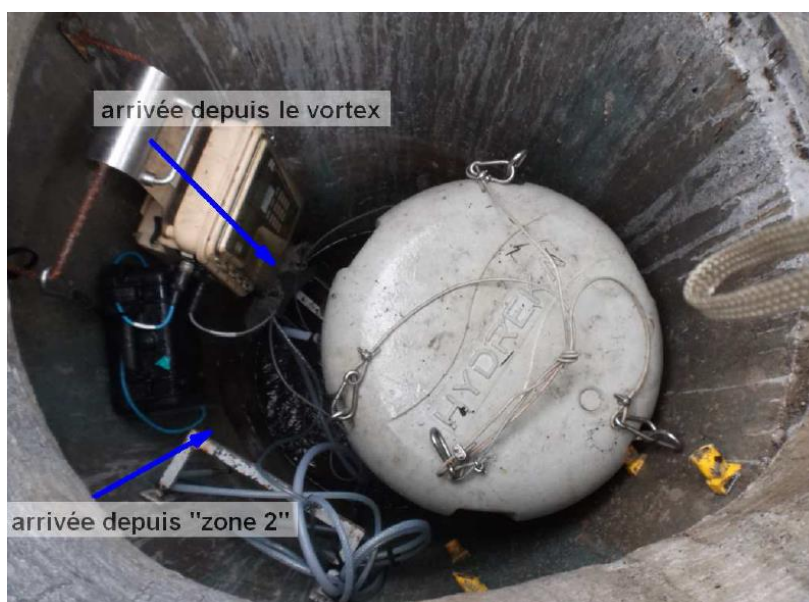


Figure 33: Photo prise du point 198 après agrandissement du regard

6. Vérification des mesures débitométriques

6.1. Mesure de débit amont – point 197 – In situ

Les données enregistrées par le débitmètre électromagnétique amont à partir du 30/01/2015 jusqu'à la mise en place du convertisseur multi signal le 20/01/2016 ne seront pas gardées :

- trop d'incertitude sur la qualité des mesures
- impossibilité de valider les mesures de débit sans les valeurs de hauteur et de vitesse
- problème d'importation des données via un problème de transmetteur RT+
- ensablement significatif des électrodes du débitmètre électromagnétique lié à des travaux en amont. Pour ce point précis, un protocole a été mis en place pour surveiller l'ensablement du débitmètre. Les photos ci-après, datant du 04/12/2015 témoignent de cet ensablement. Un curage a été réalisé et un registre de suivi est mis en place



Photo : Etat d'ensablement – point 197 - Vers Aval - avant (gauche) et après (droite) nettoyage



Photo : Etat d'ensablement – point 197 – Vers Amont - avant (gauche) et après (droite) nettoyage

De nouvelles données ont été acquises depuis le 20/01/2016 grâce au convertisseur multi-signal.

Toutes les mesures récoltées par le débitmètre électromagnétique avaient le même profil (Cf. *Figure 34*):

- Soit une forte augmentation du débit en début d'événement avoisinant le L/s avec une montée en charge de canalisation et des vitesses avoisinant le m/s
- Suivi d'une chute brutale de la vitesse occasionnant des valeurs de débits nuls et ce malgré le ressuage de l'ouvrage.
- Les vitesses les plus basses avoisinent les 4 cm/s et les valeurs de débit les plus basses avoisinaient les 1 L/s.

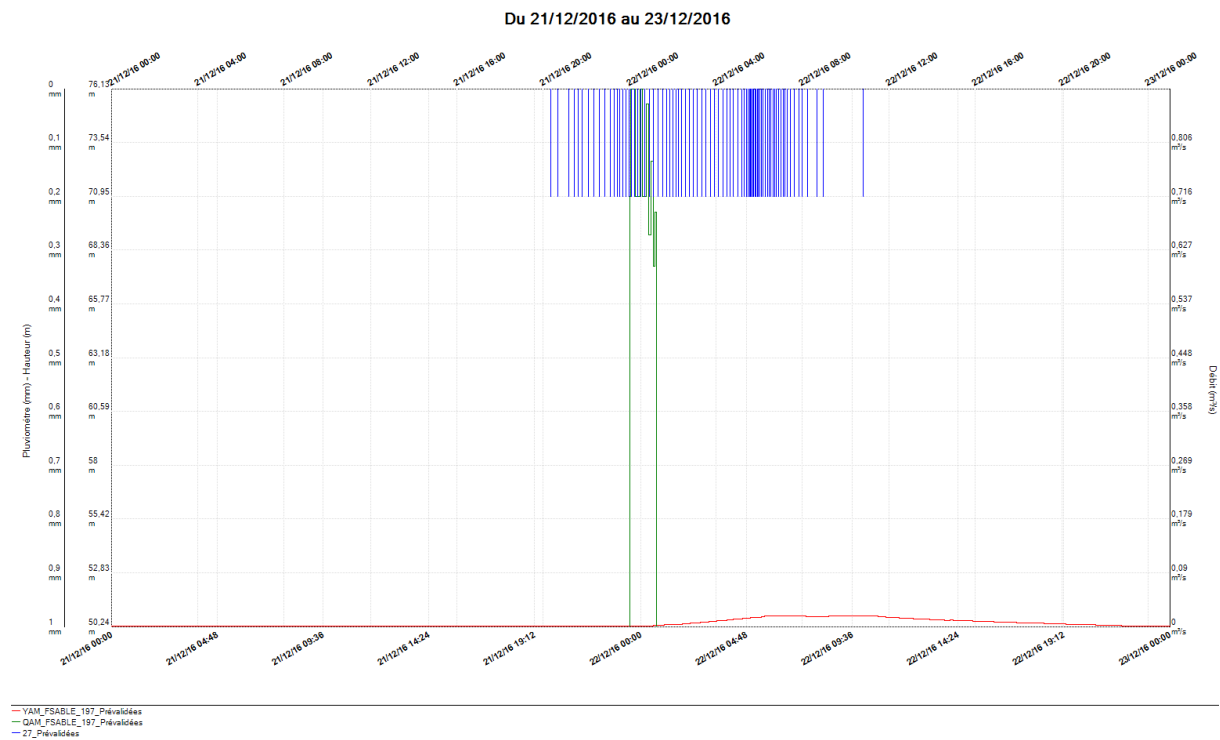


Figure 34: Illustration des mesures du débitmètre électromagnétiques du 21/12/2016 au 23/12/2016 – débit (vert) en L/s, hauteur (rouge) en côte NGF, pluviométrie (bleu) en mm

La dernière modification réalisée sur l'appareil permet d'avoir accès à toutes les données jusqu'à la fin du ressuage de l'ouvrage. En voici une brève illustration (Cf.: *Figure 35*)

Du 20/02/2017 au 19/04/2017

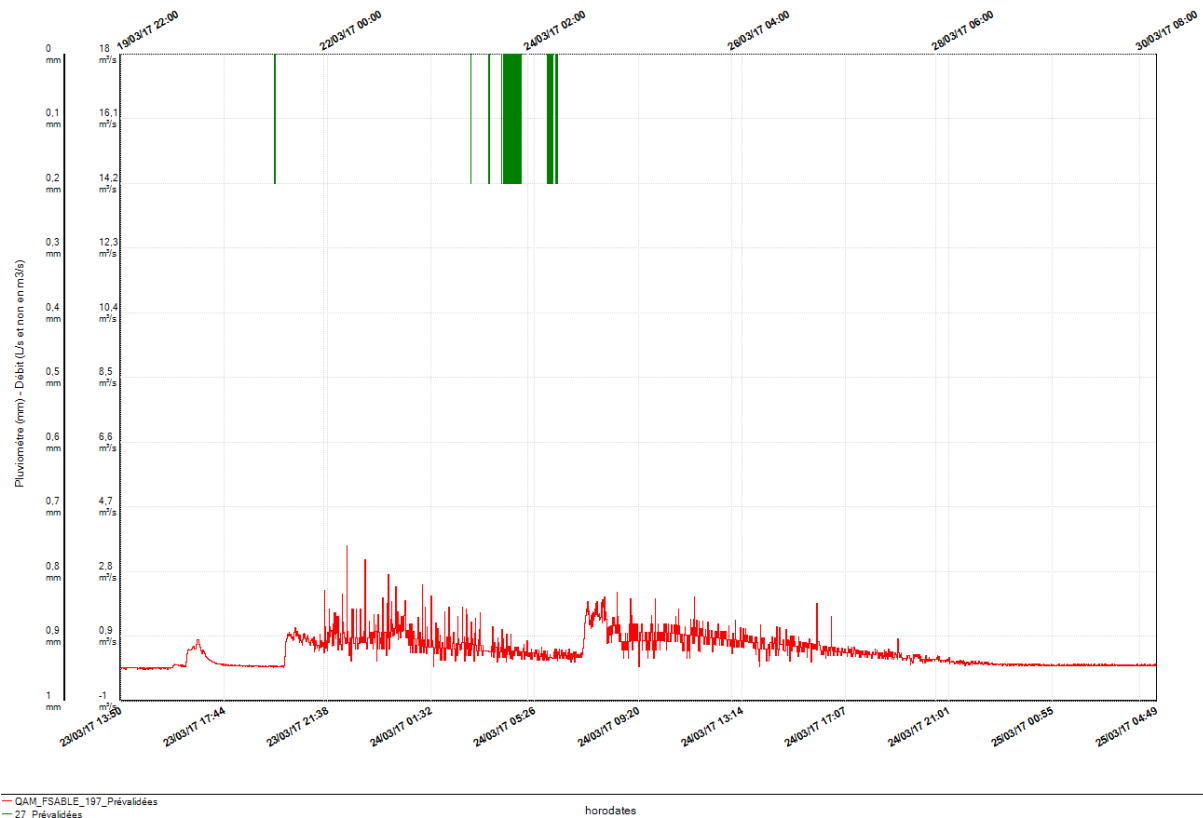


Figure 35: Illustration des mesures du débitmètre électromagnétiques du 20/02/2016 au 25/03/2017 – débit (rouge) en L/s, pluviométrie (vert) en mm

6.2. Mesure du débit aval – point 198 – Banc d’essai

Des premiers résultats ont été récoltés sur banc d’essai afin de valider le protocole d’instrumentation avec l’obturateur déversoir à seuil triangulaire.

Installé durant près de deux mois, le débitmètre bulle à bulle n’a témoigné aucun signe de dysfonctionnement, notamment au niveau de sa chambre à air qui semble durable dans le temps. Les résultats semblent satisfaisant au regard des observations multiples réalisées :

- Mesure à l’aide d’un mètre de la hauteur d’eau au droit du débitmètre et confrontation avec la valeur de hauteur donné par le débitmètre. L’observation était très concluante à chaque test pour des débits de pompe différent.
- Mesure à l’aide d’une contre mesure en amont avec une sonde piézométrique et confrontation avec la mesure du bulle à bulle (Cf. graphique « hauteur d’eau dans la canalisation en fonction du temps »). Les résultats sont très proches. Nous faisons l’hypothèse que les valeurs de hauteurs du piézomètre, supérieures à celles du bulle à bulle, sont dues à l’affaissement du banc d’essai au niveau de la sonde piézométrique.

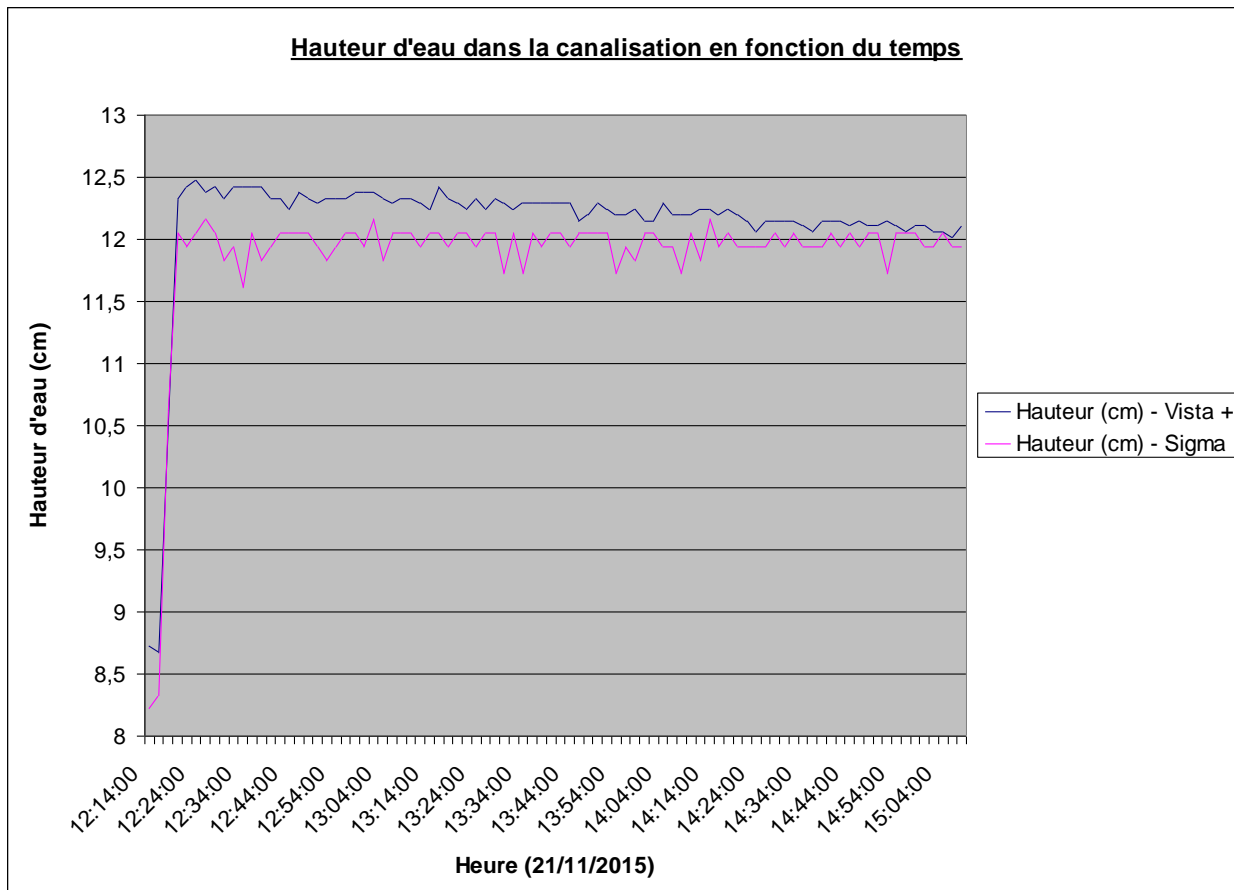
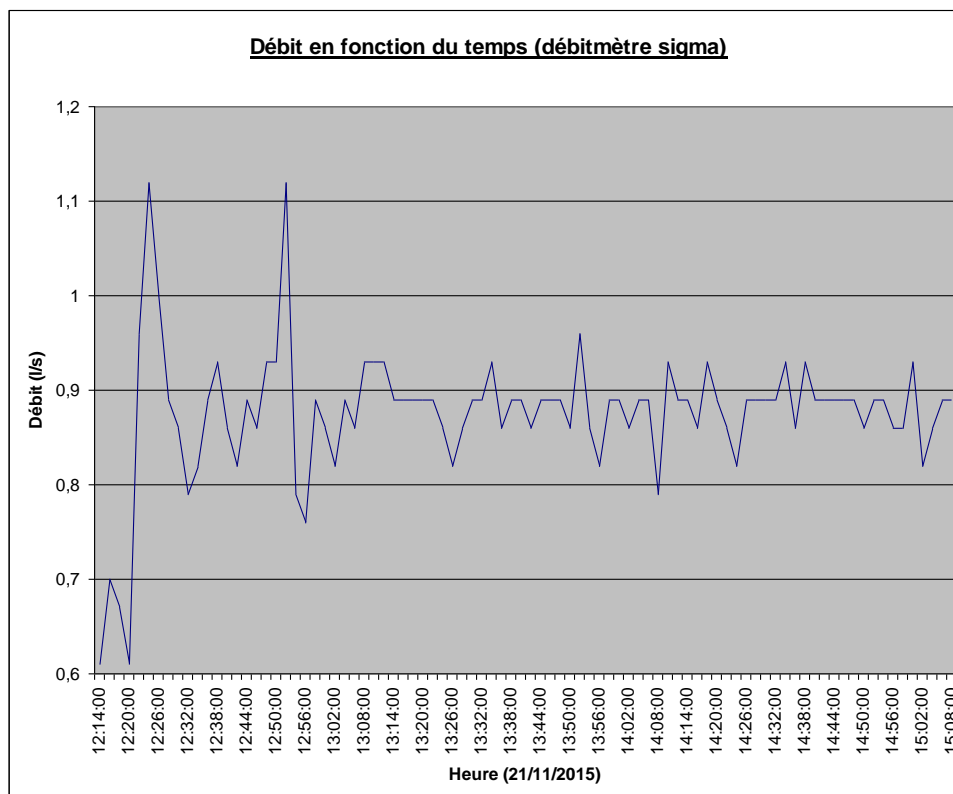
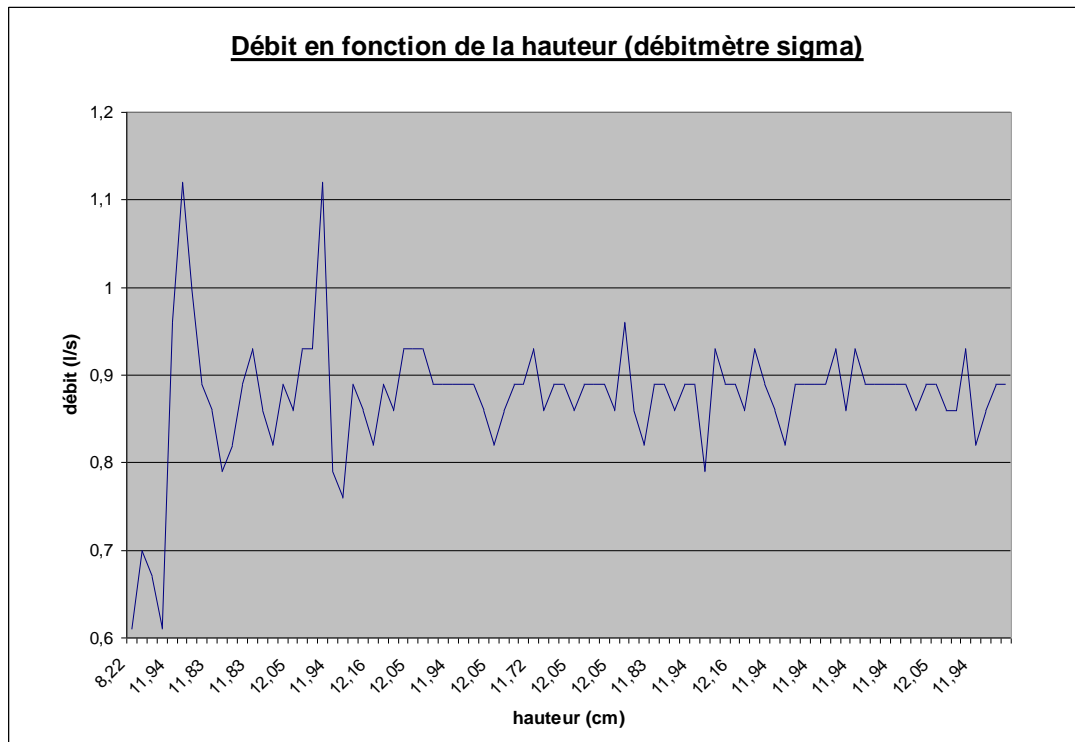


Figure 36 : différence de hauteur d'eau dans la canalisation du banc d'essai en fonction du temps entre une sonde piézométrique - vista+ et une sonde bulle à bulle - sigma

Les valeurs de débits en fonction du temps et en fonction de la hauteur d'eau données par le bulle à bulle sigma sont les suivantes :





Les valeurs sont cohérentes au regard de la capacité nominale débitmétrique de la pompe d'alimentation (environ 3.6 m³/heure soit environ 1 L/s), en sachant que la pompe était bridée durant la quasi-totalité de l'expérimentation. La valeur la plus forte est de 1.12 L/s pour 12.05 cm. Il est nécessaire de faire le lien avec le tableau hauteur/débit donné par le constructeur du débitmètre (toujours en attente) pour valider les données du banc d'essai.

6.3. Mesure du débit aval – point 198 – In situ - Mesure réalisé au cours d'événement pluvieux

L'obturateur déversoir à seuil triangulaire et le débitmètre bulle à bulle ont été mis en service sur site à partir du 8 décembre 2015. Des mesures ont été enregistrées durant la période du 08/12/2015 au 20/01/2016. Données récoltées par le logiciel WINFLUID, les mesures n'ont pas, pour le moment, été validées manuellement au regard de la relation empirique hauteur/débit de l'obturateur (HYDREKA). De manière assez triviale, sont exploitées les mesures de débits et de hauteurs à travers les figures ci-dessous. La fourchette de mesure de hauteur de l'obturateur est comprise entre

- 4.16 cm soit le seuil de l'obturateur pour un débit à 0.00 L/s
- et 15.24 cm pour un débit de 2.14 L/s.

Les débits attendus à l'aval du filtre plantés ne sont pas connus à ce stade mais devrait correspondre à la plage de mesure du débitmètre pour des faibles événements. Nous savons que pour une pluie exceptionnelle (décennale), le débit théorique attendu au point de mesure aval est de 13.4 L/s. Donné par le bureau d'étude à l'origine de la conception des filtres, ce débit de 13.4 L/s est attendu avec un limiteur Vortex pour une charge de 2.44 m (cote du terrain naturel à 51.10 NGF et radier à 48.66 NGF). Nous n'arriverons pas à mesurer toutes les hauteurs pour toutes les pluies. Néanmoins, l'étude s'affranchie des pluies exceptionnels susceptibles de solliciter les bassins de stockage par déversement des bassins de dépollution.

Au regard de la plage de mesure du débitmètre avec l'obturateur à déversoir triangulaire, nous avons mis en place une mesure de débit complémentaire en amont. Ce point de mesure se situe dans le regard où est placé un limiteur vortex et consiste en une mesure de hauteur qui est ensuite traduite en débit à partir d'une relation hauteur/débit du Vortex.

La première figure traite de l'ensemble de la période d'enregistrement (08/12/2015 au 20/01/2016). Les hauteurs d'eaux au niveau du point 198 ne dépassent par la plage d'enregistrement du point 198 sur cette plage de temps (année 2016).

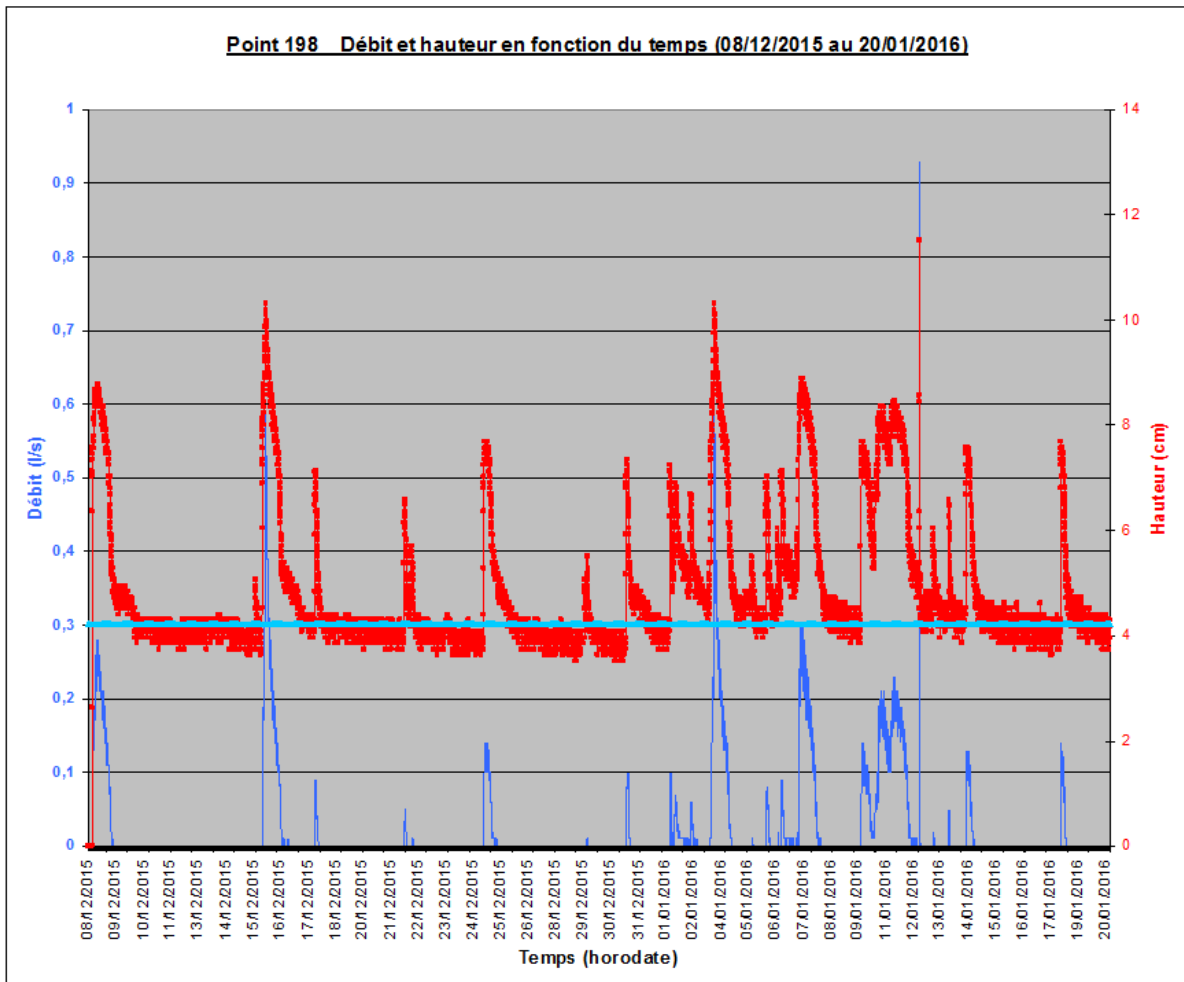


Figure 37: Illustration du débit en fonction du temps du 08/12/2015 au 20/01/2016 au point 198 (point aval)

7. Conclusion et planning

Le dispositif étudié à Rosny sous Bois consiste en un ensemble de trois petits filtres horizontaux plantés, alimentés par les eaux de ruissellement d'une voirie à trafic modéré. Le système vise à la fois la rétention des eaux (stockage dans la canalisation d'alimentation et dans les filtres) et leur dépollution.

Ce système a été instrumenté de façon à pouvoir mesurer en continu les flux d'eau, et permettre le prélèvement d'échantillons moyens par événements pluvieux, en entrée et sortie des filtres. L'équipement a été mis en place et testé en 2015/2016, puis amélioré/fiabilisé en 2016/2017.

Concernant le point amont, des modifications ont été apportées afin de fiabiliser les mesures (hauteurs et débits) et l'asservissement pour les campagnes de prélèvements.

Concernant l'aval des filtres, des ajustements ont été réalisés permettant entre autres, de fiabiliser les mesures de débits, de faciliter l'accès au débitmètre et permettre la mise en place du préleveur réfrigéré sur site.

Globalement, l'organisation en interne que nécessite le projet pour tous les points de mesures, (instrumentation, maintenance, récupération et validation des mesures, campagnes de prélèvements, achats de matériel) repose sur une pluralité très significative de services et d'agents aux compétences variés. Indépendamment de l'investissement et de l'engagement de l'ensemble des agents sur le projet qu'il est nécessaire de souligner, les délais engagés par les demandes d'intervention, au regard du plan de charge de chaque service, ou encore les délais alloués à l'achat de matériel, peuvent être impactants pour le projet. Des ajustements (groupe de travail, procédures de prélèvement, procédure de validation et de maintenance, réorganisation des équipes) ont été opérés au fil du projet pour faciliter son avancement.

Les différentes observations et mesures hydrologiques permettent de montrer que l'ouvrage et manifestement l'écoulement à travers les filtres horizontaux provoque le stockage d'eaux pluviales à l'amont du réseau départemental. La connaissance du fonctionnement hydrologique des filtres reste néanmoins encore perfectible au regard de certaines observations in situ.

Table des illustrations

Figure 1: Localisation du site d'étude Rosny sous Bois.....	6
Figure 2: Bassin versant d'étude (1) et implantation des ouvrages de gestion des eaux pluviales (bleu)	7
Figure 3: Bassin versant d'étude (1) et implantation des ouvrages de gestion des eaux pluviales (bleu)	7
Figure 4: vue aérienne des bassins de stockage et de dépollution.....	8
Figure 5 : Plan de situation des filtres de dépollution (DEA).....	9
Figure 6: Principe de fonctionnement d'un filtre de dépollution et coupes transversales de principe des BD2 ET BD3 (DEA).....	10
Figure 7: Coupe transversale de principe de BD2 et BD3- bis (Composante Urbaine).....	11
Figure 8: Illustration du dispositif d'échantillonnage.....	12
Figure 9: Schéma de principe pour les devis de travaux envisagé sur le site de Rosny sous Bois le 10/06/2011.....	13
Figure 10: Photo du dispositif réalisé sur place.....	14
Figure 11: Photo du dispositif de prélèvement avec une sonde piézométrique.....	14
Figure 12: Instrumentation sur la base d'un plan croquis de repérage réalisé en novembre 2015.....	16
Figure 13: Organigramme de fonctionnement pour le suivi des filtres.....	17
Figure 14: emplacement des points de mesure.....	18
Figure 15 : localisation des pluviomètres autour du site d'étude.....	19
Figure 16 : Débitmètre électromagnétique TIDALFLUX 4300 PF.....	20
Figure 17 : Photo du convertisseur multi-signal (IFC300PF) situé dans l'armoire du point 197.....	20
Figure 18 : Schéma du débitmètre avec, de la gauche (amont) vers la droite (aval), la trappe de visite, la tige de prélèvement et la butée.....	21
Figure 19 : Observation par la trappe de visite de l'intérieur du $\phi 600$ (photo de gauche vers aval et photo de droite vers amont).....	21
Figure 20 : Photo du débitmètre avec la trappe de visite à l'amont.....	21
Figure 21 : Photo de l'armoire électrique du point 197.....	22
Figure 22 : Schéma de la chaîne de mesure du débitmètre électromagnétique (point 197).....	23
Figure 23 : Photo du préleveur Bühlher 1029 avec embase réfrigéré.....	25
Figure 24 : Photo du préleveur dans la chambre du débitmètre électromagnétique.....	25
Figure 25: Photo des flacons plastique (1L) et verre (900 ml) avec membrane de Téflon.....	25
Figure 26: Obturateur déversoir avec mesure de hauteur/débit via le débitmètre bulle à bulle sigma 950 (HYDREKA).....	26
Figure 27: Photo du manchon déversoir à l'aval (sur banc d'essai).....	27
Figure 28: focus sur le point de mesure avec le débitmètre bulle à bulle – point 198.....	27
Figure 29: Photo du point de mesure 211 avec le limiteur Vortex (sonde piézométrique dans le fourreau).....	29
Figure 30: Coupe de principe du point 211.....	29
Figure 31: photo – illustration du dispositif de prélèvement au niveau de la canne de prélèvement (photo réalisée sur banc d'essai).....	30
Figure 32: Photo prise lors de la mise en service du préleveur. Nécessité d'un treuil et d'une équipe « prélèvement » pour récupérer les flacons.....	30
Figure 33: Photo prise du point 198 après agrandissement du regard.....	31
Figure 34: Illustration des mesures du débitmètre électromagnétiques du 21/12/2016 au 23/12/2016 – débit (vert) en L/s, hauteur (rouge) en côte NGF, pluviométrie (bleu) en mm.....	32
Figure 35: Illustration des mesures du débitmètre électromagnétiques du 20/02/2016 au 25/03/2017 – débit (rouge) en L/s, pluviométrie (vert) en mm.....	33
Figure 36 : différence de hauteur d'eau dans la canalisation du banc d'essai en fonction du temps entre une sonde piézométrique - vista+ et une sonde bulle à bulle - sigma.....	34
Figure 37: Illustration du débit en fonction du temps du 08/12/2015 au 20/01/2016 au point 198 (point aval).....	36
Figure 38 : Débit et hauteur en fonction du temps après le test à la tonne à eau sur le point de mesure aval des filtres (12/01/2016).....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 39 : Débit et hauteur en fonction du temps – test cureuse – 18/01/2016.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 40 : Coupe de principe des filtres horizontaux (BD1 et BD2) avec les hauteurs d'eaux mesurés in situ – 6 mars 2017.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 41 : Photo du point à l'amont du filtre de dépollution (BD3) le 6 mars 2017..	Erreur ! Signet non défini.
Figure 42 : Coupe de principe des filtres horizontaux (BD3) avec les hauteurs d'eaux mesurés in situ – 6 mars 2017.....	Erreur ! Signet non défini.

<i>Tableau 1 : caractéristiques du bassin versant d'apport (sous bassin 1)</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 2: caractéristiques des ouvrages liés au sous bassin versant 1</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 3 : Amplitudes de l'ensemble de la chaine de mesure du point 197</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 4 : Incertitudes alloués à la chaine de mesure du point 197</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 5 : Caractéristiques du préleveur Amont (Bülher 1029) et paramètres de prélèvement</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 6 : Caractéristiques du préleveur aval (AS950) et paramètres de prélèvement</i>	<i>30</i>

Onema
Hall C – Le Nadar
5, square Félix Nadar
94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.onema.fr

Organisme partenaire
Adresse partenaire

Numéro de téléphone partenaire
Site web partenaire