



Lutte contre les micropolluants des eaux urbaines



ROULÉPUR – Maîtrise de la contamination des eaux de voirie

Tâche 3 – Livrable 3.3a

Dispositif de décantation-filtration STOPPOL® à Paris : Présentation du site expérimental et de l'instrumentation

Rapport intermédiaire

Pascale NEVEU, Mairie de Paris, Service Technique de
l'Eau et de l'Assainissement

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

- **AUTEUR**

Pascale NEVEU, chargée de mission (Mairie de Paris), pascale.neveu@paris.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.leva@afbiodiversite.fr

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

- **AUTRES CONTRIBUTEURS**

Alexandre BAK, ingénieur R&D (Saint Dizier environnement), abak@sdevn.fr

Hélène ERLICHMAN, ingénieur (Mairie de Paris), helene.erlichman@paris.fr

Droits d'usage : accès réservé

Niveau géographique : Communal

Couverture géographique : Paris , berges de Seine, fleuve Seine

Niveau de lecture : professionnels, experts



- **RESUME**

La tâche 3 du projet ROULEPUR vise l'évaluation in-situ de quatre solutions innovantes de gestion à la source des micropolluants dans les eaux de ruissellement de voiries et de parking. Le présent rapport décrit le site expérimental parisien. Un dispositif de décantation-filtration semi industriel exploité depuis 2012, a été instrumenté spécifiquement pour le projet ROULEPUR. La solution de traitement étudiée, le STOPPOL® 10CKF est fabriqué et distribué par la société St Dizier environnement et est installé sur la berge rive droite de la Seine au pied de l'hôtel de ville de Paris

La conception de l'instrumentation du STOPPOL® a pris du temps (juin 2015 à octobre 2015) pour aboutir à un système de prélèvement automatique installé à la fois à l'amont et à l'aval du STOPPOL®, mais à des mesures de débit uniquement à l'aval. La canalisation amont ayant été étanchéifiée juste avant l'instrumentation, les débits à l'amont sont supposés être équivalents aux débits sortant.

Les préleveurs retenus, automatiques réfrigérés, sont monoflacons (verre et polyéthylène selon le paramètre mesuré) et asservis au volume écoulés. La plage de débit à mesurer s'étend de 0 à 30 l/s Les volumes écoulés sont mesurés par deux types de débitmètres : un débitmètre à auget pour les faibles débits (0 à 1.5 l/s) et une sonde de mesure de vitesse par ultrasons insérée dans la branche montante d'un siphon (sonde NIVUS Pipe Profiler) pour les débits moyens (1.5 à 9 l/s) ; Les forts débits (9 à 30 l/s) sont calculés grâce à une loi hauteur débit, la hauteur étant mesurée par une sonde piézométrique installée dans le raccord pompier central du STOPPOL®.

La mise en œuvre d'un système de siphon a été nécessaire afin de garder la sonde du débitmètre NIVUS en eau sans mettre en charge la canalisation de sortie du STOPPOL®. En effet, dans le STOPPOL®, un dénivelé existe entre la canalisation d'amenée des effluents et la canalisation de sortie forçant ainsi les eaux polluées décantées à traverser le filtre. La mise en charge de la canalisation de sortie perturberait la traversée du filtre.

Les filtres, qui sont la partie la plus innovante du dispositif, ont été remplacés régulièrement et analysés. Un seul type de filtre a été testé quand initialement trois types étaient prévus. Les boues accumulées en fond de STOPPOL® ont été analysées

La campagne de mesure, débutée le 25 novembre 2015 s'est achevée plus tôt que prévu du fait de la piétonisation des berges de Seine voulue par la Maire de Paris. Les prélèvements et mesures de débit ont été poursuivis après l'arrêt de la circulation automobile le 14 juillet 2016 jusqu'au 12 octobre 2016 date de début des travaux d'aménagement du nouveau parc paysager des berges rive droite.

Le déroulé de la campagne, les difficultés rencontrées, les paramètres recherchés et les premiers résultats ne sont pas présentés ici et feront l'objet du livrable suivant.

- **MOTS CLES**

Traitement à la source, pluviales de voirie, dispositif de traitement semi industriel, Paris, berges de Seine rive droite, Seine



- **SUMMARY**

Task 3 of the ROULEPUR project aims at the evaluation *in-situ* of the performances of four innovative solutions for the source control of micropollutant loads associated to road or parking lot runoff. This report describes the pilot site and device studied in Paris. An compact industrial sedimentation / filtration / adsorption device (le STOPPOL® 10CKF, produced by St Dizier Environnement), installed since 2012 on a heavy trafficked speedway along Seine river in central Paris has been instrumented.

The instrumentation of the STOPPOL® device was a quite complicated task. The system implemented allows flow monitoring at the entry of the device and for flow proportional sampling both at the entry and the exit of STOPPOL®. Event mean samples are collected with two refrigerated automatic samplers in either 20l glass and polyethylene bottles (depending on the pollutants analyzed). The flow measurement over the range 0 to 30 l/s is performed by coupling 3 different measurement technics. A tipping bucket flowmeter is used for the lower flow range (0 to 1.5 l/s), while an ultrasonic velocity profiler inserted in to upflow part of a siphon (sonde NIVUS Pipe Profiler) covers the medium flow range (1.5 to 9 l/s). For higher flows (9 to 30 l/s) ; the flow is estimated based on the water level data measured with a piezometric sensor inside the STOPPOL and the application of a weir law.

The implementation of a siphon system was necessary in order to keep the NIVUS flow meter probe in water without loading the STOPPOL® outlet pipe. Indeed, in the STOPPOL®, a difference in elevation exists between the effluent supply pipe and the outlet pipe, thus forcing the decanted polluted water to pass through the filter. Any modification of the water level in the outlet pipe would disturb the passage through the filter.

The filters, which are the most innovative part of the device, have been replaced regularly and analyzed. Only one type of filter was tested when initially three types were planned. Sludge accumulated in the bottom of STOPPOL® was also analyzed.

The sampling campaign started in November 25, 2015 and stopped in October 16, 2016. The campaign had to be considerably shortened due to the pedestrianization of Seine river banks. Car traffic was stopped on July 14, 2016. A few more rain events were sampled afterwards, till October 12 when all the equipment had to be removed to leave place for the site landscaping works.

The progress of the campaign, the difficulties encountered, the parameters sought and the first results are not presented here and will be the subject of the following deliverable.

- **KEYWORDS**

Road runoff, source control, pollution, treatment, Paris, Seine

• SOMMAIRE

1. Introduction	6
2. Présentation du site d'étude	6
2.1. Situation générale	6
2.1.1. Politique de prévention de la pollution pluviale en berges de Seine	6
2.1.2. Installations existantes utilisées au cours du projet	7
2.2. Bassin versant étudié	9
2.3. Description de la solution innovante	10
3. CHOIX DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL	12
3.1. Dispositif expérimental initialement envisagé	12
3.2. Difficultés rencontrées pour la mise en œuvre de l'instrumentation	12
3.2.1. Impossibilité d'installer une mesure de débit amont	12
3.2.2. Réfection, étanchéité de la canalisation amont	13
3.2.3. Aménagement du regard aval	13
3.3. Choix des instruments de mesure de débit à l'aval du STOPPOL®	15
4. DISPOSITIF METROLOGIQUE MIS EN OEUVRE	19
4.1. Suivi qualitatif des eaux brutes et des eaux traitées	19
4.2. Suivi quantitatif : mesure de débit aval	20
4.2.1. Principe hydraulique de fonctionnement du STOPPOL®	21
4.2.2. Forts débits – Mesure piézométrique – Loi hauteur-débit	21
4.2.3. Moyens débits – Sonde de mesure NIVUS PIPE Profiler (NPP)	23
4.2.4. FAIBLES DEBITS : débitmètre à auget à 2 cuves de chacune 5 litres	23
4.3. Suivi pluviométrique	25
5. Influence des crues de la Seine	25
1. Sigles & Abréviations	28
2. Bibliographie	29
3. Table des illustrations	30

DISPOSITIF DE DECANTATION-FILTRATION STOPPOL® A PARIS

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 :

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

Les travaux menés dans cette tâche au cours de l'année 2015 ont essentiellement porté sur une meilleure connaissance du fonctionnement des sites et ouvrages d'études, et d'autre part sur la définition et la mise en œuvre du dispositif expérimental.

Les livrables 3.3a, 3.4a, 3.5a et 3.6a, respectifs à chacun de ces sites d'étude, présentent une synthèse de ces avancées.

2. Présentation du site d'étude

2.1. Situation générale

Les eaux pluviales de l'ensemble de Paris sont collectées par le réseau unitaire. Il existe cependant des exceptions : les eaux pluviales du niveau bas des quais et des voies sur berges sont rejetées directement en Seine.

Les photos ci-dessous présentent concrètement les modalités de collecte de ces eaux en berge basse.



Source BURGEAP

Figure 1 - Rejet direct des eaux pluviales à la Seine

L'incidence actuelle de la circulation routière sur les berges est fortement négative en termes d'apport de polluants dans l'eau de la Seine. Cette incidence est négligeable en termes de concentration. En revanche, en termes de flux l'incidence est significative.

Par ailleurs, les études réalisées sur les eaux pluviales ont montré que l'essentiel de la pollution routière est associée aux matières en suspension (MES), soit parce que le composé se présente sous forme de particules, soit parce que le composé est adsorbé sur les particules. L'abattement de la concentration en MES engendre systématiquement un abattement de la concentration d'autres composés dont l'ampleur varie, mais qui est en général proche de l'abattement en MES.

2.1.1. Politique de prévention de la pollution pluviale en berges de Seine

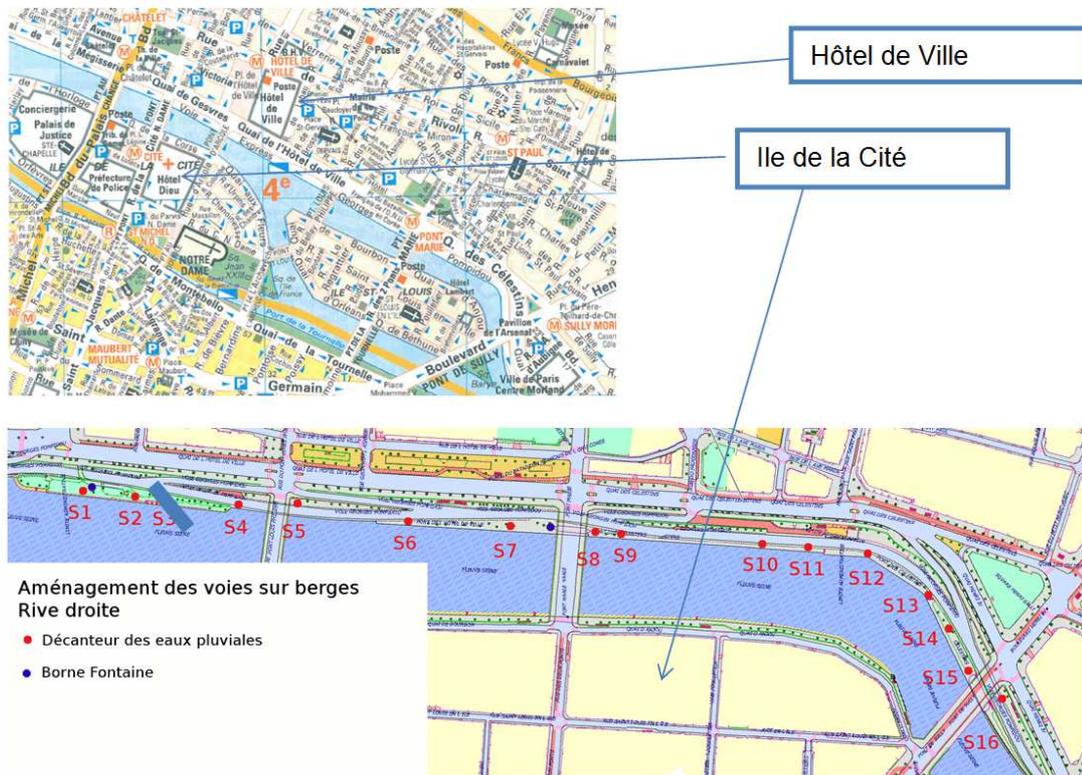
En 2012, la Mairie de Paris a mis en œuvre une rénovation des voies sur berges, le long de la Seine, d'une part en rive droite dans le 4^{ème} arrondissement, transformant ainsi l'ancienne voie rapide Georges Pompidou en boulevard urbain, d'autre part en rive gauche dans le 7^{ème}. Cet aménagement a été accompagné de la volonté d'améliorer la qualité des rejets pluviaux issus d'une voirie très circulée, par la mise en place d'un dispositif de dépollution avant rejet en Seine.

Pour apporter une réponse aux demandes des services de la DRIEE vis-à-vis des rejets directs dans le fleuve, le STEA (Service Technique de l'Eau et de l'Assainissement de la Ville de Paris) avait proposé une hiérarchisation des techniques à employer :

- Rejet dans des noues d'infiltration disposées sur le linéaire du projet
- Traitement par décantation avant rejet
- Rejets en égout du réseau unitaire par création de plusieurs stations de refoulement / relèvement.

Le choix s'est porté sur la deuxième solution. Le décanteur compact répond à la mise en œuvre d'un procédé simple de traitement physique des eaux pluviales avant leur rejet en Seine, par l'intermédiaire d'un nombre restreint de regards de décantation et de séparation des matières solides et polluantes. En outre, les avaloirs sont équipés de bouches sélectives pour retenir les corps les plus gros.

Le résultat de l'appel d'offres a orienté le choix sur le STOPPOL®, équipement proposé par l'entreprise Saint-Dizier Environnement. Quinze appareils ont été installés en rive droite en 2012, quatre en rive gauche en 2013.



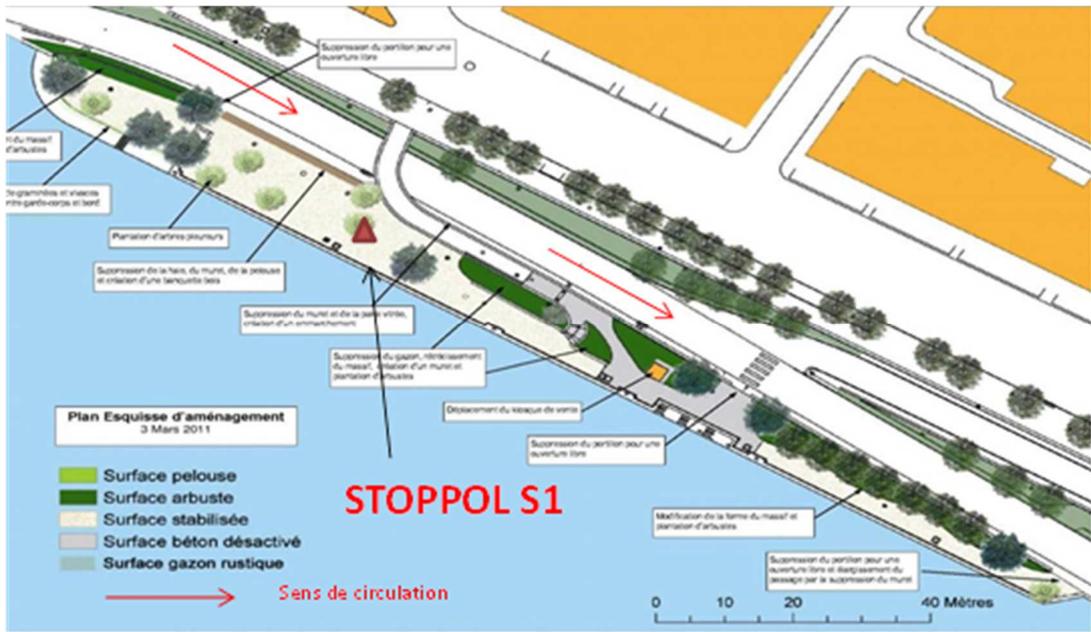
Source STEA

Figure 2 – Implantation des 15 STOPPOL® sur la rive droite de la Seine

2.1.2. Installations existantes utilisées au cours du projet

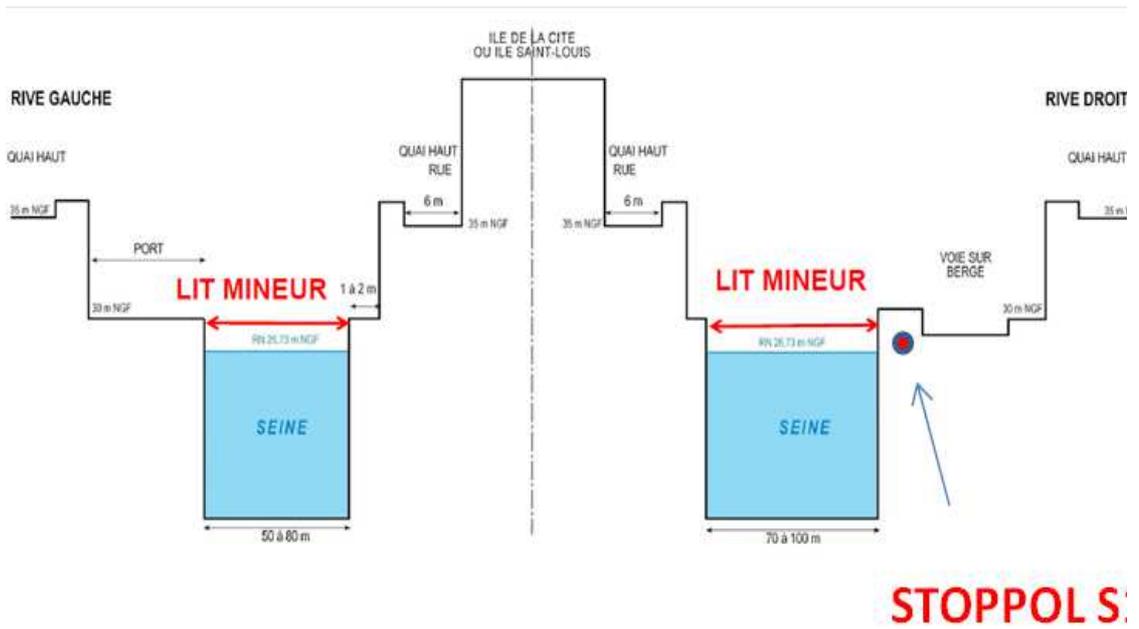
La voie Georges Pompidou, dont l'importance du trafic justifie une analyse précise sur les polluants rejetés au milieu naturel, a été retenue pour envisager le développement de mesures sur l'efficacité du décanteur compact. En raison de son accessibilité, le STOPPOL® S1 (voir Figure 2 ci-dessus) installé dans le square du Port de l'Hôtel de Ville, appelé aussi square F.G. Lorca, en bordure de la voie George Pompidou, a été équipé afin de recevoir une instrumentation complète en débitmétrie, préleveurs d'effluents et équipements d'acquisition de données.

Le square du Port de l'Hôtel de Ville (Figure 3) est un espace vert établi en contrebas du quai de l'Hôtel de Ville, entre la voie Georges Pompidou et la Seine, à la hauteur de la rue Lobau qui borde l'Hôtel de Ville de Paris à l'est. On y accède par une passerelle réservée à la circulation des piétons depuis le quai haut. Le square est entretenu par la Direction des espaces Verts et de l'Environnement de la Ville de Paris et son assiette est la propriété de Port de Paris.



Source Mairie de Paris

Figure 3 – Square du Port de l'Hôtel de Ville ou square F.G. LORCA



Source BURGEAP-Mairie de Paris, dossier de déclaration Loi sur l'eau pour l'aménagement des berges de Seine

Figure 4 – Coupe transversale de la Seine –Secteur de l'Île Saint-Louis

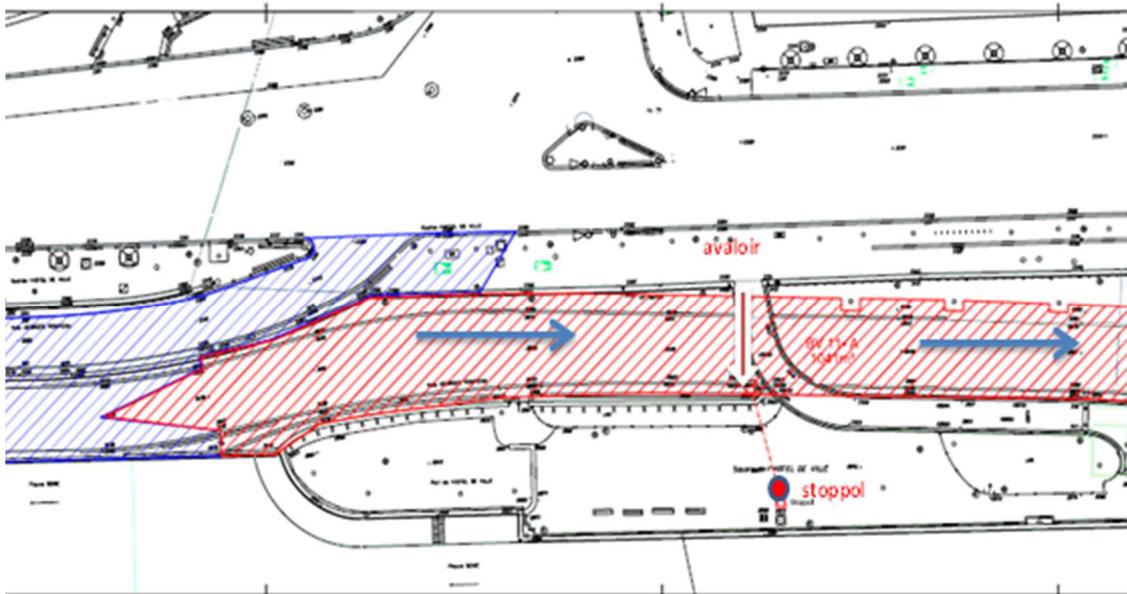


Source STEA

Figure 5 – Photos du site STOPPOL® S1 et de la voie Express Georges Pompidou

2.2. Bassin versant étudié

Le bassin versant du STOPPOL® « S1 » instrumenté, possède une surface de 1040 m² (voir plan du bassin versant, surface hachurée en rouge). Cette surface est compatible avec les préconisations surfaciques du fabricant. Le STOPPOL® S1 est alimenté par un avaloir de la voie Georges Pompidou. Les flèches bleues indiquent le sens de circulation du trafic automobile.

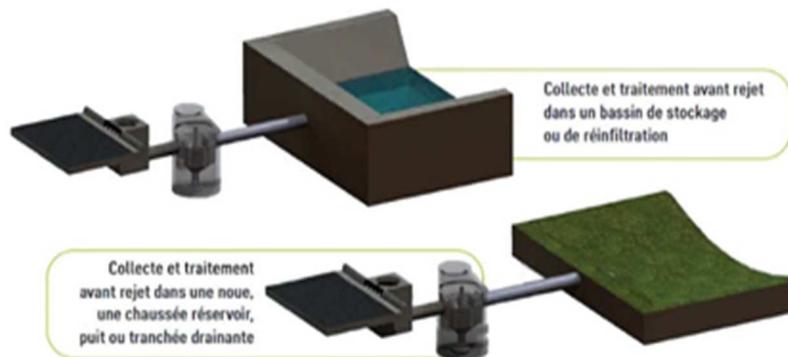


Source STEA

Figure 6 – Plan du Bassin versant collecté par le STOPPOL® S1

2.3. Description de la solution innovante

Le STOPPOL® développé et commercialisé par Saint Dizier environnement permet de traiter les eaux pluviales avant infiltration (techniques alternatives) ou rejet au milieu naturel. Les fonctions du STOPPOL® dans sa version 10CKF sont les suivantes : dégrillage, décantation et filtration (avec absorption et adsorption sur médias). Les ouvrages sont adaptés au traitement des eaux de ruissellement d'une zone de 1000 m² maximum.



Source Saint Dizier Environnement

Figure 7 – Intégration du STOPPOL® dans les filières de traitement à la source

L'ouvrage est réalisé par assemblage de panneaux « sandwich » à âme structurale nid d'abeilles, ce qui permet d'acquérir une très bonne résistance mécanique avec un matériau issu de l'écoconception. Les équipements internes sont en INOX 304L et en PEHD.

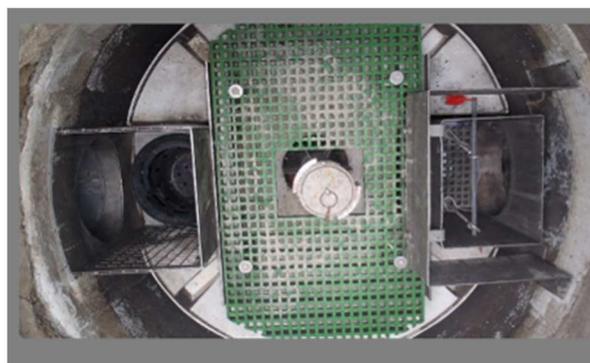
Le dispositif comprend les équipements suivants :

- un raccordement compatible avec un réseau PVC 315
- un système de dégrillage extractible
- un système de décantation sur coupelles en composite
- une cloison siphonide
- une chambre de stockage des boues de capacité 400 litres.
- une colonne de vidange des boues en inox 304L avec raccord pompier en DN 80 permettant l'extraction par hydro curage
- un caisson de reprise des eaux décantées comportant une cartouche de filtration/adsorption extractible, dimensionné pour traiter les événements pluvieux courants (20 l/s par ha) avec une durée de vie estimée à 6 mois sur des eaux pluviales urbaines.
- un palier technique en caillebotis composite facilitant l'entretien de l'ouvrage.

Le filtre (cartouche de filtration) est constitué de plusieurs phases : une phase constituée de fibres lipophiles destinées à retenir les hydrocarbures et une phase constituée de charbon actifs destinée à retenir les HAP et les métaux (voir photo ci-dessous).

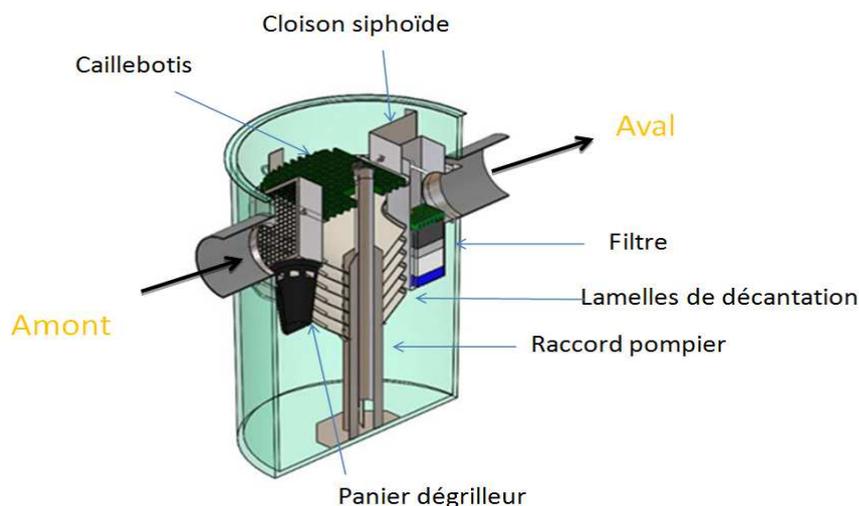


Source STEA



Source STEA

Figure 8 – Photo d'un filtre neuf et d'une vue de dessus du STOPPOL® (amont à gauche)



Source Saint Dizier Environnement

Figure 9 – Coupe du dispositif STOPPOL®

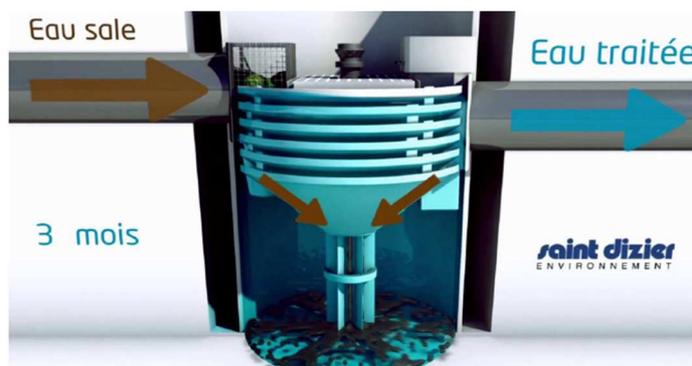
Le STOPPOL® est dimensionné pour pouvoir traiter des eaux polluées s'écoulant à des débits de 0 à 30 l/seconde. Entre 0 et 2 l/s, les eaux chargées sont traitées par décantation et filtration. Entre 2 l/s et 30 l/s, seule une partie des eaux chargées traverse le filtre, la plus grande partie est uniquement décantée. Les hydrocarbures sont retenus grâce à la cloison siphonide.

Polluants retenus dans le STOPPOL® 10CKF de Gondecourt (59)				
		Concentrations moyennes aval	Concentrations moyennes interceptées	Rendement moyen
MES	(mg/L)	29	28	50
DCO	(mg/L)	<25	33	>25 %
HCT	(mg/L)	<0.1	0.13	>23 %
HAP	(ng/L)	250	1200	83 %
Plomb	(µg/L)	13	19	60 %
Cuivre	(µg/L)	16	21	57 %
Zinc	(µg/L)	27	69	72 %

Source Saint Dizier Environnement (Eau industries et nuisances n°348)

Tableau 1 – Performances annoncées par le fabricant

<https://www.youtube.com/watch?v=Py0fwUO9FwE>



Source Saint Dizier Environnement

Figure 10 – Schéma du principe de fonctionnement et lien vidéo

3. CHOIX DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les campagnes de mesures in situ de la tache 3 du projet ROULEPUR ont pour objectif de mesurer par temps de pluie les flux de polluants entrant et sortant du STOPPOL® S1 (en exploitation depuis l'année 2012). Les mesures devaient être réalisées uniquement en période de circulation de la voie express G. Pompidou.

Le programme de mesures a évolué, car le projet de la Mairie de Paris de rendre piétonnes une partie des voies sur berges de la rive droite, envisagé depuis plusieurs années, a été acté fin 2015 pour une finalisation en 2017. La circulation automobile a été totalement arrêtée début juillet 2016 au droit du STOPPOL® étudié. La campagne s'est terminée le 12 octobre 2016 avec le début des travaux d'aménagement des berges.

L'étude approfondie du projet d'instrumentation et le délai très court de mise en œuvre en période de circulation automobile a conduit courant 2015 à faire évoluer le projet, vers:

- Absence de création de regard amont, pas de mesure de débit amont,
- Mise en place de deux préleveurs : un amont et un aval,
- Réalisation d'une campagne de mesures sans circulation automobile (juillet 2016 à début octobre 2016),
- Abandon de la campagne préalable de mesures hydrauliques,
- Réalisation de tests sur un seul type de filtre.

Le projet initial prévoyait des prélèvements lors de 18 évènements pluvieux, à raison de 6 évènements par filtre, sur trois types de filtre. Au final, le nombre d'évènements pluvieux échantillonnés est supérieur à 18 sur un seul filtre. Un second prototype de filtre a bien été installé en septembre 2016 mais aucun évènement pluvieux n'a été intercepté avec ce filtre.

3.1. Dispositif expérimental initialement envisagé

Le dispositif proposé dans le dossier ROULEPUR était présenté comme suit :

« En amont :

- Un débitmètre à effet doppler avec mesure de hauteur,
- Un préleveur d'effluents.

La mise en place du débitmètre amont nécessite la création d'un nouveau regard de visite dans le square, entre l'avaloir et le STOPPOL®, sur le parcours de la canalisation d'alimentation du décanteur compact. Ce regard sera lui-même équipé d'un accessoire déprimogène type venturi maçonné ou inox.

Le préleveur sera installé dans une armoire fermée à créer, implantée selon le schéma joint sur la photographie du site, et qui accueillera également le module enregistreur des mesures du débitmètre. Cette armoire sera habillée dans le style du mobilier urbain du square (habillage bois).

En aval :

- Un débitmètre pipe-profileur,
- Un préleveur d'effluents.

Le débitmètre sera mis en place dans un regard existant. Le deuxième préleveur d'effluents et le deuxième module enregistreur seront installés dans l'armoire décrite au paragraphe précédent. L'ensemble de ces équipements sera alimenté par le réseau électrique traversant le square.

Deux gaines de liaison de longueur environ 10 ml chacune relieront les regards, le STOPPOL® et l'armoire. L'une d'elle recevra les courants faibles, l'autre les tuyaux de prélèvement des préleveurs.

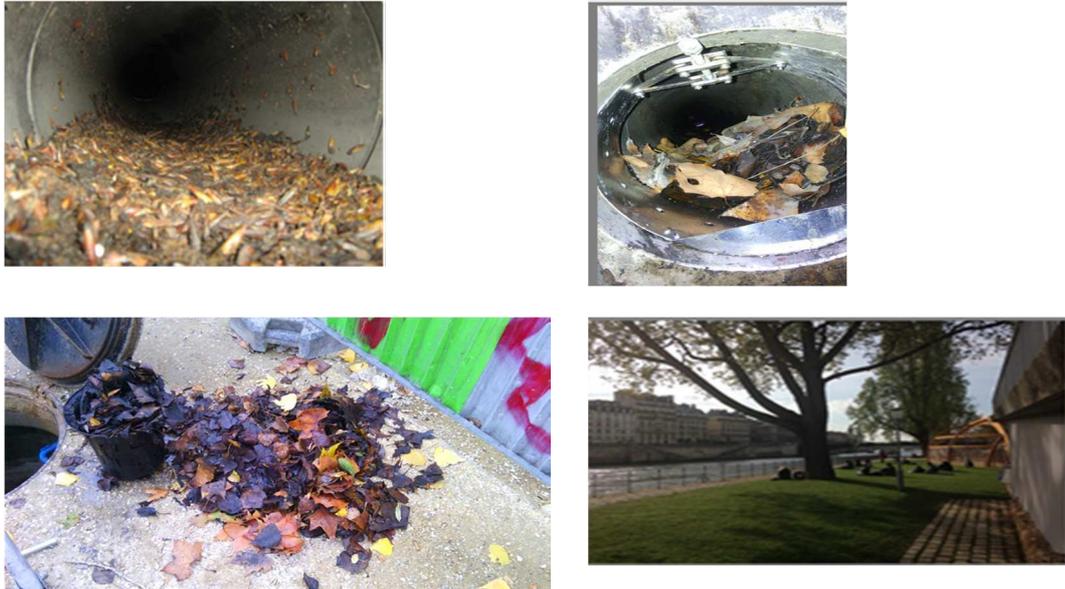
La pluviométrie est enregistrée par les pluviomètres du STEA. »

3.2. Difficultés rencontrées pour la mise en œuvre de l'instrumentation

3.2.1. Impossibilité d'installer une mesure de débit amont

Il n'a pas été possible de concevoir et à fortiori d'installer un système de mesure de débit à l'amont du STOPPOL®. Les dispositifs présentés dans le tableau 2 ci-après ont été envisagés mais tous abandonnés du fait de l'encombrement constant de la canalisation par les débris végétaux qui faussent les mesures. En effet, bien que l'avaloir soit un avaloir sélectif, la canalisation amont est constamment encombrée de débris végétaux provenant des arbres du square. La canalisation est intégralement curée en même temps que le STOPPOL® à une fréquence de 6 mois en exploitation normale, et à une

fréquence de 4-5 mois en phase de campagne de mesure, mais les amas végétaux se reforment constamment comme le montre la figure 11.



Source STEA

Figure 11 – Canalisations amont encombrées de débris végétaux

3.2.2. Réfection, étanchéité de la canalisation amont

La canalisation amont a été entièrement refaite et étanchée car les pré-visites ont montré que les racines des arbres avaient endommagé la canalisation en place

3.2.3. Aménagement du regard aval



Source STEA

Figure 12 – Regard aval avant (à gauche) et après travaux (à droite)

Le regard aval communiquant avec la Seine était complètement obstrué de débris divers. Il a été débouché en septembre 2015 lors d'une opération de nuit qui a duré plusieurs heures. Les parois du regard aval ont ensuite été cimentées puis équipées d'échelons de descentes et d'un caillebotis placé le plus haut possible afin de partiellement diminuer l'influence de la crue (voir figure 12).

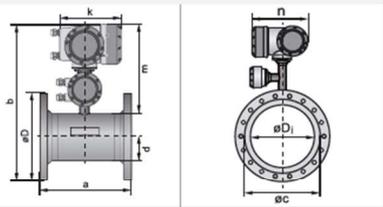
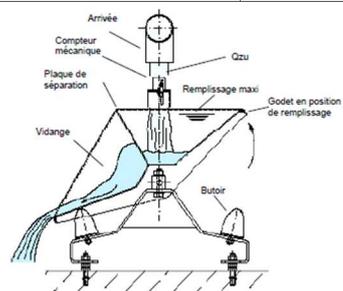
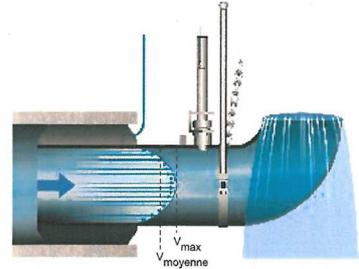
DEBITMETRIE AMONT envisagée			
DEBITMETRE ELECTRO MAGNETIQUE	Canalisation partiellement remplie (minimum 10% de remplissage) 500(a)x680(b)x381(oc) pour une canalisation de 300	Installé sur le site de ROSNY ss bois avec canalisation de 600	
	 <p>Entretien fréquent (hebdomadaire) pour retirer les dépôts à l'intérieur</p>		12 000 euros
DEBITMETRE A AUGET	<p style="text-align: center;">Utilisable jusqu'à 2/s seulement</p> <p>2 société francaises : http://www.precis-mecanique.com/ http://uft.fr</p> <p>et deux sociétés allemandes : http://www.upgmbh.com/ http://uFt-online.de</p>	 <p style="font-size: small;">Godet à bascule UFT-FluidTipper.</p>	
ULTRASONS	voir stoppol de Gondrecourt chez ST Devt s'installe au-dessus de la surface d'eau		
COLLIER DE CERCLAGE AVEC PIEZO ET DOPPLER	Installé sur canalisation pluviale route du bois de Vincennes Inconvénient pas précis avec une cana de 300		
MAINSTREAM HYDREKA CANAL VENTURI	Mainsteam IV Hydreka (rapport de stage Anaëlle Caplin) C'est aussi un cerclage sur lequel sont fixés des capteurs et un analyseur qui converti les données mesurées en débit. La DEI a ensuite proposé un canal venturi où on installerait les capteurs reliés au mainstream	 <p style="text-align: center;">Pas utilisable avec une canalisation pouvant être en charge</p>	
PIPE PROFILER NIVUS	Permet de faire une mesure sur une canalisation artificiellement mise en charge Pas d'espace pour l'installer en amont		

Tableau 2 – Dispositifs de mesure de débit amont envisagés

3.3. Choix des instruments de mesure de débit à l'aval du STOPPOL®

Le choix des moyens de mesure de débits à l'aval s'est avéré complexe. La large gamme de débit pouvant être rencontrés lors de la campagne, de zéro à trente litres par seconde, a conduit à utiliser différents modes de mesure des débits aval.

Trois modes de mesures de débits à l'aval sont ainsi mis en œuvre :

➤ Pour les faibles débits (0 à 1.5 l/s) : un débitmètre à auget

Les faibles débits sont mesurés par un débitmètre à auget qui n'était pas prévu dans le projet initial. L'installation du débitmètre à auget a posé beaucoup de difficultés à l'entreprise titulaire du marché de mesure du Service technique de l'eau et de l'assainissement (Entreprise SEMERU-FAYAT), peu familière avec ce dispositif.

➤ Pour les débits moyens (1.5 à 9 l/s) : une sonde NIVUS de mesures de vitesses par ultrasons

La sonde NIVUS insérée dans la branche montante du siphon (voir ci-dessous) a finalement été retenue car le CEREMA, partenaire du projet ROULEPUR a proposé un prêt à titre gracieux.

➤ Pour les forts débits (10 à 30 l/s) : une sonde de hauteur par piézométrie fixée dans le raccord pompiers au centre du STOPPOL®.

Les débits les plus élevés seront évalués en appliquant une loi hauteur / débit à la mesure des variations de hauteur d'eau dans la cuve du STOPPOL®.

Le paragraphe suivant « 3.4 Dispositifs métrologiques mis en œuvre » détaille les principes de fonctionnement des trois modes de mesure de débit utilisés.

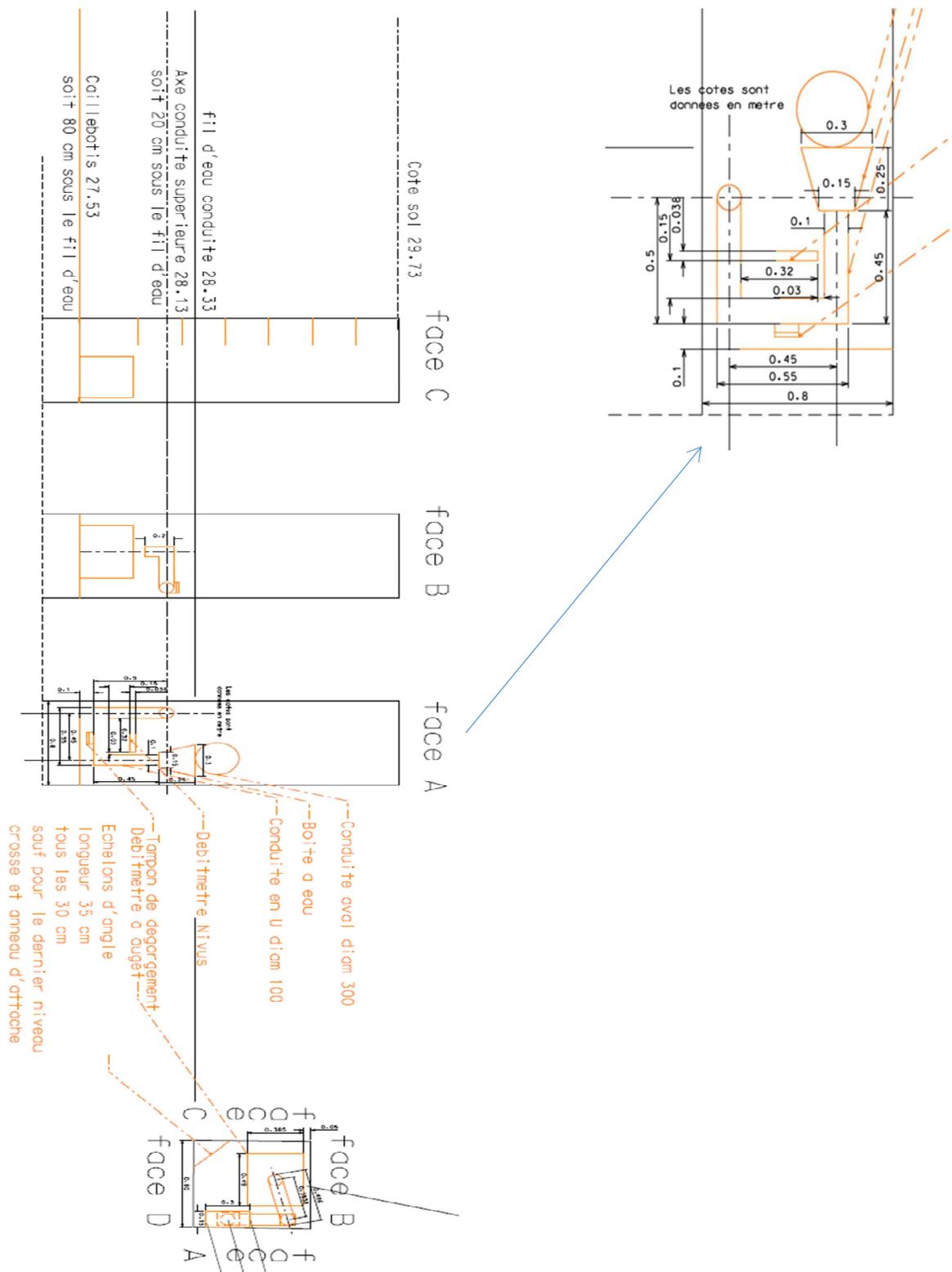
La mise en œuvre d'un **système de siphon** a été nécessaire afin de garder la sonde du débitmètre NIVUS en eau sans mettre en charge la canalisation de sortie du STOPPOL®. En effet, dans le STOPPOL®, un dénivelé existe entre la canalisation d'amenée des effluents et la canalisation de sortie forçant ainsi les eaux polluées décantées à traverser le filtre. La mise en charge de la canalisation de sortie perturberait la traversée du filtre. (Voir schéma de principe du STOPPOL® en figure 19). La fabrication du siphon a été réalisée en inox par le service d'assainissement de la Ville de Paris



Source STEA



Figure 13- Vue du siphon, de l'insertion de la sonde NIVUS dans le siphon (à gauche), vue du dispositif permettant de vider le siphon (à droite)



Source STEA

Figure 15- Regard aval : ajustement du siphon et du débitmètre à auget à l'espace confiné

4. DISPOSITIF METROLOGIQUE MIS EN OEUVRE

4.1. Suivi qualitatif des eaux brutes et des eaux traitées

Deux préleveurs automatiques mono-flacon réfrigérés ont été installés : l'un prélève en amont dans le petit seuil avant le panier dégrilleur et l'autre prélève en aval dans le bac à eau du siphon présent dans le regard aval (voir photos ci-dessous). À chaque préleveur est associé un set de 3 flacons de 20 litres en polyéthylène (PE) et 3 flacons de 20 litres en verre (V) permettant de réaliser des « campagnes PE » (métaux et paramètres globaux) et des « campagnes verre » (micropolluants organiques et paramètres globaux).

Le prélèvement est déclenché après que 200 litres se sont écoulés dans le siphon. Le pas de prélèvement est ensuite 500 millilitres chaque 200 litres écoulés.

Seules les mesures de la sonde Nivus PP servait à l'asservissement des préleveurs à la mise en route des prélèvements au début de la campagne de mesure en fin novembre 2015, en absence de débitmètre à auget fonctionnel. Puis lors de la mise en service du débitmètre à auget, l'asservissement se fait sur le débitmètre à auget jusqu'à 1.5 l/s puis bascule sur les mesures fournies par la sonde NIVUS au-delà. A partir du 1 avril 2016 le basculement vers la sonde Nivus est déclenché à partir de 1 l/s.

Un déversement peut être détecté par temps sec. Le service de la voirie de la Mairie de Paris (Direction de la voirie et des déplacements) lave la chaussée lors des fermetures de voies sur berge. Des fermetures nocturnes sont programmées deux fois par mois pour les travaux d'entretien.

Aucun lavage n'est programmé le dimanche bien que les voies ne sont pas circulées ce jour à l'exception des 3 derniers WE de 2015.

Les prélèvements susceptibles de contenir des eaux de lavage de voirie ne seront pas exclus et seront apportés au LEESU comme les autres.

Une armoire électrique a été installée, reliée au réseau électrique, contenant les dispositifs d'acquisition et d'enregistrement des données ainsi que les deux préleveurs automatiques. L'encombrement des préleveurs ne permettait pas d'installer deux préleveurs en amont (un avec flaconnage verre et l'autre avec un flaconnage plastique) et deux préleveurs en aval (idem), le service des espaces verts en charge de la gestion du square n'ayant pas autorisé le STEA à installer une deuxième armoire. L'armoire est nécessaire pour protéger les dispositifs expérimentaux du public qui circule dans le square jour et nuit.



Source STEA

Figure 17 – Tuyau de prélèvement amont avec seuil



Source STEA

Figure 18 – Intérieur de l'armoire électrique et tuyau de prélèvement aval en entrée du siphon

4.2. Suivi quantitatif : mesure de débit aval

Les débits traversant le STOPPOL® sont mesurés uniquement à l'aval du STOPPOL®. Les débits entrant sont supposés être équivalents aux débits sortants, des travaux d'étanchéité ayant été effectués avant l'instrumentation. Le STOPPOL® est dimensionné pour pouvoir traiter des eaux polluées s'écoulant à des débits de 0 à 30 litre/seconde. Le tableau ci-dessous indique la correspondance entre l'intensité de pluie et le débit dans une canalisation de 300 millimètres. A Paris, pour une pluie de retour un mois durant 4 heures, la hauteur de la lame d'eau est de 6mm ; elle est de 10 mm pour une pluie de retour 3 mois.

intensité de pluie (mm/h)	débit (l/h)	débit (m3/h)	débit litres/minute	débit (l/s)				
1	800	0,8	13	0,22	l'eau passe par le filtre du stoppol	optimum de qualité de mesure de débit par le débitmètre à auget		
2	1600	1,6	27	0,44				
3	2400	2,4	40	0,67				
4	3200	3,2	53	0,89				
5	4000	4	67	1,11				
6	4800	4,8	80	1,33				
7	5600	5,6	93	1,56				
8	6400	6,4	107	1,78				
9	7200	7,2	120	2,00				
10	8000	8	133	2,22				
11	8800	8,8	147	2,44	une partie de l'eau passe par le filtre, l'autre partie s'écoule par surverse	optimum de qualité de mesure de débit par le débitmètre NIVUS PIPE PROFILER		
12	9600	9,6	160	2,67				
13	10400	10,4	173	2,89				
14	11200	11,2	187	3,11				
15	12000	12	200	3,33				
16	12800	12,8	213	3,56				
17	13600	13,6	227	3,78				
18	14400	14,4	240	4,00				
19	15200	15,2	253	4,22				
20	16000	16	267	4,44				
25	20000	20	333	5,56			optimum de qualité de mesure de débit par le piezomètre (mesure Q=f(h))	
30	24000	24	400	6,67				
40	32000	32	533	8,89				
50	40000	40	667	11,11				
60	48000	48	800	13,33				
70	56000	56	933	15,56				
80	64000	64	1067	17,78				
90	72000	72	1200	20,00				
100	80000	80	1333	22,22				
120	96000	96	1600	26,67				
130	104000	104	1733	28,89				
140	112000	112	1867	31,11				

Tableau 3 – Plages d'optimum de qualité de mesure des trois modes de mesure de débit utilisés

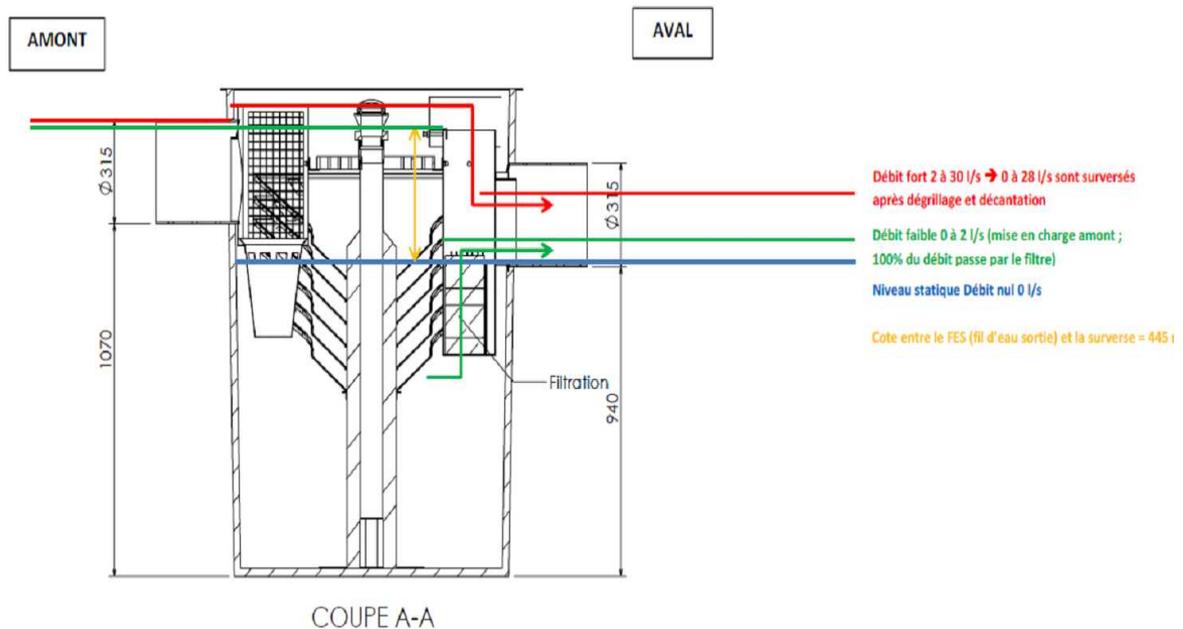
Les débits sont mesurés simultanément par trois dispositifs de mesures de débit chacun ayant une plage optimale de mesure. :

- Forts débits : 9l/s à 30l/s (35 à 110 m3/h) : mesure de hauteur par piézomètre à l'intérieur du STOPPOL® (sur seuil rectangulaire).
- Débits moyens : 1.5 l/s à 9 l/s (4.5 à 32.4 m3/h) : NIVUS pipe profiler : mesure de vitesse par ultrasons sur conduite pleine (débit maximal limité par la capacité du siphon)
- Faibles débits : 0 l/s à 1.5 l/s (0 à 4.5 m3/h) : auget basculant avec 2 godets de 5 litres (volume total 10 litre)

Pour les calculs de flux, les débits seront estimés à partir des optima de mesure de chaque dispositif. Les 3 types de mesures sont enregistrés en instantané simultanément à un pas de temps de 30 secondes sauf pour l'auget basculant (les basculements sont enregistrés quand ils se produisent, couplés à un horodatage en heure légale).

4.2.1. Principe hydraulique de fonctionnement du STOPPOL®

La figure 19 présente les différents cas de figures qui peuvent se produire lors du fonctionnement du STOPPOL®



Source St Dizier Environnement

Figure 19 – Principe de fonctionnement hydraulique du STOPPOL®

La canalisation amont est plus haute que la canalisation de sortie. Avant la pluie, le niveau d'eau statique (trait bleu) est aligné sur le bas de la canalisation aval. Quand le niveau d'eau s'élève dans le STOPPOL® par apport de pluviales, à l'aval l'eau est forcée à traverser le filtre par la charge appliquée par l'eau entrante. St Dizier Environnement indique que ce phénomène ne se produit que lorsque les débits entrant sont compris entre 0 et 2 l/s (flèche verte). 100% du débit passe alors par le filtre. Quand le débit entrant est supérieur à 2 l/s et jusqu'à 30 l/s, une surverse au travers la cloison siphonée se produit (flèche rouge). La cloison siphonée a pour rôle de confiner les hydrocarbures, éventuellement collectés, en surface. Dans cette configuration une partie du débit seulement passe par le filtre, le reste de l'eau est traitée uniquement par dégrillage et décantation. La répartition entre le filtre et la surverse n'est pas connue. Lors de débit proche de 30 l/s, l'eau passe par-dessus la cloison siphonée.

4.2.2. Forts débits – Mesure piézométrique – Loi hauteur-débit

Le capteur de niveau, de la marque Druck de type PTX5032 et de gamme de mesures 0 – 5 m H₂O est positionné dans le tube central au fond du STOPPOL® (voir photo ci-dessous).



Source STEA

Figure 20 – Sonde piézométrique

Le capteur mesure la pression de l'eau additionnée à celle de l'air qui s'exerce sur l'eau. Une mise à l'atmosphère permet de s'affranchir de la composante de la pression de l'air et ainsi mesurer uniquement la pression de l'eau. La mesure de pression est convertie en mesure de hauteur d'eau.

Le signal de la mesure est converti en un signal électrique du type 4-20 mA.

Le capteur est raccordé sur un JMconcept qui permet de paramétrer et de caler les mesures de hauteur. Le calage consiste en une mesure à l'aide d'une pige de la hauteur d'eau puis introduction d'un offset. Le signal est renvoyé vers un acquiiseur (un e@sy).

Un étalonnage à l'aide d'un simulateur de pression est effectué en cas de doute sur la mesure ou tous les ans.



Figure 21 – Affichage du niveau d'eau dans le STOPPOL® mesuré par la sonde piézométrique

Source STEA

Loi hauteur -débit

La hauteur H1 (voir figure ci-dessous) correspondant au début de la surverse au-dessus des cloisons métalliques, est égale à 87,7cm (depuis le fond du STOPPOL® jusqu'au fil d'eau de sortie) additionnée à + 40.5 cm de hauteur de paroi métallique protégeant la canalisation de sortie du STOPPOL® soit H1 = 128.0 cm. Cette valeur est différente de la valeur théorique fournie par ST Dizier- Environnement qui est H1= 94 + 40.5.

La valeur de h correspondra pour toute valeur de H2 mesurée, avec H2>H1, à h= H2-H1.

Une loi de déversoir, reliant hauteur h et le débit instantané, est proposée par Saint-Dizier environnement :

$$Q = 0.5 * 0.94 * h * \sqrt{2 * 9.81 * h}$$

Cette formule provient de la formule générale pour la mesure des débits des déversoirs rectangulaires à paroi mince $Q = \mu Lh\sqrt{2gh}$ où :

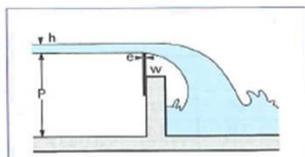
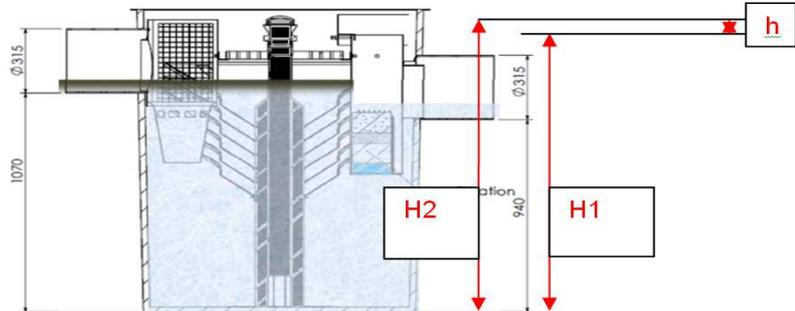
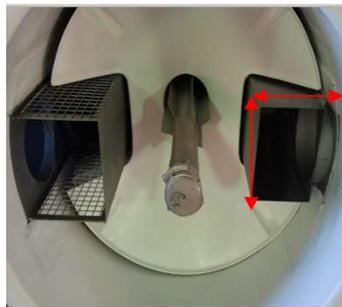
Q= débit en m³.s⁻¹ (ou L.s⁻¹)

μ = coefficient de débit du déversoir (ici $\mu=0.5$)

L = largeur du seuil déversant en mètres (=longueur totale du rebord métallique entourant la sortie du STOPPOL® soit 0.94 mètres [=2x le petit côté (20.0 cm) + 2x le grand côté (27.0 cm)])

h= épaisseur de la lame d'eau au-dessus du seuil en mètre

g= accélération de la pesanteur en m.s-1 (=9.81 à Paris)



Source ST Dizier Environnement et STEA

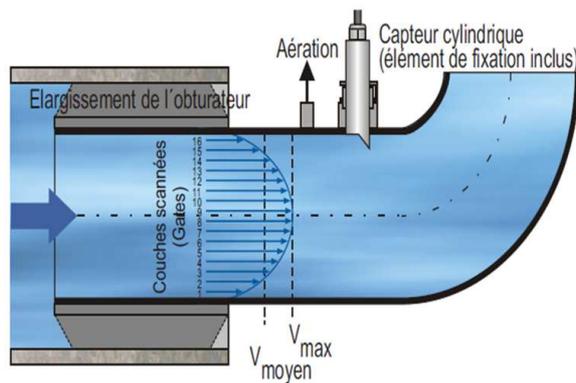
Figure 22 – Schéma associé au calcul de la loi-hauteur-débit

4.2.3. Moyens débits – Sonde de mesure NIVUS PIPE Profiler (NPP)

La sonde utilisée est une sonde de vitesse à ultrasons qui fonctionne sur le principe de la mesure de vitesse par corrélation croisée ultrasonique.

La sonde NPP est fixée dans le siphon du regard aval, le siphon servant à tranquilliser le flux d'eau et à créer un écoulement à pleine section dans lequel le débit peut être déterminé à partir de la seule donnée de vitesse .

L'enregistrement des mesures de la sonde NPP est collecté et traité par un enregistreur / unité centrale PCM4 de Nivus.



Principe de la sonde NPP



Vue de l'insertion de la sonde NIVUS

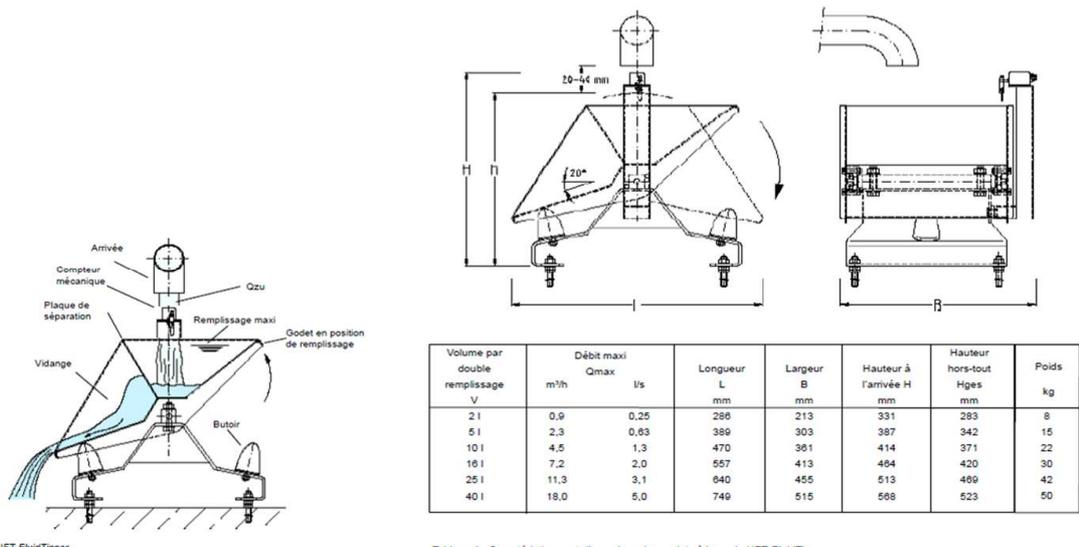
Source NIVUS et STEA

Figure 23 – Principe et implantation de la sonde NIVUS NPP

4.2.4. FAIBLES DEBITS : débitmètre à auget à 2 cuves de chacune 5 litres

Le débitmètre à auget a été mis en place en novembre 2015 mais n'a pu être mis en route que le 22 janvier 2016. La société UFT n'a fourni qu'un tardif soutien à l'installation.

L'appareil utilisé est un godet à bascule de la société UFT FluidTipper type KI à deux compartiments en acier inoxydable comprenant un volume de 10 litres (2x 5 litres) par double remplissage.



Source UFT

Figure 24 – Caractéristiques et dimensions des godets à bascule UFT-Fluid Tipper

Mode d'acquisition des données :

Un capteur à induction envoie un contact simple à chaque basculement de l'auget. C'est l'horodatage du changement d'état de ce contact qui est enregistré sur l'acquisiteur (E@sy).

Mode de transformation des données en données de débit :

Chaque basculement correspond à 5,7 litres d'un côté et 5,67 litres de l'autre. En intégrant ce volume par le temps de basculement nous obtenons un débit.



Source STEA

Figure 25 – Implantation du débitmètre à auget dans le regard aval

4.3. Suivi pluviométrique

Les données des pluviomètres du STEA permettent le suivi pluviométrique. A Paris, pour une pluie de retour un mois, la hauteur de la lame d'eau pour une pluie de 4 heures est de 6mm et de 10 mm pour une pluie de retour 3 mois. Le choix des données de pluviomètres se fera lors de l'exploitation de la campagne de mesures.

Temps de retour	1 mois	3 mois	6 mois	1 an	2 ans	3 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Hauteur de lame d'eau pour une pluie de 4 heures (en mm)	6	1	16	22	28	32	38	48	60	77	96

Tableau 4 – Hauteur de lame d'eau pour une pluie de 4 heures à Paris (source STEA)



SOURCE STEA

Figure 26 – Emplacement des pluviomètres du STEA, triangles verts

5. Influence des crues de la Seine

Le STOPPOL® et son instrumentation, étant situé en bord de Seine, sont impactés par les crues si le niveau du fleuve montre trop. Si le niveau atteint le caillebotis sur lequel est posé le débitmètre à auget, le basculement est bloqué par l'eau et les faibles débits ne peuvent plus être mesurés avec précision. Si le niveau monte encore la sonde NIVUS continue à fonctionner tant que l'eau ne dépasse pas la boîte à eau en entrée de siphon. Si l'eau monte encore elle rentre pas la canalisation aval du STOPPOL®, submerge le filtre et les coupelles de décantation, la sonde piézométrique fonctionne encore.

Fin mai-début juin 2016, lors d'une crue exceptionnelle, le square F.G. Lorca, dans lequel est situé le STOPPOL® a été submergé. Le niveau du fleuve est monté jusqu'à vingt centimètres sous le sommet de l'armoire électrique. Les préleveurs ont été retirés in extremis et sauvés mais le dispositif électrique a été détruit. À la suite de la crue, la remise en état du site de mesure n'a permis de reprendre les mesures que début juillet.

Le caillebotis dans le regard aval a été placé le plus haut possible en fonction des hauteurs de crue récentes. Un historique récent des niveaux de Seine par rapport au niveau du caillebotis du regard aval a été réalisé. Les zones en rouge représentent la submersion du caillebotis, soit un niveau de Seine supérieur à la côte 27.30 Ville de Paris (VdP) soit un mètre sous le bas de la canalisation aval qui est à la cote 28.33 VdP.

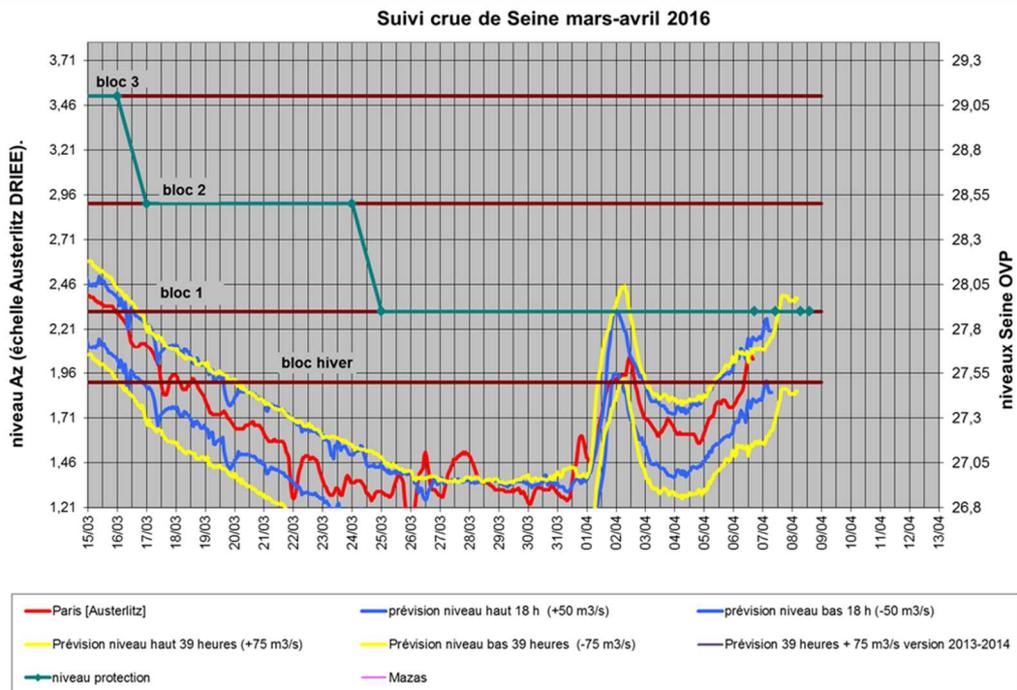
Le caillebotis a finalement été installé à 80 cm sous le fil d'eau de la canalisation avale.



Source STEA

Figure 27 – Historique des périodes où la Seine a atteint le niveau du caillebotis du regard aval

Pour mémoire, le STEA assure un suivi permanent du niveau de la Seine pour la protection de ses ouvrages d'assainissement. En période de crue, le suivi journalier est fourni sous la forme ci-après. La courbe rouge représente le niveau de Seine à hauteur du pont d'Austerlitz. Pour avoir le niveau de la Seine au niveau du caillebotis du regard aval, un abaqué permet, connaissant le niveau à austerlitz, d'obtenir le niveau de la Seine face au siphon Saint Louis situé à quelques mètres du STOPPOL®.



Source STEA

Les courbes bleues et jaunes sont des courbes prévisionnelles des minima et des maxima

Figure 28 – Suivi de la crue en mars-avril 2016 par le STEA

Conclusion

Un dispositif de décantation-filtration semi industriel exploité depuis 2012, a été instrumenté à Paris dans le cadre du projet ROULEPUR. La solution de traitement étudiée, le STOPPOL® 10CKF est fabriqué et distribué par la société St Dizier environnement et est installé sur la berge rive droite de la Seine au pied de l'hôtel de ville de Paris.

L'instrumentation mise en place permet le prélèvement automatique d'échantillons moyens par événement pluvieux à la fois à l'amont et à l'aval du STOPPOL®. La mesure de débit est réalisée uniquement à l'aval, les débits à l'amont étant supposés être équivalents aux débits sortant.

La conception et la mise en place du suivi débitmétrique a été relativement complexe du fait des multiples contraintes du site. Elle repose sur une combinaison de trois types de mesures (débitmètre à augets, débitmètre à ultrasons et mesure de hauteur d'eau sur un seuil) permettant de couvrir une large gamme de mesures.

L'équipement de ce site a été finalisé en novembre 2015 et les campagnes d'échantillonnage ont été poursuivies jusqu'au 12 octobre 2016, avec des interruptions durant les périodes de crue de la Seine (débitmètre et point de prélèvement noyés).

Le suivi de ce site expérimental a subi un aléa important du fait de la décision prise par la Mairie de Paris de rendre les voies sur berge piétonnières et de les aménager en parc paysager. La chaussée étudiée n'est plus circulée depuis le 14 juillet 2016 et le site d'étude a été débranché et démonté le 13 octobre 2016 avant le démarrage des travaux d'aménagement du parc paysager des berges.

Cette situation, qui n'était pas connue au moment du montage du projet nous a obligé à modifier la planification de la campagne d'échantillonnage. La durée totale de la campagne de mesure est de 10 mois (de fin novembre 2015 à fin septembre 2016). Compte tenu de ces contraintes, les filtres ont été changés régulièrement mais un seul type de filtre a pu être testé. Un deuxième prototype de filtre a été mis en place mi-septembre 2016 sans qu'un prélèvement puisse être collecté.

Les mesures en période de voirie non circulée pourront permettre de distinguer les apports de polluants propres aux eaux de pluie, des pollutions issues des apports cumulés de la pluie et des lessivages de voirie.

Le déroulé de la campagne, les difficultés rencontrées, les paramètres recherchés et les premiers résultats ne sont pas présentés ici et feront l'objet du livrable suivant.

1. Sigles & Abréviations

LEESU : le Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains est un laboratoire commun de l'école des Ponts Paris Tech, l'Université Paris-Est Créteil et Agro Paris Tech(UMR MA 102)

MES : matières en suspension

STEA : Service Technique de l'Eau et de l'Assainissement de la ville de Paris appartenant à la Direction de la propreté et de l'eau

2. Bibliographie

BAK A., VIAU J.-Y., 2014 : Traitement à la source des eaux pluviales : le Stoppol®, Colloque SHF/ASTEE Bordeaux.

CHEDEVILLE M, VIAU J.-Y., 2012 : Des réponses innovantes pour une gestion durable des techniques alternatives, L'eau, l'industrie, les nuisances n° 348.

3. Table des illustrations

Figure 1 - Rejet direct des eaux pluviales à la Seine	6
Figure 2 – Implantation des 15 STOPPOL® sur la rive droite de la Seine	7
Figure 3 – Square du Port de l’Hôtel de Ville ou square F.G. LORCA	8
Figure 4 – Coupe transversale de la Seine –Secteur de l’Ile Saint-Louis.....	8
Figure 5 – Photos du site STOPPOL® S1 et de la voie Express Georges Pompidou	9
Figure 6 – Plan du Bassin versant collecté par le STOPPOL® S1.....	9
Figure 7 – Intégration du STOPPOL® dans les filières de traitement à la source.....	10
Figure 8 – Photo d’un filtre neuf et d’une vue de dessus du STOPPOL® (amont à gauche).....	10
Figure 9 – Coupe du dispositif STOPPOL®.....	11
Figure 10 – Schéma du principe de fonctionnement et lien vidéo	11
Figure 11 – Canalisation amont encombrée de débris végétaux.....	13
Figure 12 – Regard aval avant (à gauche) et après travaux (à droite)	13
Figure 13- Vue du siphon, de l’insertion de la sonde NIVUS dans le siphon (à gauche), vue du dispositif permettant de vider le siphon (à droite).....	15
Figure 14 – Plan de l’instrumentation définitive (source STEA, Hélène Erlichman)	16
Figure 15- Regard aval : ajustement du siphon et du débitmètre à auget à l’espace confiné	17
Figure 16 – Profil en long depuis l’avaloir jusqu’à la Seine.....	18
Figure 17 – Tuyau de prélèvement amont avec seuil	19
Figure 18 – Intérieur de l’armoire électrique et tuyau de prélèvement aval en entrée du siphon	20
Figure 19 – Principe de fonctionnement hydraulique du STOPPOL®.....	21
Figure 20 – Sonde piézométrique	22
Figure 21 – Affichage du niveau d’eau dans le STOPPOL® mesuré par la sonde piézométrique.....	22
Figure 22 – Schéma associé au calcul de la loi-hauteur-débit.....	23
Figure 23 – Principe et implantation de la sonde NIVUS NPP.....	23
Figure 24 – Caractéristiques et dimensions des godets à bascule UFT-Fluid Tipper	24
Figure 25 – Implantation du débitmètre à auget dans le regard aval.....	24
Figure 26 – Emplacement des pluviomètres du STEA, triangles verts.....	25
Figure 27 – Historique des périodes où la Seine a atteint le niveau du caillebotis du regard aval.....	26
Figure 28 – Suivi de la crue en mars-avril 2016 par le STEA	26
Tableau 1 – Performances annoncées par le fabricant	11
Tableau 2 – Dispositifs de mesure de débit amont envisagés.....	14
Tableau 3 – Plages d’optimum de qualité de mesure des trois modes de mesure de débit utilisés	20
Tableau 4 – Hauteur de lame d’eau pour une pluie de 4 heures à Paris (source STEA).....	25

Onema

Hall C – Le Nadar
5, square Félix Nadar
94300 Vincennes

01 45 14 36 00

www.onema.fr