



**HAL**  
open science

## La performance épuratoire de deux ouvrages de biofiltration traitant les micropolluants associés aux eaux de voirie

Kelsey Flanagan, Philippe Branchu, Lila Boudahmane, Emilie Caupos, Dominique Demare, Steven Deshayes, Philippe Dubois, Laurent Meffray, Chandirane Partibane, Mohamed Saad, et al.

### ► To cite this version:

Kelsey Flanagan, Philippe Branchu, Lila Boudahmane, Emilie Caupos, Dominique Demare, et al.. La performance épuratoire de deux ouvrages de biofiltration traitant les micropolluants associés aux eaux de voirie. Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine, Nov 2018, Paris, France. hal-02065517

**HAL Id: hal-02065517**

**<https://enpc.hal.science/hal-02065517>**

Submitted on 12 Mar 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# LA PERFORMANCE EPURATOIRE DE DEUX OUVRAGES DE BIOFILTRATION TRAITANT LES MICROPOLLUANTS ASSOCIES AUX EAUX DE VOIRIE

Flanagan K.<sup>1</sup>, Branchu P.<sup>2</sup>, Boudahmane L.<sup>1</sup>, Caupos E.<sup>1</sup>, Demare D.<sup>3</sup>, Deshayes S.<sup>1</sup>, Dubois P.<sup>1</sup>, Meffray L.<sup>2</sup>, Partibane C.<sup>1</sup>, Saad M.<sup>1</sup>, Tedoldi D.<sup>1</sup>, Gromaire M.-C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Eau, Environnement, Systèmes Urbains (LEESU), École des Ponts ParisTech, 6-8 avenue Blaise Pascal, Cité Descartes, Champs-sur-Marne, 77455 Marne-la-Vallée Cedex 2, email : kelsey.flanagan@enpc.fr

<sup>2</sup>CEREMA, 12 Rue Léon Teisserenc de Bort, 78190 Trappes, France.

<sup>3</sup>IFSTTAR, GERS, LEE, route de Bouaye CS4, 44344 Bouguenais, France.

## RESUME

Les ouvrages dits de *biofiltration* visent une meilleure maîtrise du flux polluant associé aux eaux pluviales, en gérant celles-ci à proximité de la source, au moyen de systèmes végétalisés conçus pour le stockage, la filtration et éventuellement l'infiltration de l'eau. L'efficacité épuratoire est évaluée *in situ* pour deux systèmes de biofiltration, un accotement filtrant et une noue filtrante, en comparant la qualité des eaux drainées de ces ouvrages à la qualité des eaux de ruissellement brutes et à des normes de qualité environnementale pour un panel diversifié de contaminants. Ce panel comprend des éléments traces métalliques (ETM) et des micropolluants organiques (des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des alkylphénols, le bisphénol-A (BPA), des phtalates) dans les phases totales et dissoutes. Les polluants essentiellement associés à la phase particulaire (le Pb, le Zn, le Cu et les HAP) ont été très bien retenus (>90%) pour la majorité des événements pluvieux. Cependant, une performance dégradée a été observée vis-à-vis les particules pendant une période hivernale. Les réductions observées en termes de concentrations dissoutes tendaient à être plus faibles que celles observées pour les particules et les polluants associés. Ainsi, des rétentions plus faibles sont observées pour les concentrations totales en micropolluants modérément particulaires, tels que le BPA, les alkylphénols et les phtalates. De plus, les abattements de concentration observés pendant les premiers mois de fonctionnement de la noue filtrante étaient particulièrement mauvais, suggèrent une émission de certains polluants depuis les matériaux de construction de l'ouvrage.

## MOTS CLES

Accotement filtrant, gestion à la source, micropolluant, noue filtrante, ruissellement de voirie.

## INTRODUCTION

La contamination des eaux de ruissellement de voirie par des polluants comme les matières en suspension (MES), les nutriments, les éléments traces métalliques (ETM) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) a été mise en avant par de nombreux travaux scientifiques au cours des dernières décennies (Huber et al., 2016; Kayhanian et al., 2012). Plus récemment, d'autres micropolluants organiques, tels que les alkylphénols, les phtalates et le bisphénol-A (BPA), dont certains identifiés comme polluants prioritaires par la Directive Cadre sur l'Eau de l'Union Européenne (EC, 2013), ont été associés à ce type d'eau (Markiewicz et al., 2017). Une meilleure maîtrise de cette pollution est nécessaire afin de protéger la qualité des milieux aquatiques naturels.

Une technique adaptée à la gestion à la source du flux polluant associé aux eaux de ruissellement est celle de la biofiltration (B. Hatt et al., 2009). Dans ce type de système, les eaux percolent à travers un substrat filtrant végétalisé avant d'être drainées ou exfiltrées dans le sol naturel sous-jacent. Le flux polluant est réduit à travers un abatement du volume d'eau en sortie d'ouvrage combiné à une amélioration de sa qualité grâce aux processus dépolluants ayant lieu dans le substrat filtrant, tels que la filtration physique, la sorption et la biodégradation (Davis et al., 2009).

La capacité de ce type de système à réduire les concentrations et les flux de macropolluants, tels que les matières en suspension et les nutriments, est avérée (Davis, 2007; B. E. Hatt et al., 2009; Liu et al., 2014). Cependant, le comportement des micropolluants dans ces systèmes reste relativement peu documenté. De plus, relativement peu d'études distinguent les phases dissoutes et particulaires de polluants, ce qui est essentielle afin de comprendre les processus de rétention en jeu (LeFevre et al., 2014).

Dans ce contexte, ce travail s'attache à évaluer la performance épuratoire de la biofiltration vis-à-vis d'une gamme diversifiée de micropolluants, en distinguant les phases dissoutes et particulaires, à travers le suivi *in*

*situ* de deux ouvrages traitant les eaux de ruissellement de voirie. Un deuxième volet du travail vise à émettre et à évaluer des hypothèses par rapport aux processus de rétention responsables pour les performances observés.

## MATERIEL ET METHODE / METHODOLOGIE

**Site d'étude.** Le site d'étude comprend deux ouvrages de biofiltration, un accotement filtrant (aménagé en Septembre 2012) et une noue filtrante (aménagée en Mars 2016), traitant les eaux de ruissellement issues d'une route départementale avec un trafic journalier de 11.000 véhicules/directions (la RD 212 à Compans, 77). Après percolation à travers un matériau filtrant (mélange de 40% volumique de terre végétale et 60% de sable calcaire), l'eau est collectée à l'aide d'un drain situé respectivement à une profondeur de 15 et 50 cm (Figure 1). Du fait de la difficulté technique à échantillonner directement le ruissellement diffus qui alimente ces systèmes, la qualité de l'eau drainée est comparée à celle du ruissellement brut collecté au niveau d'un bassin versant de référence sur la même route.

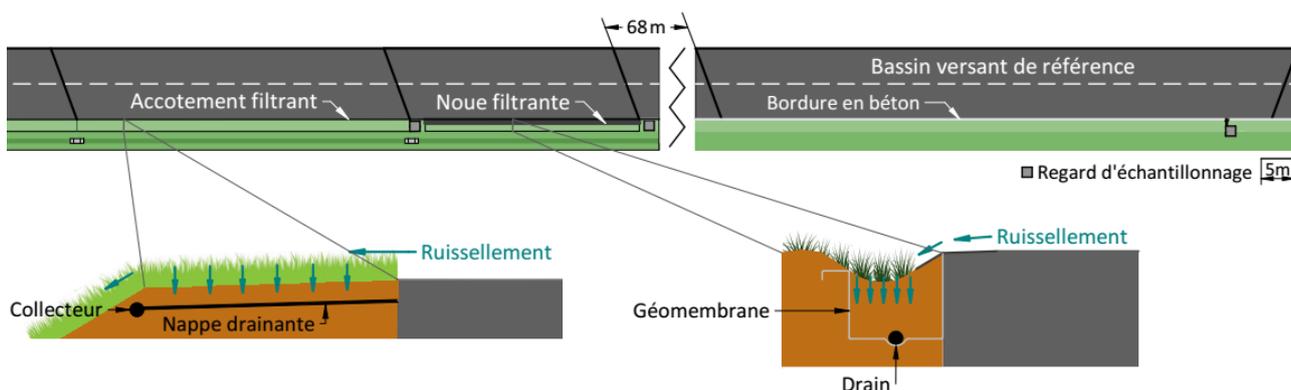


Figure 1. Le site d'étude à Compans

**Méthodes d'échantillonnage et d'analyse de l'eau.** Des échantillons moyens événementiels ont été collectés au cours de 19 événements pluvieux entre Février 2016 et Juillet 2017. L'objectif était d'échantillonner simultanément l'eau à tous les points. Cependant, du fait de difficultés techniques et d'un démarrage plus tardif de l'échantillonnage de la noue filtrante (en Mai 2016), seulement 14, 18 et 15 échantillons ont été collectés respectivement du bassin versant de référence, de l'accotement filtrant, et de la noue filtrante. Ces échantillons étaient collectés immédiatement après la fin du ruissellement, puis filtrés ou envoyés aux laboratoires partenaires pour filtration le jour même.

Les paramètres suivants ont été analysés dans chacun des échantillons : pH, conductivité, turbidité, matières en suspension (MES), carbone organique (CO), nutriments, 8 éléments traces métalliques (ETM), 12 éléments majeurs, les hydrocarbures totaux (HT), 19 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), le bisphénol-A (BPA), 7 alkylphénols (AP), et 5 phtalates (PAE). Le CO, les ETM, les éléments majeurs, les HT, les HAP, le BPA, les AP et les PAE ont tous été analysés dans la phase dissoute et la phase particulaire.

**Méthodes d'exploitation de données.** L'efficacité de traitement est évaluée en termes d'abattement de concentration ( $E_c = \left(1 - \frac{C_{\text{drain}}}{C_{\text{RR}}}\right)$ ) et par comparaison des concentrations observées à une valeur de référence (issue des normes de qualité environnementale (NQE) européenne ou française).

## RESULTATS ET DISCUSSION

La comparaison de la qualité du ruissellement brut aux eaux traitées par l'accotement filtrant et par la noue filtrante démontre la capacité de ces ouvrages de biofiltration à retenir la pollution particulaire (Flanagan et al., 2018). Les réductions médianes des concentrations ( $E_{C50}$ ) en MES sont respectivement de 92 et de 94% pour l'accotement filtration et la noue filtrante (Tableau 1). Cette performance est parmi les mieux observées pour ce type d'ouvrage, probablement du fait de concentrations élevées de MES (médiane 291 mg/L) dans les eaux de ruissellement brutes sur ce site. Du fait de la bonne rétention des particules et de la nature majoritairement particulaire de la pollution à Compans, les concentrations totales sont généralement bien réduites à la sortie des ouvrages pour les ETM ( $E_{C50}$  : >66-93 et 47-89%), les HAP (molécules avec 2-3 cycles aromatiques :  $E_{C50}$  : 47-93 et 21-92% ; molécules avec plus de 3 cycles : 83-95 et >82-94%). Le BPA, les AP et les PAE sont mieux retenus ( $E_{C50}$  : respectivement 86, 32-93 et 23-83%) par l'accotement filtrant que par la noue filtrante

( $E_{C50}$  : 57, -49-76 et 8-74%). Pour les alkylphénols et les phtalates, on observe généralement l'efficacité de traitement la plus faible pour les composés les plus présents dans la phase dissoute.

La variabilité inter-événementielle de l'efficacité de traitement ( $E_C$ ) est plus variable pour les concentrations totales dans la noue filtrante que pour l'accotement filtrant, avec des augmentations de concentrations observées pour certains polluants (HAP légers, phtalates, alkylphénols) immédiatement après sa mise en œuvre, probablement du fait d'émissions depuis les matériaux de construction (Flanagan, 2018).

Paramètre	Accotement filtrant			Noue filtrante		
	$f_{<ref}$ (%)	$E_{C,T}$ (%)	$E_{C,D}$ (%)	$f_{<ref}$ (%)	$E_{C,T}$ (%)	$E_{C,D}$ (%)
MES*	83	94 (82, 98)	-	80	92 (11, 95)	-
Cu <sup>ΔΔ</sup>	0	77 (64, 92)	-8 (-206, 42)	0	76 (19, 93)	21 (-7, 46)
Pb <sup>°°</sup>	87	93 (81, 97)	-22 (-193, 61)	100	89 (12, 97)	12 (-155, 63)
Zn <sup>ΔΔ</sup>	7	90 (82, 96)	35 (-94, 51)	23	89 (25, 98)	57 (-74, 76)
Σ <sub>16</sub> HAP	-	91 (81, 95)	-	-	91 (81, 95)	-
Naphtalène <sup>°</sup>	100	74 (>37, 91)	19 (4, 33)	100	>77(-1912,87)	-20 (-4120, 33)
Anthracène <sup>°</sup>	100	88 (59, 92)	-	92	86 (38, 91)	-
Fluoranthène <sup>°</sup>	0	95 (86, 97)	>33 (>23,48)	0	94 (48, 97)	>21 (-292,>47)
Benzo[a]pyrène <sup>°</sup>	0	90 (82, 93)	-	0	90 (46, 95)	-
Octylphénol <sup>°</sup>	80	93 (51, 97)	74 (23, 94)	67	76 (-109, 94)	59 (-81, 83)
Nonylphénol <sup>°</sup>	27	65 (14, 92)	56 (-219, 72)	25	56 (-219, 72)	4 (-113, 40)
DEHP <sup>°</sup>	0	69 (-191, 79)	8 (-132, 36)	0	8 (-132, 36)	-202 (-754, 62)

Tableau 1 : Présentation partielle des indicateurs de la performance épuratoire de l'accotement filtrant et de la noue filtrante.

$f_{<ref}$  est la fréquence de non-dépassement de la valeur de référence en sortie de l'ouvrage,  $E_{C,T}$  et  $E_{C,D}$  sont l'abattement de concentration en termes, respectivement, de concentrations totales et de concentrations dissoutes. Les valeurs indiquées correspondent à : médiane (min, max). Les valeurs de référence correspondent \* à une limite supérieure définissant le bon état d'une eau de surface en termes de concentration totale ( $C_T$ ), <sup>ΔΔ</sup> à une norme de qualité environnementale en moyenne annuelle (NQE-MA) française, applicable à la  $C_D$ , <sup>°</sup> à une NQE-MA applicable à la  $C_T$ , <sup>°°</sup> à une NQE-MA applicable à la  $C_D$  (MEEM, 2016). – indique que le contaminant n'a jamais été quantifié dans la phase dissoute.

Dans les deux ouvrages, une rétention dégradée de particules a été observée pendant trois événements hivernaux (Figure 2a). Cette période correspond ainsi aux pires  $E_C$  pour les polluants fortement particulaires (le Pb, le Zn, le Cu, les HAP lourds) bien retenus dans le reste du suivi (voir l'exemple de Zn en Figure 2b). Une analyse du caractère des particules pendant cette période montre que ce mauvais comportement est dû à une mauvaise efficacité de filtration physique des particules issues du ruissellement du fait d'une taille plus faible de particules. La diminution de la taille de particules en hiver a également été constaté dans d'autres études (Hilliges et al., 2017; Monrabal-Martinez et al., 2016) ; cependant, le mécanisme menant à ce phénomène n'est pas établi. Une hypothèse serait la stabilisation de particules colloïdales due à la présence des ions  $Na^+$  ; une autre serait une différence dans la taille des particules formées par la circulation d'automobiles du fait de différences des propriétés des matériaux à basse température ou à l'utilisation de matériaux différents (e.g. pneus de neige) pendant la période hivernale.

La rétention est nettement moins efficace pour la phase dissoute des polluants étudiés que pour les concentrations totales. En fait, pour un grand nombre de polluants (des ETM, des phtalates, des HAP légers et des alkylphénols) les concentrations dissoutes en sortie d'ouvrage sont fréquemment plus élevées que celles en entrée. Même parmi les polluants dont les concentrations dissoutes en sortie sont améliorées par rapport à celles dans les eaux de voirie, les  $E_C$  sont généralement plus faibles que celles observées pour les concentrations totales. Les  $E_{C50}$  maximales sont respectivement 35 et 57% pour les ETM dans l'accotement filtrant et la noue filtrante, >47 et >44% pour les HAP, 79 et 43% pour le BPA, 74 et 59% pour les alkylphénols et 8 et 21% pour les phtalates.

Les concentrations dissoutes en sortie d'ouvrage sont plus variables relative à ceux d'entrée que les concentrations totales. Cela a pour résultat une variabilité inter-événementielle de l'efficacité plus importante que ceux observés pour les concentrations totales. Là encore, pour certains polluants, les pires performances observées dans la noue filtrante ont lieu dans la période suivant immédiatement sa mise en place.

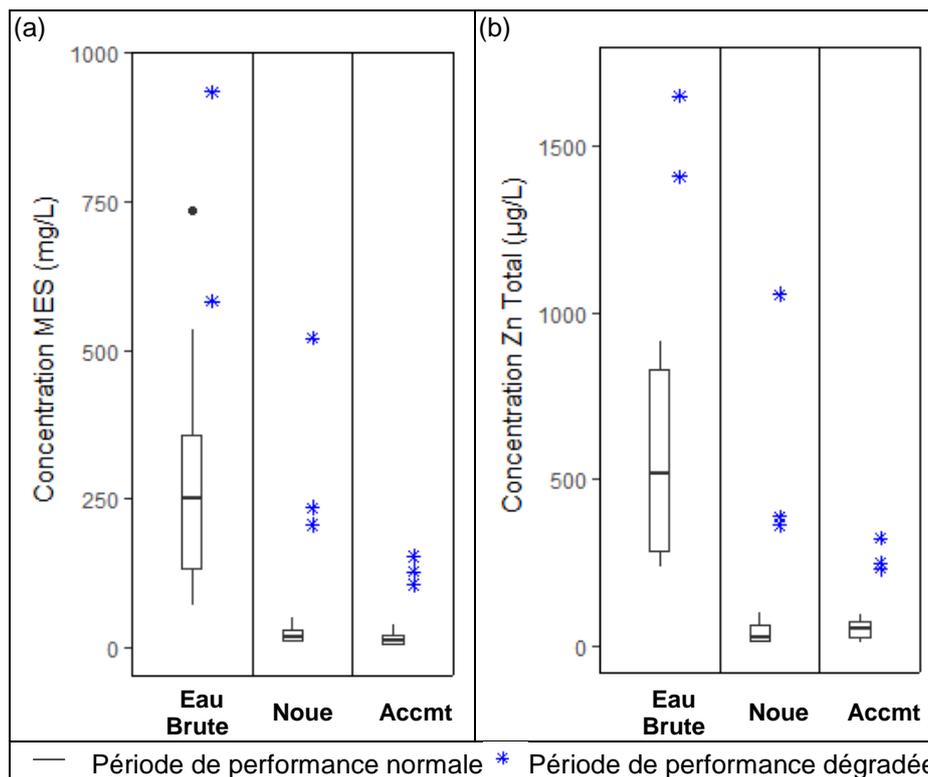


Figure 2: Comparaison des concentrations observées pendant la performance normal (boîtes-à-moustaches) et pendant la performance dégradée (étoiles bleus) pour (a) les matières en suspension et (b) le Zn total.

Parmi les sept ETM suivis ayant une norme de qualité environnementale (NQE) européenne ou française, le Cd, le Cr, le Ni et le Pb sont généralement présentes à des niveaux inférieures à la norme en sortie d'ouvrage ; cependant, on note que ceci n'est pas une grande victoire puisque ces contaminants ne dépassent pas la NQE dans le ruissellement brut non plus. Les concentrations en As, en Cu et en Zn dépassent généralement la NQE en sortie d'ouvrage ; le dépassement de la NQE pour As est même plus fréquent en sortie d'ouvrage qu'en entrée. On note ainsi que les ouvrages de biofiltration étudiés, dont la performance vis-à-vis de la fraction dissoute des ETM est faible, apportent peu de bénéfices en termes de la conformité réglementaire de la qualité de l'eau traitée par rapport à celle des eaux brutes pour ces éléments.

Les NQE des micropolluants organiques considérés dans la Directive Cadre sur l'Eau de l'Union Européenne portent sur les concentrations totales. Les HAP légers (naphtalène et anthracène) sont généralement inférieurs à la NQE en sortie d'ouvrage, alors que les HAP lourds (fluoranthène et benzo(a)pyrène) la dépassent systématiquement malgré une réduction importante de concentrations de ces composés. Alors que l'OP et le NP excèdent systématiquement la NQE dans le ruissellement brut, ils sont plus souvent inférieurs en sortie. Le DEHP dépasse toujours la NQE en entrée et en sortie d'ouvrage.

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ces travaux démontrent l'intérêt des systèmes de biofiltration pour la gestion du flux polluant associé aux eaux de voirie, surtout pour le traitement de polluants fortement particulaires, dont les abattements de concentration dépassent fréquemment 90%. Cependant, il met également en avant des problèmes de performance tels qu'une dégradation de l'efficacité de la filtration physique en hiver du fait de particules plus fines, une rétention généralement faible de la fraction dissoute de micropolluants et des émissions de certains micropolluants en début de vie de l'ouvrage depuis les matériaux de construction. Ces observations soulignent la nécessité de produire et diffuser un guide pour encadrer la conception et la maintenance de ces ouvrages.

Ils ouvrent également des perspectives de recherche. Il serait notamment intéressant d'approfondir la caractérisation des particules dans les eaux brutes afin de mieux comprendre les effets saisonniers sur la granulométrie et donc l'efficacité de rétention de celles-ci. Une meilleure compréhension de la spéciation chimique des ETM dissous dans les eaux de ruissellement permettrait à mieux comprendre les raisons de la faible efficacité de rétention de celles-ci. Enfin, il met en avant l'intérêt d'un observatoire pérenne d'un système de biofiltration, qui serait dédié au suivi sur le long terme, conçu à cet effet et comporterait une instrumentation

lourde. Un observatoire de ce type permettrait à mieux caractériser les effets saisonniers et de vieillissement associés à la performance des ouvrages de biofiltration.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été conduite dans le cadre de l'Observatoire de Polluants Urbains de la région Parisienne (OPUR) et le projet de recherche ROULEPUR. Les auteurs remercient vivement les partenaires d'OPUR (AESN, SIAAP, CD92, CD93, CD94, Ville de Paris), l'ONEMA et l'Agence de l'Eau Seine-Normandie pour leur soutien financier. Nous sommes également reconnaissants au Conseil Départemental de Seine-et-Marne, en particulier Éric Thomas et Tina Ratovelomanana, pour leur collaboration et leur soutien technique et à Tianran Dong, Delphine Truong, Thi Kim Phung Nguyen, Meriem Kajeiou et Maria Vitart de Abreu Lima pour leurs contributions aux campagnes d'échantillonnage.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Davis, A.P. (2007). Field Performance of Bioretention: Water Quality. *Environ. Eng. Sci.* 24, 1048–1064.
- Davis, A.P., Hunt, W.F., Traver, R.G., Clar, M. (2009). Bioretention technology: Overview of current practice and future needs. *J. Environ. Eng.* 135, 109–117.
- Flanagan, K. (2018). Evaluation de la rétention et du devenir d'un panel diversifié de micropolluants dans un ouvrage de biofiltration des eaux de ruissellement de voirie (Thèse de doctorat). *Université de Paris-Est*.
- Flanagan, K., Branchu, P., Boudahmane, L., Caupos, E., Demare, D., Deshayes, S., Dubois, P., Meffray, L., Partibane, C., Saad, M., Gromaire, M.-C. (2018). Field performance of two biofiltration systems treating micropollutants from road runoff. *Water Research*. 145, 562–578. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.08.064>
- EC (2013). Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the Council of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy.
- Hatt, B., Morison, P., Fletcher, T., Deletic, A. (2009). Stormwater Biofiltration Systems: Adoption Guidelines.
- Hatt, B.E., Fletcher, T.D., Deletic, A. (2009). Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale. *Journal of Hydrology*. 365, 310–321.
- Hilliges, R., Endres, M., Tiffert, A., Brenner, E., Marks, T. (2017). Characterization of road runoff with regard to seasonal variations, particle size distribution and the correlation of fine particles and pollutants. *Water Science and Technology*. 75, 1169–1176.
- Huber, M., Welker, A., Helmreich, B. (2016). Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurrence, influencing factors, and partitioning. *Science of the Total Environment*. 541, 895–919.
- Kayhanian, M., Fruchtman, B.D., Gulliver, J.S., Montanaro, C., Ranieri, E., Wuertz, S. (2012). Review of highway runoff characteristics: Comparative analysis and universal implications. *Water Research*. 46, 6609–6624.
- LeFevre, G., Paus, K.H., Natarajan, P., Gulliver, J.S., Novak, P.J., Hozalski, R.M. (2014). Review of Dissolved Pollutants in Urban Storm Water and Their Removal and Fate in Bioretention Cells. *Journal of Environmental Engineering*. 141.
- Liu, J., Sample, D., Bell, C., Guan, Y. (2014). Review and Research Needs of Bioretention Used for the Treatment of Urban Stormwater. *Water* 6, 1069–1099.
- Markiewicz, A., Björklund, K., Eriksson, E., Kalmykova, Y., Strömvall, A.-M., Siopi, A. (2017). Emissions of organic pollutants from traffic and roads: Priority pollutants selection and substance flow analysis. *Science of the Total Environment*. 580, 1162–1174.
- MEEM (2016) Guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau).
- Monrabal-Martinez, C., Muthanna, T.M., Meyn, T. (2016). Seasonal variation in pollutant concentrations and particle size distribution in urban stormwater - design implications for BMPs. *9th Novatech conference*.