

Évaluation *in situ* des teneurs en micropolluants d'un bassin de retenue-décantation des eaux pluviales. Eaux et sédiments

■ C. SÉBASTIAN¹, S. BARRAUD¹

Mots-clés : réseau séparatif pluvial, ouvrage de retenue, micropolluants, sédiments

Keywords: separate sewer system, stormwater detention basin, micropollutant, sediment

Introduction

Les bassins de retenue-décantation des eaux pluviales sont des ouvrages utilisés depuis des décennies dans la gestion des inondations en milieu urbain. L'intérêt porté aux effets des micropolluants sur les milieux récepteurs – directive cadre sur l'eau (DCE), plan national micropolluants... – a conduit à étudier ces bassins pour évaluer leur potentiel rôle dans le piégeage des micropolluants. C'est dans cette perspective qu'a été lancé le projet ANR (Agence nationale de recherche) INOGEV (Innovation pour une gestion durable de l'eau en ville) sur la période 2010-2013, dont une partie était consacrée à l'étude d'un ouvrage de rétention en service et instrumenté.

Cet article complète une étude publiée précédemment [SÉBASTIAN et BARRAUD, 2014] qui présentait alors les premiers résultats du projet. À présent, l'ensemble des résultats ayant été obtenus, une étude plus détaillée est présentée. Cet article s'articule autour de deux parties :

- la comparaison des concentrations en micropolluants entre l'entrée et la sortie d'un bassin au cours de 11 événements pluvieux ;
- l'étude de l'évolution des teneurs en micropolluants dans les sédiments accumulés entre trois campagnes et quatre points échantillonnés.

1. Matériels et méthodes

1.1. Présentation du site

Le bassin de retenue-décantation des eaux pluviales Django-Reinhardt est situé à Chassieu, en périphérie lyonnaise, à l'exutoire d'un bassin versant industriel. Les eaux pluviales du bassin versant sont dirigées vers le bassin par un réseau séparatif acceptant toutefois des eaux de refroidissement industriel s'écoulant dans une cunette par temps sec. Le bassin de retenue est bétonné, étanche et à ciel ouvert et dispose d'un volume de stockage de 32 200 m³. Il est instrumenté par l'Observatoire de terrain en hydrologie urbaine (OTHU) depuis 2002. Il bénéficie ainsi de moyens météorologiques efficaces en entrée et en sortie permettant, d'une part, de mesurer en continu différents paramètres (débit, turbidité, pH, conductivité, température) et, d'autre part, de constituer des échantillons proportionnels au débit (préleveurs automatiques réfrigérés). Un muret a été construit en 2004 afin de compartimenter l'ouvrage et de favoriser la décantation. Une couche de sédiments s'est accumulée sur toute la surface du bassin depuis le dernier curage en 2006. Un bassin d'infiltration est situé à l'aval immédiat du bassin de retenue-décantation. Il ne fait pas l'objet de l'étude présentée. Un schéma du bassin de retenue-décantation est donné à la *figure 1*. Le lecteur trouvera une présentation plus détaillée du site expérimental à la référence SÉBASTIAN [2013].

¹ INSA de Lyon – DEEP, EA 7429 – 34, avenue des Arts – 69621 Villeurbanne cedex. Courriels : christel.sebastian@free.fr et sylvie.barraud@insa-lyon.fr

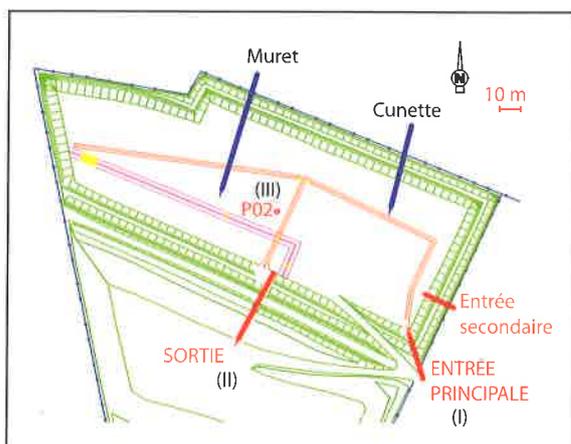


Figure 1. Schéma du bassin de retenue-décantation Django-Reinhardt

1.2. Micropolluants étudiés, campagnes de mesures

Les polluants étudiés ici proviennent, d'une part, de la liste créée dans le cadre du projet ANR INOGEV et décrite par GASPARI et coll. [2017] et, d'autre part, de listes antérieures issues de la DCE de 2000 [EC 2000, 2000]. Les 77 polluants choisis sont répartis en quatre familles : 14 éléments traces métalliques (ETM), 16 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), 45 pesticides et deux alkylphénols. Ils sont présentés en détail en annexe 1, ainsi que leurs abréviations qui seront utilisées dans la suite du texte. Les phases dissoutes et particulaires des polluants ont été analysées séparément (excepté pour les métaux où les phases dissoute et totale ont été recherchées directement).

Les méthodes analytiques sont décrites dans SÉBASTIAN et coll. [2015].

1.2.1. Rejets urbains par temps de pluie (RUTP)

Les rejets en entrée et en sortie du bassin ont été étudiés au cours de 11 événements pluvieux. Les caractéristiques des campagnes sont présentées dans le tableau I. Pour quantifier le niveau de contamination, nous avons opté pour des concentrations moyennes événementielles (CME) obtenues à partir d'un échantillonnage proportionnel au débit. Les CME sont particulièrement adaptées pour les comparaisons des entrées et des sorties [BERTRAND-KRAJEWSKI *et al.*, 2000].

Par ailleurs, étant donné les contraintes d'échantillonnage liées au nombre de polluants étudiés et par conséquent au volume à prélever, il n'a pas été possible d'étudier l'ensemble des polluants par événement. Le tableau II présente le nombre de campagnes pour chaque famille de polluants ainsi que l'occurrence de quantification. Par la suite, nous nous sommes intéressés uniquement aux polluants quantifiés au moins une fois.

Le détail des procédures d'échantillonnage, les méthodes analytiques ainsi que les limites de détection et de quantification ont été explicités par SÉBASTIAN [2013].

1.2.2. Sédiments accumulés

Les sédiments accumulés ont été échantillonnés sur toute la profondeur au cours de trois campagnes au point P02 (figure 2) qui est celui où l'accumulation

	Date début pluie	Dp (h)	Ht (mm)	DTS (j)	Im (mm/h)	Imax ₅ (mm/h)
A	07/07/2011 18:33	4,4	15,4	1,2	3,5	68,5
B	19/10/2011 05:59	6,1	9,6	9,1	1,6	7,6
C	07/12/2011 00:35	30,3	5,3	0,4	0,2	2,2
D	04/01/2012 04:40	3,1	2,4	0,9	0,8	7,9
E	18/03/2012 04:26	11,8	11,5	0,7	1,0	4,7
F	03/04/2012 16:14	17,6	16,5	0,9	0,9	6,4
G	10/04/2012 18:39	4,7	7,6	0,2	1,6	6,2
H	20/05/2012 14:23	25,0	25,7	0,9	1,0	26,2
I	03/06/2012 05:42	14,7	24,2	0,4	1,6	17,4
J	01/07/2012 04:32	31,6	50,0	1,8	1,6	22,7
K	11/09/2012 16:25	19,0	18,5	9,8	1,0	19,0

Dp : durée de la pluie ; Ht : hauteur totale précipitée ; DTS : durée de temps sec précédant l'événement pluvieux ; Im : intensité moyenne sur la durée de l'événement ; Imax₅ : intensité maximale au pas de temps de 5 minutes.

Tableau I. Caractéristiques pluviométriques des campagnes sur les rejets urbains par temps de pluie (RUTP) en entrée/sortie

Substances*	ETM 1	ETM 2	HAP	Alkylphénols	Pesticides 1	Pesticides 2
Nombre de campagnes	7	4	6	5	6	3
Nombre de substances quantifiées**/Nombre de substances recherchées	5/5	9/9	15/16	2/2	2/7	9/38

*La liste des substances par famille (ETM 1, ETM 2, HAP, alkylphénols, pesticides 1, pesticides 2) est donnée à l'annexe 1;

**Au moins une fois, en entrée ou en sortie.

Tableau II. Occurrence des micropolluants dans les rejets urbains par temps de pluie (RUTP) en entrée et en sortie du bassin de retenue-décantation

est la plus importante en matière d'épaisseur (18 cm après 6 ans de fonctionnement). L'ensemble des points P02, P04, P05 et P07 n'a été échantillonné que sur une unique campagne (notée IX). Les caractéristiques des événements pluvieux précédant directement l'échantillonnage des sédiments sont présentées dans *tableau III*.

Trente polluants ont été étudiés dans les sédiments accumulés. Le *tableau IV* présente les niveaux d'occurrence de quantification pour chaque famille de polluants. Toutes les teneurs présentées le sont en concentrations de matières sèches (MS). Le détail des procédures d'échantillonnage, les méthodes analytiques sur sédiments ainsi que les limites de détection et de quantification ont été décrits par SÉBASTIAN [2013].

1.2.3. Méthodologie d'interprétation des résultats

Il a été choisi de s'intéresser aux CME en micropolluants et non directement aux valeurs d'efficacité.

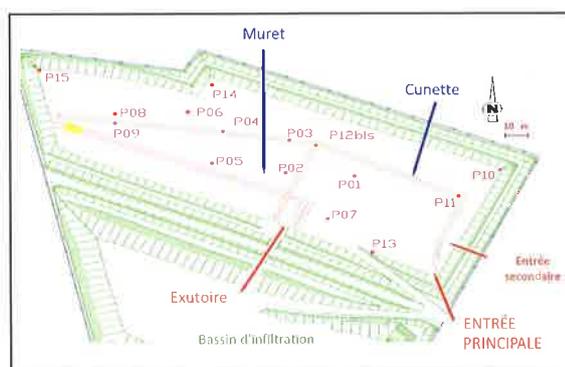


Figure 2. Points d'échantillonnage des sédiments accumulés dans le bassin

Les calculs d'efficacité (avec les incertitudes liées) et des flux massiques sont néanmoins présentés par SÉBASTIAN et BARRAUD [2014] et de manière complète dans SÉBASTIAN et coll. [2015].

Pour interpréter très qualitativement les niveaux de concentrations en polluants dans les eaux, les résultats

Date campagne	DTS camp	Date début dernière pluie	Dp (h)	Ht (mm)	DTS pluie (j)	Im (mm/h)	Imax ₅ (mm/h)
VII 14/06/2011	17 h	13/06/2011 17:05	0,2	0,2	5,3	0,9	1,3
IX 14/03/2012	6 j 12 h	07/03/2012 21:35	9,6	6,5	1,9	0,7	4,0
X 09/07/2012	1 j 9 h	08/07/2012 01:16	3,7	7,9	2,0	2,1	37,2

DTS camp : durée de temps sec précédant la campagne ; Dp : durée de la pluie ; Ht : hauteur totale précipitée ; DTS pluie : durée de temps sec précédant la dernière pluie ; Im : intensité moyenne sur la durée de l'événement ; Imax₅ : intensité maximale au pas de temps de 5 minutes.

Tableau III. Caractéristiques pluviométriques des événements précédant les campagnes d'échantillonnage des sédiments accumulés

Substances	ETM 1	HAP	Alkylphénols	Pesticides 1
Nombre de campagnes	3	3	3	3
Nombre de substances quantifiées*/Nombre de substances recherchées	5/5	15/16	2/2	3/7

*Au moins une fois.

Tableau IV. Occurrence des micropolluants dans les sédiments accumulés dans le bassin de retenue-décantation (point P02)

obtenus dans cet article sont comparés aux normes de qualité environnementales (NQE) dans les eaux de surface intérieures (par exemple, eaux de rivières ou de lacs) décrites dans la DCE et ses directives filles. Il faut noter que ces normes n'ont pour les CME présentées ici aucune validité réglementaire puisque les concentrations des NQE concernent la qualité, non pas des rejets, mais des masses d'eaux réceptrices.

Pour les concentrations en polluants dans les sédiments, les résultats obtenus dans cet article sont comparés aux normes hollandaises pour la remédiation des sols [NMHSPE, 2000] ou aux limites données dans la norme canadienne de qualité des sols [FOUCHÉCOURT *et al.*, 2005], vu que les références françaises sont plus complexes et davantage basées sur l'évaluation des risques. Cette comparaison permet d'évaluer plus facilement le niveau de pollution.

2. Résultats et discussion

2.1. Concentrations en polluants : données et comparaison entrée-sortie

2.1.1. Éléments traces métalliques

Les concentrations totales en ETM obtenues en entrée sont proches des valeurs de la littérature [BECOUBE-LAREURE, 2010; LAMPREA et RUBAN, 2011; PERCOT, 2012], plus particulièrement à l'exutoire de bassins versants industriels pour les métaux traditionnellement étudiés (Cd, Cu, Zn, Ni, Pb) [BECOUBE-LAREURE, 2010; PITT, 2004]. Compte tenu de la variabilité des concentrations pour un même site, celles-ci ne sont pas plus élevées que les concentrations d'eau de ruissellement urbain [GASPERI *et al.*, 2017]. Les concentrations en cadmium et en plomb sont légèrement supérieures aux normes à respecter dans les milieux récepteurs (*tableau V*). De manière générale, une diminution de la CME médiane est observée entre l'entrée et la sortie, quel que soit l'élément trace métallique étudié. Il est toutefois noté, comme déjà évoqué, une variabilité événementielle assez forte en entrée et en sortie, notamment pour le cadmium ou encore le nickel (*figure 3*). L'étude du molybdène, du strontium, du vanadium ou encore du baryum apporte des informations nouvelles sur le comportement de ces ETM dans un bassin de rétention (*tableau V*), à savoir une diminution marquée de la concentration en baryum

ou en strontium entre l'entrée et la sortie et une plus faible réduction pour le molybdène et le vanadium.

2.1.2. Hydrocarbures aromatiques polycycliques

En entrée du bassin de retenue, la somme des HAP légers est supérieure à la somme des HAP lourds (respectivement 540 ng/L et 174 ng/L en médiane), témoignant d'une origine plutôt majoritairement pétrogénique. Les concentrations médianes en entrée (*tableau VI*) sont assez faibles devant les données de la littérature obtenues à l'exutoire de bassins versants résidentiels [GASPERI *et al.*, 2017] surtout pour les HAP les plus lourds, ce qui est assez surprenant étant donné la nature du bassin versant étudié et les activités logistiques associées. Des concentrations plus élevées ont également été mesurées par BECOUBE-LAREURE [2010] sur le même site (anthracène (A) : 626 ng/L; fluoranthène (Flh) : 273 ng/L; benzo(b)fluoranthène (BbF) : 124 ng/L; benzo(k)fluoranthène (BkF) : 116 ng/L), ce qui supposerait soit une évolution des apports des RUTP à l'exutoire du bassin versant ou, plus probablement, une diversité des événements ayant apporté de plus faibles quantités. En sortie de l'ouvrage, les concentrations obtenues sont plus faibles que les valeurs de NQE pour les HAP légers (*tableau VI*). Les concentrations totales en HAP lourds sont en revanche plus élevées que les valeurs des NQE. Une diminution globale de la concentration en HAP a été très nettement relevée entre l'entrée et la sortie du bassin de rétention au cours des six événements étudiés (*figure 4*). La variabilité interévénementielle est encore une fois marquée pour la majorité des HAP, surtout en entrée de l'ouvrage (par exemple, coefficient de variation de 107 % pour le benzo(a)pyrène (BaP)).

La diminution générale des concentrations en métaux et en HAP entre l'entrée et la sortie du bassin est à associer au caractère fortement hydrophobe de la majorité de ces polluants et à leur capacité à décanter, ce que nous avons pu vérifier en analysant les phases dissoute et particulaire [SÉBASTIAN, 2013].

2.1.3. Alkylphénols

Les alkylphénols étudiés sont dans la gamme des concentrations de la littérature [ZGHEIB *et al.*, 2012]. Les concentrations totales en 4-*tert*-octylphénol (4-OP) obtenues en sortie du bassin de retenue sont inférieures aux NQE (100 ng/L) alors que les concen-

trations en 4-nonylphénol (4-NP), bien que présentant une variabilité interévénementielle importante, sont supérieures à la NQE moyenne annuelle (300 ng/L) (tableau VI). Les concentrations moyennes événementielles en 4-OP et 4-NP au cours des cinq campagnes étudiées présentent des écarts relativement faibles entre l'entrée et la sortie (figure 5) si l'on considère les incertitudes analytiques (estimées à 36 %). Aussi, la compréhension du comportement de ces alkylphénols nécessite des investigations complémentaires *in situ*, mais également en conditions contrôlées afin de mieux évaluer les caractéristiques intrinsèques de ces micropolluants et notamment leur hydrophobicité.

2.1.4. Pesticides

24 % des pesticides recherchés ont été quantifiés en entrée ou en sortie. Le tableau VI présente les gammes de concentrations minimales et maximales ainsi que leur médiane. Le diuron (Di), l'isoproturon (Isop), le

glyphosate (Gly), l'acide aminométhylphosphonique (AMPA), le glufosinate (GIA) et le mécoprop (Mec) ont été trouvés en entrée du bassin. Le Di, interdit d'utilisation en usage seul depuis 2002, présente la plus grande concentration médiane (16 ng/L) (figure 5). La concentration médiane en AMPA (3 ng/L), qui est un produit de dégradation du Gly, est du même ordre de grandeur que les concentrations médianes en Gly et GIA, en considérant les incertitudes (valeurs médianes de 4 et 6 ng/L). De manière générale, les concentrations en pesticides sont faibles comparées aux valeurs de la littérature [LAMPREA et RUBAN, 2011 ; REVITT *et al.*, 2002]. Les concentrations médianes en Di et Isop, carben-dazime (Car), Gly, AMPA et GIA sont entre 2 et 100 fois plus élevées sur les sites de Pin Sec et Sucy étudiés en parallèle dans le cadre du projet INOGEV (GASPERI *et al.*, 2017). Ces différences peuvent être dues aux pratiques liées à l'utilisation de ces composés en tant qu'herbicides ou encore agents anti-

ETM	Entrée	Sortie	NQE*
As	0,8-2,9 [1,2]	0,4-1,2 [0,8]	–
Ba	37-1 133 [51]	16-31 [25]	–
Cd	0,2-1,3 [1,1]	0,1-1,3 [0,2]	–
Co	3-18 [4]	<-2 [1]	–
Cr	5-16 [11]	1-5 [3]	3,4
Cu	27-187 [42]	8-41 [22]	1,4
Mo	<-31 [7]	1-25 [6]	–

ETM	Entrée	Sortie	NQE*
Ni	5-17 [10]	2-15 [4]	4
Pb	10-70 [16]	3-16 [7]	1,2
Pt	<-0,1 [0,01]	<-0,01 [<]	–
Sr	46-107 [70]	30-55 [45]	–
Ti	18-90 [26]	4-16 [11]	–
V	3-7 [5]	2-4 [2]	–
Zn	201-1 200 [365]	58-1 054 [181]	7,8

*Arrêté du 25 janvier 2010 modifié, normes de qualité environnementale en moyenne annuelle, concentrations dissoutes, eaux de surfaces intérieures; < : inférieur à la limite de détection (LOD).

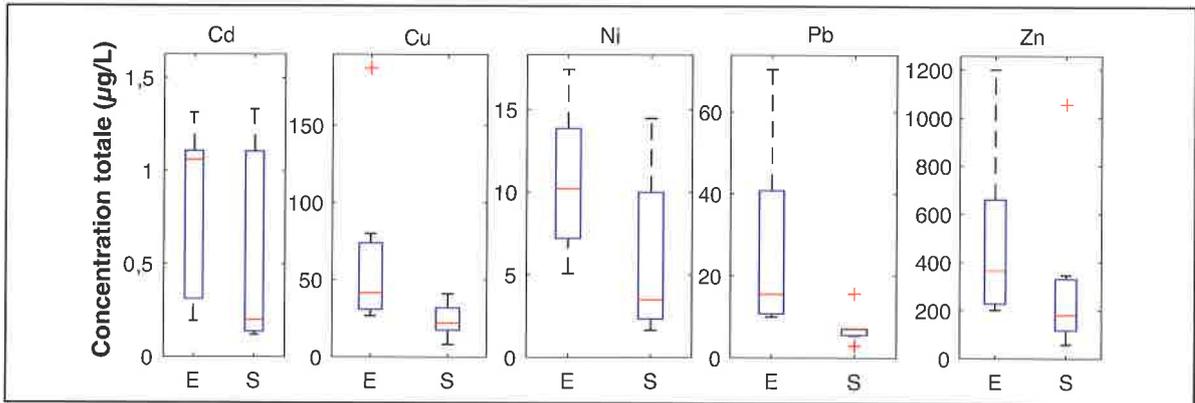
Tableau V. Concentration en ETM en µg/L (min-max [médiane])

MP	Entrée	Sortie	NQE*
Nap	96-1 229 [145]	84-1 375 [117]	2 000
Acy	<-8 [4]	<-4 [1]	–
Ace	12-34 [26]	8-29 [17]	–
Flu	18-50 [29]	19-41 [21]	–
Phe	64-184 [86]	37-92 [60]	–
A	4-25 [9]	<-13 [5]	100
Fih	64-235 [79]	22-114 [43]	6,3
Pyr	61-262 [76]	24-118 [45]	–
BaA	31-81 [48]	11-44 [23]	–
Chr	26-112 [38]	3-46 [16]	–
BaP	7-87 [15]	<-36 [8]	0,17
BbF	35-182 [53]	16-74 [29]	0,17
BkF	16-61 [25]	4-23 [13]	0,17
IP	<-60 [38]	<-33 [<]	0,17

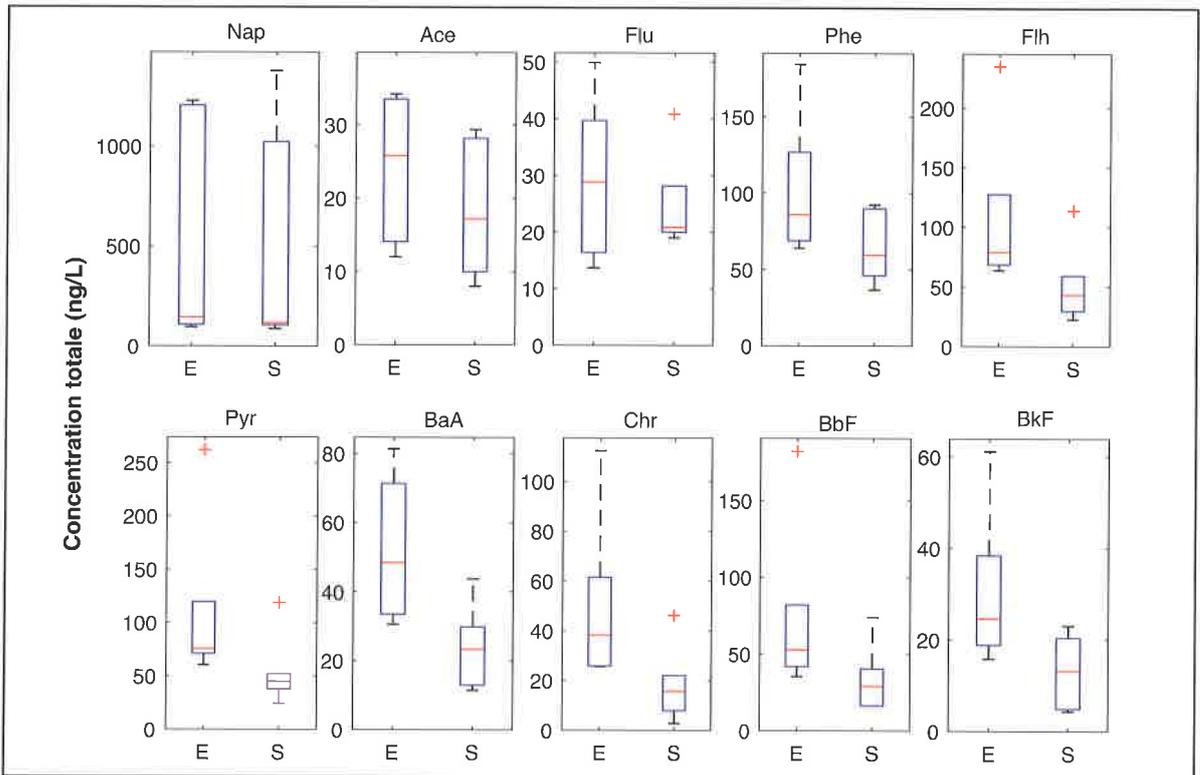
MP	Entrée	Sortie	NQE*
BPer	22-111 [43]	<-37 [<]	0,17
4-OP	30-55 [39]	28-41 [36]	100
4-NP	190-1 286 [553]	122-1 332 [469]	300
Atr	2-4 [2]	2-6 [2]	600
Sim	<-114 [3]	–	1 000
Chlor	<-3 [1]	<-3 [1]	30
Di	3-58 [16]	3-66 [34]	200
Isop	1-60 [5]	1-65 [8]	300
24M	<-5 [4]	<-2 [2]	100
Car	7-42 [30]	29-225 [43]	–
Gly	<-99 [4]	<-3 [2]	–
AMPA	<-75 [3]	<-76 [9]	–
GIA	<-83 [6]	<-3 [0]	–
Mec	<-0,3 [0]	<-0,1 [0]	–

*Arrêté du 25 janvier 2010 modifié, normes de qualité environnementale en moyenne annuelle, eaux de surfaces intérieures; < : inférieur à la limite de détection (LOD).

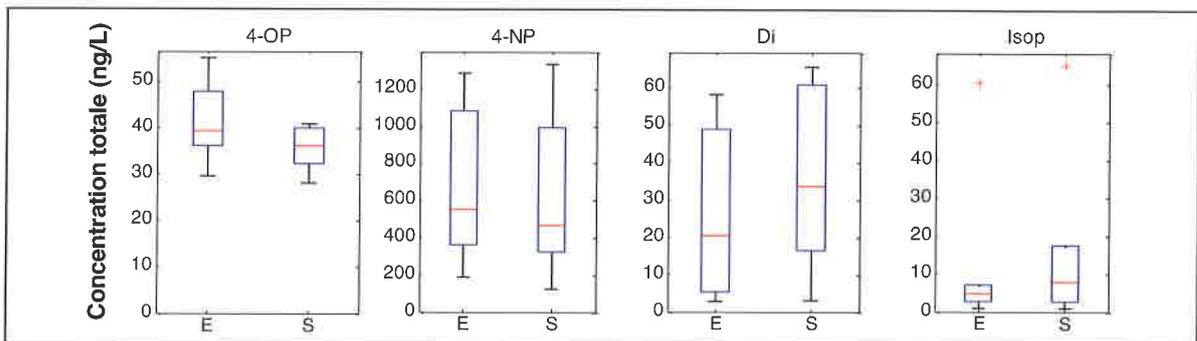
Tableau VI. Concentrations totales en HAP, pesticides et alkylphénols en ng/L (min-max [médiane]) comparées aux NQE



E : entrée; S : sortie. En rouge : médiane, en bleu : 1^{er} et 3^e quartiles, en noir : valeurs extrêmes observées.
Figure 3. Concentration en ETM (sept campagnes)



E : entrée; S : sortie. En rouge : médiane, en bleu : 1^{er} et 3^e quartiles, en noir : valeurs extrêmes observées.
Figure 4.. Concentration en HAP (six campagnes)



E : entrée; S : sortie. En rouge : médiane, en bleu : 1^{er} et 3^e quartiles, en noir : valeurs extrêmes observées.
Figure 5. Concentration en alkylphénols (cinq campagnes), diuron et isotopuron (six campagnes)

encrassement dans les peintures comme le Di ou Car (GASPERI *et al.*, 2014). Toutefois, aucune saisonnalité des rejets n'a été identifiée sur les trois sites. En sortie de l'ouvrage, il est observé que les concentrations totales en pesticides sont toujours inférieures aux NQE lorsqu'elles existent (tableau VI). Le Di et Isop étudiés sur six campagnes présentent des CME du même ordre entre l'entrée et la sortie du bassin (figure 5). Ces pesticides majoritairement dissous ne seraient donc pas retenus par l'ouvrage. D'autres pesticides comme le Mec ou chlorpyrifos (Chlor) ne semblent pas être influencés par le bassin non plus alors que la simazine (Sim) ou encore le GlA sont en concentration plus faible en sortie, observations faites sur trois campagnes.

2.2. Teneurs en polluants dans les sédiments accumulés

L'objectif de cette partie est de proposer une caractérisation des sédiments accumulés dans le bassin de retenue entre 2006 et 2012 en matière de micropolluants. En effet, la connaissance des caractéristiques des sédiments est nécessaire lors des opérations de curage afin de choisir les filières de traitement et prétraitement les plus adaptées et peu de travaux ont été menés sur leur contenu en micropolluants.

2.2.1. Éléments traces métalliques

Les cinq ETM principaux ont été étudiés au niveau du point P02 sur trois campagnes distinctes. Ils ont tous été détectés et quantifiés dans les sédiments accumulés comme ils l'étaient dans les apports

au bassin. Les teneurs sont élevées comparées aux données de la norme hollandaise pour le cuivre et le zinc qui sont au-dessus des seuils d'interventions fixés respectivement à 190 et 720 mg/kg MS [NMHSPE, 2000]. Elles le sont également en comparant les valeurs obtenues aux données de la littérature sur les bassins en eau (notamment pour le cadmium, le cuivre, le plomb et le zinc) [MARSALEK et MARSALEK, 1997]. En revanche, elles sont plus faibles que les teneurs obtenues sur un bassin sec, notamment pour le plomb (357 mg/kg MS) et le zinc (1 949 mg/kg MS) [PETAVY *et al.*, 2009]. D'après la figure 6, et en tenant compte des incertitudes globales (calculées à partir des incertitudes liées aux analyses chimiques, à la conservation des échantillons et au prélèvement), les teneurs sont plus élevées lors de la campagne IX. Cette campagne fait suite à un événement pluvieux important (6,5 mm sur 9,6 h), ce qui a pu contribuer à un apport important en ETM au niveau de ce point. Cet apport peut être lié directement au bassin versant (lessivage des chaussées, rejet industriel) ou à une remise en suspension et déplacement de sédiments au sein du bassin de retenue.

La variabilité spatiale a pu être étudiée sur l'ensemble des ETM recherchés sur les points P02, P04, P05 et P07. En tenant compte des incertitudes globales, il n'apparaît pas de différence notable entre les quatre points étudiés. Dans la littérature, la variabilité spatiale dépend des sites étudiés et semble liée à la granulométrie des sédiments [DURAND, 2003] et à l'hydrodynamique du bassin [YAN *et al.*, 2014].

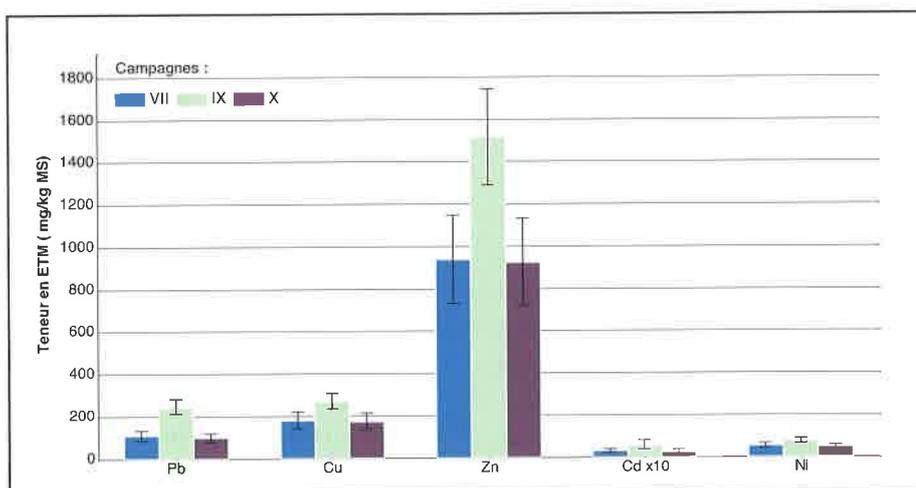


Figure 6. Teneur en matière sèche (MS) des ETM dans les sédiments accumulés au point P02 (en mg/kg MS)

2.2.2. Hydrocarbures aromatiques polycycliques

Le dibenzo(a,h)anthracène (DahA) n'a jamais été détecté dans les sédiments accumulés (comme dans les échantillons de RUTP). Les incertitudes globales élargies sont élevées pour certaines substances, essentiellement dues aux incertitudes analytiques évaluées par tests de répétabilité. Malgré ces valeurs importantes, il semblerait qu'il y ait des différences entre les campagnes (*figure 7*). Globalement la dernière campagne semble donner les teneurs en MS les plus fortes pour la plupart des HAP étudiés.

La valeur cible de la norme hollandaise pour la somme des 10 HAP² (1 000 µg/kg MS) a été dépassée sur la campagne X (1 020 µg/kg MS), mais la valeur d'intervention (40 000 µg/kg MS) n'a jamais été atteinte [NMHSPE, 2000].

Les teneurs en HAP obtenues lors de la campagne IX ont été comparées entre les quatre points P02, P04, P05 et P07. De manière générale, comme pour les ETM, aucune variabilité spatiale majeure n'a été observée entre ces points.

2.2.3. Alkylphénols

Les teneurs en 4-NP, si elles apparaissent élevées par rapport aux recommandations canadiennes [FOUCHÉCOURT *et al.*, 2005] sur les sédiments marins ou d'eau douce (1 000-1 400 µg/kg MS), sont comparables aux données obtenues sur des sédiments de fleuve (2 830 µg/kg MS) [MICIĆ et HOFMANN, 2009] de même que pour le 4-OP (35 µg/kg MS) [MICIĆ et HOFMANN, 2009]. Toutefois, il faut noter la variabilité intercampagne et spatiale obtenue dans la littérature [CLADIÈRE, 2012; MICIĆ et HOFMANN, 2009] et qui confirme le comportement complexe de cette famille de composés.

D'après la *figure 8* et compte tenu des incertitudes, il ne semble pas y avoir de variabilité temporelle pour le 4-OP contrairement au 4-NP qui présente une teneur très faible lors de la première campagne VII et beaucoup plus élevée pour les autres campagnes. Cette augmentation importante entre la campagne VII et IX peut s'expliquer par un apport important du bassin versant en ce point ou par des dégradations (chimiques, par exemple) qui ont pu avoir lieu antérieu-

rement à la première campagne par rapport aux suivantes.

L'étude des quatre points P02, P04, P05 et P07 ne montre pas de variabilité spatiale très marquée, excepté pour le 4-NP dont la teneur est plus faible au point P07 et plus forte en P02 (*figure 9*). Cela peut s'expliquer par le caractère hydrophobe de ce composé et la couche de sédiments stabilisée en P02. Notons qu'en P07, le stock de sédiments est toujours assez faible et la zone dans laquelle il se trouve est sujette à érosion [YAN *et al.*, 2014].

2.2.4. Pesticides

L'évolution temporelle des teneurs en diuron (Di), endosulfan alpha (Ena), aldrine (Ald), isodrine (Iso), chlorfenvinphos (Chlorf), isoproturon (Isop) et dieldrine (Die) a été étudiée sur le point P02 au cours des campagnes VII, IX et X. Parmi ces substances, seuls le Di, l'Isop et l'Ald ont été détectés sur une campagne au moins. Les teneurs obtenues sont rassemblées dans le *tableau VII*. L'Ald n'a jamais été trouvée en entrée mais détectée une fois en sortie. Elle a été quantifiée sur les sédiments une fois avec une valeur dépassant la valeur cible des normes hollandaises [NMHSPE, 2000]. Il est difficile d'interpréter de manière sûre de tels comportements. Il est possible de supposer la présence d'Ald dans les sédiments du bassin à l'image de la campagne IX qui aurait pu être relarguée au cours d'événements pluvieux suivants. Mais rien ne nous permet de l'affirmer, les mesures n'étant pas continues et l'Ald étant peu mobile par lixiviation. Comme elle a une forte tendance à être transformée au contact d'un sol en Die [BISSON *et al.*, 2011], la teneur élevée est peut-être liée tout simplement à un apport ponctuel récent. Il a été observé que les teneurs en Di sont très variables entre les trois campagnes sur le même point avec une teneur maximale lors de la campagne IX. Il n'existe pas de période spécifique d'application de ce composé qui peut être utilisé en tant qu'herbicide agricole (de mars à juin), herbicide urbain (avril à octobre) mais également en tant qu'agent anti-salissure dans les peintures. Peu de données sont disponibles dans la littérature sur la teneur en Di dans les sédiments de bassin de retenue-décantation. Toutefois, il est possible de comparer les teneurs obtenues (entre 1,25 et 90 µg/kg MS selon les

² A, BaA, BbF, BkF, BPer, Chr, Flh, IP, Nap, Phe.

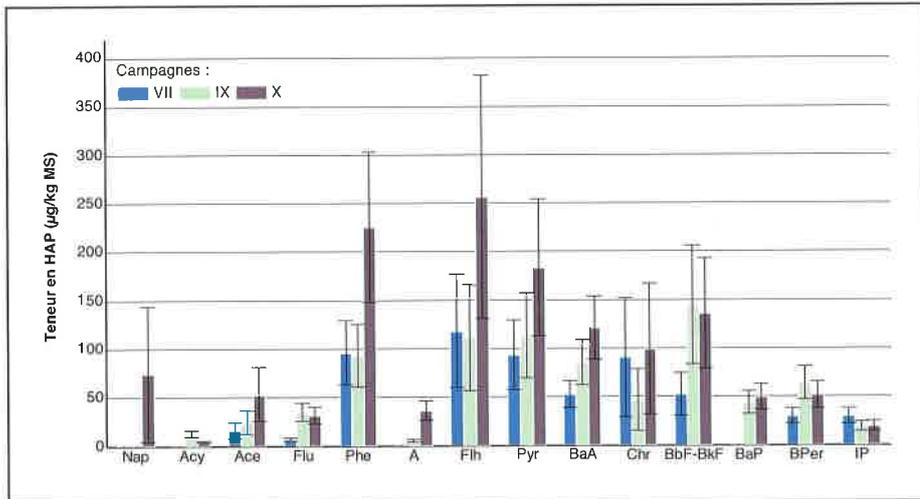


Figure 7. Teneur en matière sèche [MS] des HAP dans les sédiments accumulés au point P02 (en µg/kg MS)

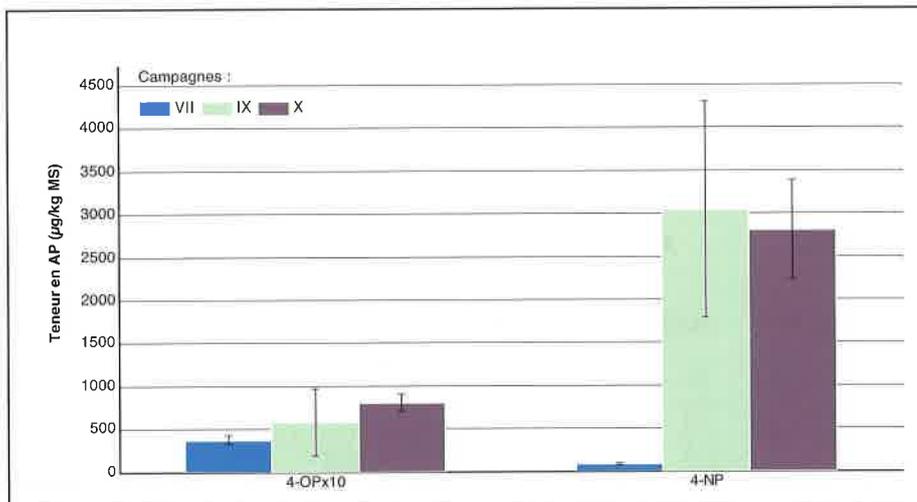


Figure 8. Teneur en matière sèche (MS) des alkylphénols dans les sédiments accumulés au point P02 (en µg/kg MS)

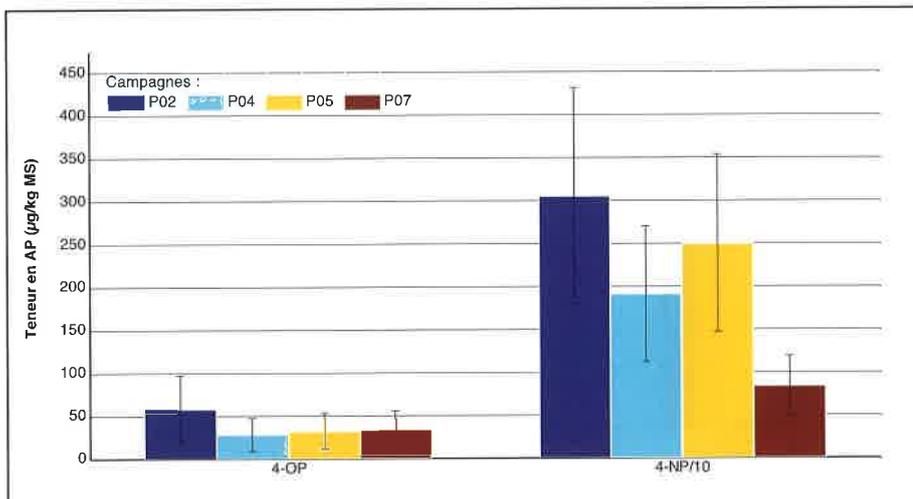


Figure 9. Teneur en matière sèche (MS) des alkylphénols aux points P02, P04, P05 et P07 – campagne IX

campagnes) aux valeurs estimées dans un bassin d'infiltration n'ayant aucun prétraitement mais recueillant des eaux d'un petit bassin versant de 2,5 ha actif [DATRY *et al.*, 2003] qui atteignaient 200 µg/kg MS. Il est également possible de les comparer à celles du bassin d'infiltration situé en aval de notre site d'étude (présentant des concentrations allant de 3 à 25 µg/kg – moyenne 9 µg/kg MS sur dix points observés au mois de mai [HERBRETEAU, 2008]) ou encore aux boues de station d'épuration (10 µg/kg MS) [CHOUBERT *et al.*, 2011].

Lors de la campagne IX, seul le Di et l'Isop ont été trouvés sur l'ensemble des quatre points (figure 10). Il a été remarqué que les teneurs en Di sont très élevées aux points P05 et P07 comparées aux points P02 et P04. Ces deux derniers points sont situés à proximité immédiate de la cunette de temps sec et sont donc les premiers points sollicités lors d'un événement pluvieux. Ces points sont également plus souvent

en eau. Le lessivage des sédiments est peut-être plus fréquent, entraînant des concentrations moindres de ces polluants plutôt solubles. Des écarts importants ont également été constatés pour l'Ald, essentiellement quantifiée au point P02 qui est le plus sollicitée. L'Ald reste peu mobile par lixiviation au contact des sédiments, contrairement au Di qui lui est mobile dans les sols [BRIGNON et GOUZI, 2007].

Le diflufénicanil (Dif), un herbicide, a été analysé lors de cette campagne. Il a été détecté aux points P02, P05 et P07 alors qu'il n'avait pas été détecté sur les échantillons de RUTP. Sa présence peut s'expliquer elle aussi par un apport ponctuel et par le potentiel d'adsorption de ce composé dans les sédiments qui est significatif, avec un coefficient d'adsorption K_{oc} de l'ordre de 1 989 L/kg selon INERIS [2006]. À noter que ce composé a déjà été trouvé dans les RUTP à l'exutoire d'un bassin versant, de type résidentiel, muni d'un réseau séparatif [GASPERI *et al.*, 2014].

Campagnes	VII	IX	X	NMHSPE, 2000	DURAND, 2003	GASPERI et al., 2009
Date	14/06/2011	14/03/2012	09/07/2012	Valeur cible	Bassin enherbé	Sédiments de fleuve
Di	2,25 ± 0,4	90 ± 24	1,25 ± 0,2	–	–	30
Isop	<	10 ± 3	<	–	–	–
Ald	<	570 ± 153	<	0,06	<	–

< : inférieur à la limite de détection (LOD).

Tableau VII. Teneurs en matière sèche (MS) des pesticides au point P02 (en µg/kg MS)

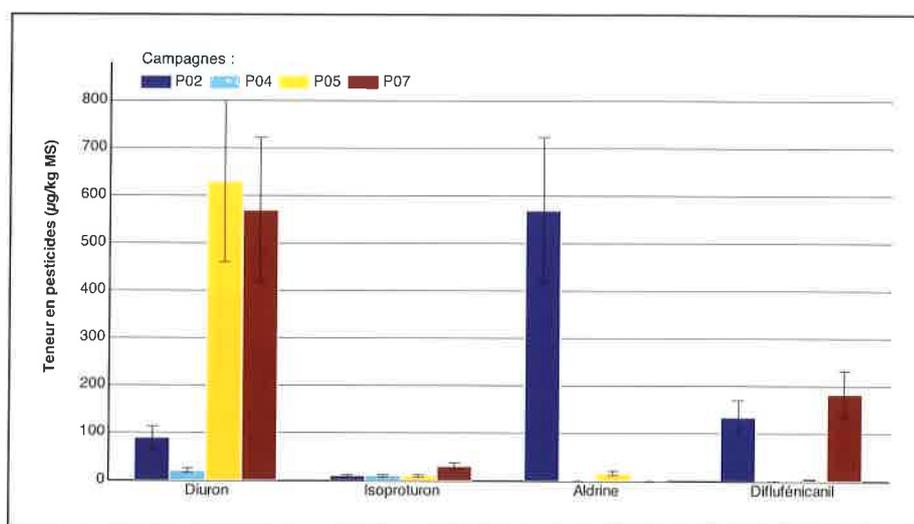


Figure 10. Comparaison des teneurs en matière sèche (MS) des pesticides aux points P02, P04, P05 et P07 - campagne IX

Conclusions

Le bassin de retenue-décantation Django-Reinhardt a fait l'objet d'un suivi de 77 micropolluants dans les RUTP au cours de 11 événements pluvieux et dans les sédiments accumulés au cours de trois campagnes. L'objectif de cette étude, au-delà de la mise en place d'une stratégie d'échantillonnage cohérente, était d'apporter des éléments nouveaux sur la compréhension du comportement des micropolluants dans ce type d'ouvrage.

Dans les RUTP, 55 % des micropolluants recherchés ont été quantifiés ou détectés et les pesticides ont été les moins détectés (24 %). La majorité des micropolluants détectés est listée dans la DCE ou les directives filles (HAP, alkylphénols, Di, Isop). Cependant, certains pesticides, non décrits dans la réglementation, ont également été détectés ou quantifiés (par exemple le Gly ou l'AMPA). De manière générale, les concentrations obtenues à l'exutoire du bassin versant sont assez comparables aux données référencées dans la bibliographie, avec une variabilité interévénementielle remarquable. Les concentrations en sortie ont été comparées aux NQE applicables aux milieux récepteurs (eaux de surface intérieures). Même s'il s'agit de données indicatives, il a été remarqué que certains HAP (lourds) ou alkylphénols (4-NP) étaient fortement concentrés en sortie avec des valeurs bien plus élevées que les NQE.

L'efficacité du bassin quant à la rétention des micropolluants a été vérifiée pour les polluants particuliers connus (ETM, HAP). En général, les alkylphénols et pesticides ne semblent pas être retenus. Des micropolluants se distinguent toutefois (comme l'AMPA) et nécessiteraient un suivi plus spécifique.

Les micropolluants quantifiés dans les sédiments accumulés sont similaires aux micropolluants trouvés dans les échantillons de RUTP en entrée et/ou en

sortie. De manière générale, peu de pesticides ont été détectés, ce qui est cohérent avec leur caractère faiblement particulaire. Les teneurs en ETM et en HAP sont assez élevées comparativement aux valeurs guides de même que le 4-NP. Une variabilité inter-campagne a été constatée pour la totalité des substances de manière plus ou moins marquée. Le point P02 a été largement échantillonné, car il présentait la couche de sédiments la plus élevée et est l'un des points les plus sollicités par les apports. Or il apparaît que les teneurs en micropolluants en ce point n'étaient pas systématiquement les plus importantes, ce qui suppose une dynamique complexe de contamination des polluants au sein du bassin. Malgré les incertitudes totales élevées, le point P02 semble toutefois le plus pollué en 4-NP et en Ald. Les variabilités liées aux alkylphénols et aux pesticides pourront s'expliquer par l'étude du transfert et/ou transformations complexes et peu explorés dans ce type de matrice jusqu'à maintenant. Les futurs résultats du projet ANR CABRRES (Caractérisation chimique, microbiologique, écotoxicologique, spatio-temporelle des contaminants des bassins de retenue des eaux pluviales urbaines) (2012-2017) permettront en particulier d'apporter des explications quant au comportement très complexe de ces micropolluants dans les sédiments d'ouvrage de rétention des eaux pluviales, et notamment d'expliquer la variabilité spatiale.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Observatoire de terrain en hydrologie urbaine (OTHU), le réseau Urbis, la direction de l'eau de la métropole de Lyon, ainsi que l'ensemble des laboratoires d'analyse (ISA – équipe Traces, Leesu, IFSTTAR, LMSPC). Cette étude s'appuie sur les projets ANR-INOGEV (2010-2013) et ZABR-Agence de l'eau RM&C BR-TOX (2010-2012).

Bibliographie

BECOUCHE-LAREURE C. (2010) : *Caractérisation et estimation des flux de substances prioritaires dans les rejets urbains par temps de pluie sur deux bassins versants* [thèse]. Lyon : INSA. 308 p.

BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G. (2000) : *Mesures en hydrologie urbaine et assainissement*. Paris : Technique et Documentation. 794 p.

BISSON M., GHILLBAERT F., GUILLARD D., LA ROCCA B., SCHNURIGER B., STRUB M.P. (2011) : *Aldrine – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques*. INERIS. France. 93 p.

BRIGNON J.-M., GOUZY A. (2007) : *Diuron – Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques*. INERIS. France. 35 p.

- CHOUBERT J.-M., MARTIN-RUEL S., BUDZINSKI H., MIÈGE C., ESPERANZA M., SOULIER C., *et al.* (2011) : « Évaluer les rendements des stations d'épuration ». *Techniques Sciences Méthodes* ; 1-2 : 44-62.
- CLADIÈRE M. (2012) : *Sources, transfert et devenir des alkylphénols et du bisphénol A dans le bassin amont de la Seine. Cas de l'Île-de-France* [thèse]. Paris-Est. 254 p.
- DATRY T., MALARD F., VITRY L., HERVANT F., GIBERT J. (2003) : Solute dynamics in the bed sediments of a stormwater infiltration basin. *Journal of Hydrology* ; 273 : 217-33.
- DURAND C. (2003) : *Caractérisation physico-chimique des produits de l'assainissement pluvial. Origines et devenir des métaux traces et des polluants organiques* [thèse]. Université de Poitiers. 268 p.
- EC 2000 (2000) : « Directive of the European Parliament and of the Council n°2000/60/EC establishing a framework for the community action in the field of water policy ». *JO-EU L 327*:1-72.
- FOUCHÉCOURT M.-O., BEAUSOLEIL M., LEFEBVRE L., VALCKE M., BELLES-ISLES J.-C., TRÉPANIER M. (2005) : *Validation des critères B et C de la politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Protection de la santé humaine*. Institut national de santé publique, Québec.
- GASPERI J., GARNAUD S., ROCHER V., MOILLERON R. (2009) : « Priority pollutants in surface waters and settleable particles within a densely urbanized area: case study of Paris (France) ». *The Science of the Total Environment* ; 407(8) : 2900-8.
- GASPERI J., SÉBASTIAN C., RUBAN V., DELAMAIN M., PERCOT S., WIEST L., *et al.* (2014) : « Micropollutants in urban stormwater: occurrence, concentrations and atmospheric contribution for a wide range of contaminants on three French catchments ». *Environmental Science and Pollution Research* ; 21 : 5267-81.
- GASPERI J., SÉBASTIAN C., RUBAN V., DELAMAIN M., PERCOT S., WIEST L., *et al.* (2017) : « Contamination des eaux pluviales par les micropolluants : avancées du projet INOGEV ». *Techniques Sciences Méthodes* ; 7-8 : 51-67.
- HERBRETEAU B. (2008) : *Détection et devenir du diuron au sein des ouvrages d'infiltration. Développement de méthodologie d'extraction et d'analyse en ligne du glyphosate*. Délivrable DA1-2, Projet Ecopluies, Programme PRE-CODD, 12 p.
- INERIS (2006) : *Norme de qualité environnementale : le diflufenicanil*. Fiche DRC-11-112070-04504B. Disponible sur www.ineris.fr/substances/fr/substance/getDocument/2990
- LAMPREA K., RUBAN V. (2011) : « Pollutant concentrations and fluxes in both stormwater and wastewater at the outlet of two urban watersheds in Nantes (France) ». *Urban Water Journal* ; 8 : 21931.
- MARSALEK J., MARSALEK P.M. (1997) : « Characteristics of sediments from a stormwater management pond ». *Water Science and Technology* ; 36 (8-9) : 117-22.
- MICÍĆ V., HOFMANN T (2009) : « Occurrence and behaviour of selected hydrophobic alkylphenolic compounds in the Danube River ». *Environmental Pollution* ; 157 : 2759-68.
- NMHSPE (2000) : *Circular on target values and intervention values for soil remediation*. The Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment.
- PERCOT S. (2012) : *Contributions des retombées atmosphériques aux flux de polluants issus d'un petit bassin versant urbain – Cas du Pin sec à Nantes* [thèse]. Nantes : École centrale. 210 p.
- PETAVY F., RUBAN V., CONIL P. (2009) : « Treatment of stormwater sediments. Efficiency of an attrition scrubber, laboratory and pilot-scale studies ». *Chemical Engineering Journal* ; 145 : 75-82.
- PITT R. (2004) : *Summary of Available Stormwater Data Included in NSQD, version 1.1*. 35 p.
- REVITT D.M., ELLIS J.B., LLEWELLYN N.R. (2002) : « Seasonal removal of herbicides in urban runoff ». *Urban Water* ; 4 : 13-9.
- SÉBASTIAN C. (2013) : *Bassin de retenue des eaux pluviales en milieu urbain : performance en matière de piégeage des micropolluants* [thèse]. Lyon : INSA. 354 p.
- SÉBASTIAN C., BARRAUD S. (2014) : « Effet d'un bassin de retenue-décantation des eaux pluviales sur les micropolluants – campagnes de mesures dans les eaux et les sédiments ». *Techniques Sciences Méthodes* ; 1-2 : 52-60.
- SÉBASTIAN C., BECOUZE-LAREURE C., LIPEME KOUYI G., BARRAUD S. (2015). « Event-based quantification of emerging pollutant removal for an open stormwater retention basin – Loads, efficiency and importance of uncertainties ». *Water Research* ; 72 : 239-50.
- YAN H., LIPEME KOUYI G., GONZALEZ-MERCHAN C., BECOUZE-LAREURE C., SÉBASTIAN C., BARRAUD S., BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L. (2014) : « Computational fluid dynamics modelling of flow and particulate contaminants sedimentation in an urban stormwater detention and settling basin ». *Environmental Science and Pollution Research* ; 21(8) : 5347-56.
- ZGHEIB S., MOILLERON R., CHEBBO G. (2012). « Priority pollutants in urban stormwater: Part 1–Case of separate storm sewers ». *Water Research* ; 46(20) : 6683-92.

Annexe 1

Liste des substances étudiées, abréviations et sources

Groupes	Substances et abréviations	Sources possibles
ETM 1 (n = 5)	Cadmium (Cd), Cuivre (Cu), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Zinc (Zn)	Usure des pneumatiques, trafic automobile, alliages, traitement des bateaux, accumulateurs, peintures, corrosion toitures, tuyauteries, produits galvanisés, industrie métallurgique, incinération d'ordures ménagères
ETM 2 (n = 9)	Arsenic (As), Chrome (Cr), Platine (Pt), Vanadium (V), Cobalt (Co), Molybdène (Mo), Strontium (Sr), Baryum (Ba), Titane (Ti)	
HAP (n = 16)	Naphtalène (Nap), Acénaphthylène (Acy), Acénaphthène (Ace), Fluorène (Flu), Phénanthrène (Phe), Anthracène (A), Fluoranthène (Flh), Pyrène (Pyr), Benzo(a)anthracène (BaA), Chrysène (Chr), Benzo(b)fluoranthène (BbF), Benzo(k)fluoranthène (BkF), Benzo(a)pyrène (BaP), Indéno(c,d)pyrène (IP), Dibenzo(a,h)anthracène (DahA), Benzo(g,h,i)peryène (BPer)	Source pyrolytique (combustion incomplète de la matière organique) : feux de forêt, éruptions volcaniques, chauffage domestique au bois, véhicule Diesel et émissions industrielles Source pétrogénique (pétrolière) : présence naturelle de pétrole dans les bassins sédimentaires, fuite lors d'un déversement de vidange
Pesticides 1 (n = 7)	Chlorfenvinphos (Chlorf), Diuron (Di), Isoproturon (Isop), Aldrine (Ald), Dieldrine (Die), Isodrine (Iso), Endosulfan alpha (Ena)	
Pesticides 2 (n = 38)	Glyphosate (Gly), Acide aminométhylphosphonique (AMPA), Glufosinate (GIA), Mécoprop (Mec), Acide 4-chloro-2-méthylphénoxyacétique ou 2,4-MCPA (24M), Carbendazime (Car), Atrazine (Atr), Simazine (Sim), Chlorpyrifos (Chlor), Alpha-hexachlorocyclohexane (Ahex), Bêta-hexachlorocyclohexane (Bhex), Gamma-hexachlorocyclohexane (Ghex), Delta-hexachlorocyclohexane (Dhex), Dichlorodiphényldichloroéthane (DDD pp), Métaaldéhyde (Meh), Folpel (Fol), Acide dichlorophénoxyacétique (2,4-D), Trichlopyr (Trp), Isothiazolinone (Itz), Irgarol 1051 (Irg), Terbutryne (Ter), Acétochlore (Ato), S-Métolachlore (Sme), Pendiméthaline (Pen), Époxiconazole (Epo), Tébuconazole (Teb), Fenpropidine (Fen), Chlorothalomi (Clo), Métazachlore (Met), Diflufenicanil (Dif), Deltaméthrine (Del), Endosulfan Beta (Enb), Alachlore (Ala), Trifluraline (Tri), op Dichlorodiphényltrichloroéthane (opDDT), pp Dichlorodiphényltrichloroéthane (pp DDT), pp Dichlorodiphényldichloroéthylène (ppDDE), Endrine (End)	Insecticides, herbicides, fongicides, biocides (peintures, revêtement de façades), algicides, molluscicides
Alkylphénols (n = 2)	4-Nonylphénol (4-NP), 4-tert-octylphénol (4-OP)	Fabrication de plastiques, additifs pour fluides lubrifiants et carburants, agents mouillants, émulsifiants pour les laques, vernis, peintures, fabrication de revêtements de sol, agents d'adhérence dans le caoutchouc des pneus

C. SÉBASTIAN, S. BARRAUD
Évaluation *in situ* des teneurs en micropolluants d'un bassin de retenue-décantation des eaux pluviales. Eaux et sédiments

Les bassins de retenue-décantation des eaux pluviales sont des ouvrages utilisés depuis des décennies tant dans la gestion du risque inondation en milieu urbain que dans la lutte contre la pollution des milieux aquatiques. L'amélioration des connaissances sur les micropolluants et sur leurs effets sur les milieux récepteurs a conduit à étudier les bassins de retenue et à évaluer leur rôle dans le piégeage des polluants. Le suivi de 77 micropolluants au cours de 11 événements pluvieux et dans des sédiments accumulés a été réalisé sur un site réel en service, instrumenté par l'Observatoire de terrain en hydrologie urbaine (OTHU). Les concentrations en entrée du bassin sont comparables aux données de la littérature et dépassent rarement les normes de qualité environnementale en sortie. Un abattement de la pollution en éléments traces métalliques (ETM) et en hydrocarbures aromatiques polycycliques

(HAP) a été vérifié. Il n'a pas été observé de rétention des alkylphénols et pesticides dans le bassin à la suite des événements pluvieux étudiés. Les micropolluants quantifiés dans les sédiments accumulés sont similaires aux micropolluants trouvés dans les échantillons de rejets urbains par temps de pluie (RUTP) en entrée et/ou en sortie. De manière générale, peu de pesticides ont été détectés, ce qui est cohérent avec leur caractère faiblement particulaire. Les teneurs en ETM et HAP sont assez élevées comparées aux valeurs guides, de même que le 4-nonylphénol (4-NP). Une variabilité intercampagnes a été constatée pour la totalité des micropolluants de manière plus ou moins marquée. Des investigations complémentaires seraient nécessaires pour expliquer le transfert des rejets urbains de temps de pluie vers les sédiments et/ou les transformations éventuelles de polluants tels que le 4-NP.

C. SÉBASTIAN, S. BARRAUD
Micropollutant contents in a stormwater detention basin. Focus on water and sediments *in situ* experiments

Stormwater detention basins have been used as flooding and pollution mitigation systems in urban areas for decades. Knowledge improvement on micropollutants and their effects on receiving bodies have led to study these devices, focusing on their ability to trap pollutants. 77 micropollutants were studied on 11 rain events and accumulated sediments samples by *in situ* experimentations conducted on a real device monitored by OTHU (field observatory in urban hydrology). Water inlet concentrations were in the same order of magnitude as literature data and scarcely exceeded the thresholds of environmental quality standards at the outlet. Metal and polycyclic aromatic hydro-

carbon (PAH) reduction from inlet to outlet was observed, unlike alkylphenol or pesticide behaviour. Quantified micropollutants in accumulated sediments were in the same range as those found in urban wet weather discharges at the inlet and/or outlet of the detention basin. Few pesticides were detected in the sediments which is consistent with their low particulate form. Metal, PAH and 4-nonylphenol (4-NP) contents in sediments were high compared to reference data. An inter-campaign variability was found for all of the micropollutants. Further studies are needed in order to explain micropollutant transfers or transformations such as 4-NP.