



HAL
open science

Contaminants organiques en milieu urbain et dans les hydrosystèmes anthropisés

Johnny Gasperi

► **To cite this version:**

Johnny Gasperi. Contaminants organiques en milieu urbain et dans les hydrosystèmes anthropisés. Sciences de l'environnement. Université Paris XII Val de Marne, 2013. tel-01071199

HAL Id: tel-01071199

<https://theses.hal.science/tel-01071199>

Submitted on 3 Oct 2014

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.



UNIVERSITÉ
PARIS-EST CRÉTEIL
VAL DE MARNE



Université Paris-Est Créteil Val de Marne

Contaminants organiques en milieu urbain et dans les hydrosystèmes anthropisés

Mémoire présenté pour l'obtention du
Diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches

Par

JOHNNY GASPERI

▪ TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	5
LISTE DES TABLEAUX	6
LISTE DES TABLEAUX	6
LISTE DES ANNEXES	7
LISTE DES PARTENAIRES SCIENTIFIQUES ET OPERATIONNELS	8
LISTE DES ABREVIATIONS	9
AVANT-PROPOS	10
CONTEXTE SCIENTIFIQUE	11
CONTAMINANTS ORGANIQUES EN MILIEU URBAIN ET DANS LES MILIEUX RECEPTEURS ANTHROPISES	11
I. <i>Contexte urbain</i>	11
II. <i>Polluants emblématiques du contexte urbain</i>	13
STRUCTURATION DE MES ACTIVITES DE RECHERCHE	18
DE L'ATMOSPHERE AUX EAUX DE RUISSELLEMENT	22
CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE	22
I. <i>Qualité de l'air</i>	22
II. <i>Eaux de ruissellement</i>	23
ACTIVITES DE RECHERCHE « DE L'ATMOSPHERE AUX EAUX DE RUISSELLEMENT »	24
I. <i>Apports atmosphériques et qualité de l'air</i>	24
II. <i>Qualité des eaux de ruissellement</i>	27
BILAN DES ACTIVITES « DE L'ATMOSPHERE AUX EAUX DE RUISSELLEMENT »	30
PERSPECTIVES SUR LES EAUX DE RUISSELLEMENT	31
MICROPOLLUANTS ET RESEAUX D'ASSAINISSEMENT	34
QUALITE DES EAUX RESIDUAIRES URBAINES ET RUTP	34
ACTIVITES DE RECHERCHE « MICROPOLLUANTS ET RESEAUX D'ASSAINISSEMENT »	36
I. <i>Approches méthodologiques</i>	36
II. <i>Synthèse sur les hydrocarbures à l'échelle de Paris intra-muros</i>	37
III. <i>Synthèse sur les polluants prioritaires et les substances pertinentes</i>	38
IV. <i>Synthèse sur les alkylphénols et les polybromodiphényléthers</i>	40
V. <i>Synthèse sur les phtalates</i>	41
BILAN DES ACTIVITES « MICROPOLLUANTS ET RESEAUX D'ASSAINISSEMENT »	43
MICROPOLLUANTS ET FILIERES DE TRAITEMENT	44
FILIERES DE TRAITEMENT DES EAUX RESIDUAIRES URBAINES	44
FILIERES DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS DE TEMPS DE PLUIE	45
ACTIVITES DE RECHERCHE « MICROPOLLUANTS ET FILIERES DE TRAITEMENT »	46
I. <i>Approches méthodologiques</i>	46
II. <i>Efficacité épuratoire des filières de traitement par temps sec</i>	47
III. <i>Efficacité épuratoire des filières de traitement par temps de pluie</i>	52
IV. <i>Bilan des activités « Micropolluants et filières de traitement »</i>	54

PERSPECTIVES SUR LES FILIERES DE TRAITEMENT	55
I. <i>Traitements biologiques et bioréacteur à membranes</i>	55
II. <i>Vers les traitements tertiaires.....</i>	55
III. <i>Qualité des boues de STEP.....</i>	57
MICROPOLLUANTS ET MILIEUX RECEPTEURS	59
POLLUANTS DANS LES MILIEUX AQUATIQUES ANTHROPISES.....	59
CONTAMINATION PASSEE ET ARCHIVES SEDIMENTAIRES	60
ACTIVITES DE RECHERCHE « MICROPOLLUANTS ET MILIEUX RECEPTEURS ».....	61
I. <i>Dynamique des micropolluants à l'échelle du bassin de la Seine.....</i>	61
II. <i>Archives sédimentaires.....</i>	68
BILAN DES ACTIVITES « MICROPOLLUANTS ET MILIEUX RECEPTEURS ».....	70
PERSPECTIVES DE RECHERCHE SUR LES MILIEUX RECEPTEURS	71
I. <i>Contamination à longue échelle de temps.....</i>	71
II. <i>Rôle biogéochimique des sédiments dans la contamination du bassin.....</i>	71
III. <i>Modélisation des alkylphénols à l'échelle du bassin de la Seine.....</i>	73
CONCLUSION GENERALE.....	76
LISTE BIBLIOGRAPHIQUE	79
NOTICE.....	90
CURRICULUM VITÆ.....	90
CURSUS UNIVERSITAIRE ET PARCOURS PROFESSIONNEL.....	90
ACTIVITES DE RECHERCHE	92
I. <i>Projets scientifiques en cours.....</i>	92
II. <i>Projets scientifiques terminés.....</i>	93
III. <i>Responsabilités et animations scientifiques</i>	93
ACTIVITES D'ENCADREMENT	96
I. <i>Encadrement de doctorants.....</i>	96
II. <i>Encadrement de stagiaires</i>	97
PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS	99
I. <i>Articles publiés dans des revues internationales.....</i>	99
II. <i>Articles publiés dans des revues nationales</i>	100
III. <i>Communications.....</i>	102
IV. <i>Rapports</i>	105
SYNTHESE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS.....	108
ANNEXES	109

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : évolution du nombre de publications sur la thématique « perturbateurs endocriniens » (ISI Web of Knowledge, mot clé : Endocrine-disrupting Chemical*).....	15
Figure 2 : cycle de l'eau en milieu urbain (Bertrand-Krajewski, communication personnelle)....	18
Figure 3 : bassin versant de la Seine et densité de population.....	20
Figure 4 : sites d'étude des eaux résiduaires urbaines depuis 2005.....	21
Figure 5 : concentrations en NP dans les phases gazeuse et particulaire (ng.m^{-3}) à Paris.....	25
Figure 6 : concentrations en alkylphénols (ng.l^{-1}) dans les retombées atmosphériques totales sur 3 stations (Paris, Fontainebleau et Lognes).....	27
Figure 7 : concentrations en alkylphénols, bisphénol A (BPA) et PBDE (ng.l^{-1}) dans les retombées atmosphériques totales (en gris) et dans les eaux de ruissellement (en noir)	29
Figure 8 : contributions aux flux de MES et HAP, des eaux usées (rouge), des eaux de ruissellement (jaune) et des échanges avec le réseau (gris) pour les différents bassins versants étudiés dans la phase 2 d'OPUR	37
Figure 9 : synthèse des travaux menés sur les eaux urbaines - qualité des eaux usées, des eaux de ruissellement et des RUTP	39
Figure 10 : concentrations des eaux résiduaires urbaines pour les APnEO et PBDE.....	40
Figure 11 : concentrations de différents effluents industriels en phtalates (Bergé, 2012).....	42
Figure 12 : comparaison au sein des filières conventionnelles des efficacités d'élimination par modélisation (Byrns, FATE, EPI-STPWIN) vs. Littérature.....	48
Figure 13 : corrélation entre taux d'abattement et log Kow pour divers polluants dans les eaux prétraitées par décantation lamellaire (site de Seine Centre)	49
Figure 14 : abattements des polluants par clarifloculation corrélés à Log Kow.....	53
Figure 15 : technologies prochainement étudiées (CarboPlus [®] P et Actiflo [™] Carb)	57
Figure 16 : concentrations en alkylphénols et BPA sur le bassin de la Seine	64
Figure 17 : mécanismes réactionnels considérés dans le modèle ProSe (en rouge) et linéaire de Seine considéré pour le suivi de masse d'eau	66
Figure 18 : flux exporté en Seine, flux urbains et de retombées atmosphériques totales	68
Figure 19 : évolution des teneurs en HAP, PCB, nonylphénols et PBDE au cours du temps pour la carotte de Bouafles (Lorgeoux <i>et al.</i> 2011).....	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : structures des PBDE, alkylphénols polyéthoxylés, phtalates et BPA.....	15
Tableau 2 : polluants étudiés en milieu urbain et dans les hydrosystèmes anthropisés.....	19
Tableau 3 : bilan des activités « <i>De l'atmosphère aux eaux de ruissellement</i> ».....	30
Tableau 4 : bilan des activités « <i>Micropolluants et réseaux d'assainissement</i> ».....	43
Tableau 5 : synthèse des expérimentations menées sur les filières de traitement	46
Tableau 6 : abattements APnEO, PBDE et phtalates par biofiltration et boues activées	51
Tableau 7 : bilan des activités « <i>Micropolluants et filières de traitement</i> »	54
Tableau 8 : bilan des activités « <i>Micropolluants et milieux récepteurs</i> ».....	70

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : attestation d'encadrement de Solène Gilbert et de Romain Mailler.....	109
Annexe 2 : attestation d'encadrement de Mathieu Cladière	110
Annexe 3 : attestation d'encadrement d'Alexandre Bergé	111

LISTE DES PARTENAIRES SCIENTIFIQUES ET OPERATIONNELS

Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN)
Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)
Association de surveillance de la qualité de l'air en Île-de-France (Airparif)
Centre d'étude technique et environnement d'Île-de-France (CETE)
Centre de Géosciences de l'école des Mines ParisTech
Centre d'enseignement et de recherche en environnement atmosphérique (CEREA)
Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)
Conseil général du Val de Marne (CG94)
Direction de la voirie et des déplacements de la ville de Paris (DVD)
Institut des sciences analytiques, département Service central d'analyse (SCA)
Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR)
Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA)
Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (LBE)
Laboratoire central de la préfecture de police de Paris (LCPP)
Laboratoire de génie civil et d'ingénierie environnementale (LGCIE)
Laboratoire des matériaux, surfaces et procédés pour la catalyse (LMSPC)
Laboratoire CGI - IPL santé, environnement durables Bretagne (CGI-LHPI)
Laboratoire des sciences du climat et l'environnement (LSCE)
Laboratoire santé publique - environnement (LSPE)
Section de l'assainissement de la ville de Paris (SAP)
Service public de l'assainissement francilien ex Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP)
Service technique de la propreté de la ville de Paris
Société des Eaux de Versailles et de Saint-Cloud (SEVESC)
Syndicat mixte de la vallée de l'Orge Aval (SIVOA)

LISTE DES ABREVIATIONS

APnEO	alkylphénols
NP	mélange de para-nonylphénols ramifiés
BBP	phtalate de butyle benzyle
BPA	bisphénol A
COFRAC	comité français d'accréditation
COV	composés organiques volatils
DBO ₅	demande biochimique en oxygène à 5 jours
DCE	directive cadre sur l'eau
DCO	demande chimique en oxygène
DEHP	phtalate de di - 2 - éthylhexyle
DEP	phtalate de diéthyle
DnBP	phtalate de di-n-butyle
EFSA	autorité européenne de sécurité des aliments
ENPC	école des Ponts ParisTech
GC	chromatographie gazeuse
HAP	hydrocarbures aromatiques polycycliques
LC	chromatographie liquide
LEESU	laboratoire eau environnement et systèmes urbains
LQ	limite de quantification
MES	matières en suspension
NQE	norme de qualité environnementale
NP1EC	acide nonylphénoxy acétique
NP1EO	nonylphénol monoéthoxylé
NP2EO	nonylphénol diéthoxylé
NPnEO	nonylphénols polyéthoxylés
NTK	azote Kjeldahl total
ONEVU	observatoire nantais des environnements urbains
OP	4-tert-octylphénol
OP1EO	octylphénol monoéthoxylé
OP2EO	octylphénol diéthoxylé
OPUR	observatoire des polluants urbains
OTHU	observatoire de terrain en hydrologie urbaine
PBDE	polybromodiphényléthers
PCB	polychlorobiphényles
PIREN-Seine	programme interdisciplinaire de recherche en environnement de la Seine
PNRPE	programme national de recherche sur les perturbateurs endocriniens
RAT	retombées atmosphériques totales
RUTP	rejets urbains par temps de pluie
SDAGE	schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux
STEP	station d'épuration
UPEC	université Paris-Est Créteil Val de Marne
UPEMLV	université Paris-Est Marne-la-Vallée

AVANT-PROPOS

Ce document synthétise l'ensemble des mes activités de recherche depuis mon doctorat, obtenu en 2006, jusqu'à mes travaux les plus récents et en cours effectués au Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU) où je suis maître de conférences depuis 2007.

Le LEESU est un laboratoire commun à l'Université Paris-Est Créteil Val de Marne (UPEC), l'Ecole des Ponts ParisTech, l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEMLV) et AgroParisTech.

L'objectif de mes travaux est d'obtenir une vision intégrée des micropolluants organiques en milieu urbain, de leur émission au milieu récepteur. Ils sont orientés vers les polluants prioritaires de la Directive cadre sur l'eau (DCE, Directive 2000/60/CE), les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les polybromodiphényléthers, les alkylphénols, le bisphénol A et les phtalates. Ils s'intéressent d'une part à la production de polluants sur les surfaces urbaines, à leur transfert à différentes échelles, à leur comportement au sein des filières de traitement et finalement à leur devenir dans les milieux récepteurs.

Après une introduction dédiée au contexte scientifique, j'ai opté pour une présentation de ce manuscrit selon 4 blocs regroupant la quasi-totalité de mes activités. Bien que perméables, ces blocs se structurent selon le devenir des micropolluants dans les eaux urbaines :

- De l'atmosphère aux eaux de ruissellement ;
- Dans les réseaux d'assainissement ;
- Dans les filières de traitement ;
- Dans les milieux récepteurs.

Pour chaque bloc :

- **La problématique et les questions scientifiques sont posées ;**
- **Mes activités de recherche sont décrites brièvement puis synthétisées ;**
- **Enfin, mes perspectives de recherche au sein de cette thématique, toujours dans l'objectif d'offrir une vision intégrée des micropolluants à l'échelle d'un bassin versant, sont développées.**

CONTEXTE SCIENTIFIQUE

CONTAMINANTS ORGANIQUES EN MILIEU URBAIN ET DANS LES MILIEUX RECEPTEURS ANTHROPISES

I. Contexte urbain

Selon l'Organisation des Nations Unies (<http://www.un.org/fr/>), le monde change plus rapidement maintenant qu'auparavant, et deux tendances sont principalement responsables de cette transformation. La population s'accroît de plus en plus rapidement et, dans les pays en développement, l'exode vers les villes se fait à un rythme sans précédent. Les prévisions pour 2030 confirment cette tendance à l'urbanisation puisque 60 % de la population mondiale vivra en ville. La population des zones urbaines des pays moins développés passera de 1,9 actuellement à 3,9 milliards en 2030. Dans les pays développés, la population urbaine devrait augmenter beaucoup plus lentement, passant de 0,9 à 1 milliard en 2030. Cette urbanisation galopante est aujourd'hui source de préoccupations car elle engendre une augmentation des émissions polluantes et des pressions sur les ressources en eau. L'ONU indique aussi que dans les pays très industrialisés, la quasi-totalité des ménages bénéficie d'un système d'adduction d'eau et la consommation moyenne est de 215 litres/personne/jour.

L'urbanisation et son évolution soulèvent plusieurs préoccupations sanitaires et environnementales. Les aménagements des bassins versants (infrastructures, bâtis, chaussées) et les activités qui s'y déroulent constituent de multiples sources de pollutions. Qu'il s'agisse des eaux résiduaires urbaines, des eaux de ruissellement ou des rejets urbains de temps de pluie (RUTP), des quantités importantes de polluants sont susceptibles d'être rejetées vers les milieux récepteurs (Pitt *et al.*, 1995). Aujourd'hui, à travers la Directive européenne relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (Directive 91/271/CE) et la Directive cadre sur l'eau (DCE, Directive 2000/60/CE), l'enjeu majeur est de parvenir à une gestion durable du cycle de l'eau et au « bon état » des eaux souterraines et superficielles en Europe pour 2015, 2021 ou 2027. En mars 2010, la France a rendu compte à la Commission européenne de la mise en œuvre de la DCE. Les données transmises incluaient une évaluation de l'état des eaux en 2009, l'affectation à chaque masse d'eau d'un objectif et une estimation détaillée par bassin du coût des actions nécessaires pour l'atteinte de cet objectif. Selon ce rapport, 45 % des eaux de surface étaient en « bon état » chimique, 21 % ne l'étaient pas et 34 % étaient indéterminées. Pour 2015, l'objectif fixé initialement à 83 % de masses d'eau en « bon état »

chimique amène à reconsidérer le cycle de l'eau à l'échelle des bassins versants dans son intégralité et impose :

- la connaissance des sources et des flux de micropolluants à différentes échelles spatiales et temporelles ;
- l'étude des processus qui participent au transfert des polluants.

Ces deux points doivent être intégrés à tous les niveaux pertinents des bassins versants : depuis les retombées atmosphériques jusqu'au milieu récepteur en incluant les eaux de ruissellement, les eaux résiduaires urbaines et les rejets des stations d'épuration.

Cependant, si des données sur les polluants prioritaires dans les milieux aquatiques (plan micropolluants 2010-2013, programmes de surveillance des milieux des agences de l'eau) ou émis par les activités industrielles (action 3RSDE¹) commencent à être collectées, une synthèse des données existantes met en évidence :

- des lacunes analytiques pour certaines familles de polluants et le plus souvent une information extrêmement limitée sur la spéciation des polluants,
- leur insuffisance sur certains compartiments du cycle de l'eau tels que les apports atmosphériques, les eaux pluviales ou les eaux résiduaires urbaines ;
- une compréhension incomplète des mécanismes d'accumulation et d'entraînement de la pollution sur les surfaces urbaines mais aussi dans les réseaux, par temps sec et par temps de pluie ;
- un manque de connaissances sur les filières de traitement, qu'elles soient conventionnelles ou compactes.

La stratégie globale de réduction de la présence des micropolluants dans les milieux aquatiques nécessite d'une part d'acquérir les données manquantes pour une compréhension du cycle global des polluants en milieu urbain et d'autre part d'approfondir nos connaissances sur les processus de production ou de traitement.

Mes travaux de recherche menés au LEESU depuis 2007 ont été et sont toujours consacrés à tenter de répondre à cette problématique. Ils visent à appréhender les processus de transfert des polluants sur les bassins versants de l'atmosphère aux réseaux, puis des réseaux aux filières de traitement et à évaluer la contribution des sources urbaines (rejets

¹ Action 3RSDE : Action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans les eaux.

liés à l'assainissement, eaux de ruissellement, apports atmosphériques) aux flux de polluants dans les milieux. D'autre part, ils s'attachent à donner une vision intégrée de la dynamique de plusieurs familles de polluants au sein des milieux récepteurs anthropisés.

II. Polluants emblématiques du contexte urbain

De nombreux contaminants entrent aujourd'hui dans la composition de produits industriels et domestiques (jouets, vêtements, désodorisants, appareils ménagers, matériaux de construction, produits d'entretien, etc.). Suite à une utilisation massive et variée, des quantités importantes de polluants peuvent être transférées à différents niveaux du cycle de l'eau.

Deux approches différentes mais complémentaires peuvent être identifiées. **La première se base sur les dispositifs réglementaires existants ou à venir, et s'attache à suivre les composés visés par la réglementation.** Un suivi de la totalité de ces molécules est impossible, et la pertinence n'est pas la même d'un polluant à l'autre. C'est pourquoi plusieurs méthodologies de « priorisation » et/ou de « hiérarchisation » des polluants ont été élaborées ; elles sont répertoriées dans von der Ohe *et al.* (2011). Parmi les critères qualitatifs, on retrouve classiquement : (1) les fréquences de quantification et les niveaux de contamination dans les différents compartiments, (2) la performance des méthodes analytiques et la validation des méthodes et (3) l'évidence d'effets écotoxicologiques aigus ou chroniques sur l'Homme et sur les écosystèmes (von der Ohe *et al.* 2011). Suite à une évaluation menée sur 820 000 données de surveillance de l'eau et de sédiments fournies par les pays membres, la DCE a fixé une première liste de 33 substances ou groupes de substances prioritaires. Cet inventaire se base sur des critères de persistance, de bioaccumulation et de toxicité, et définit certaines de ces substances comme prioritaires dangereuses. Cette liste est évolutive avec l'intégration de nouvelles substances et d'autres en cours de révision. Plus récemment, la Directive 2008/105/EC a défini des normes de qualité environnementale (NQE) dans l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau.

La seconde approche vise à suivre plus spécifiquement des contaminants « indicateurs » ou « traceurs » d'une problématique donnée (gestion des eaux pluviales, RUTP, etc.) ou d'un problème environnemental reconnu. Des contaminants autres que ceux réglementés sont lessivés à partir des surfaces urbaines et/ou sont considérés comme représentatifs de certaines activités humaines. Afin de tenir compte de ces polluants, des substances dites « pertinentes² » sont communément ajoutées à la liste des molécules citées par la DCE. Au

² Substances pertinentes : substances définies au titre du programme 3RSDE et substances sélectionnées sur la

niveau français, 114 substances « pertinentes » ont été sélectionnées - 18 provenant de la liste I et 96 de la liste II de la Directive 76/464/CEE (MEDAD 2007) - dans le cadre de l'action 3RSDE. Pour le milieu urbain, Zgheib (2009) a mis au point une méthodologie permettant le suivi de 88 composés pour l'évaluation de la qualité des eaux urbaines (screening). Dans cette approche, et en plus des substances de la DCE, 47 ont été ajoutées soit parce qu'elles ont été identifiées comme polluants urbains (liste CHIAT du programme européen Daywater, Eriksson *et al.* 2007), réglementées par d'autres directives (76/464/CE et 2008/105/CE) ou suivies dans le cadre de programmes de surveillance.

Une des familles de contaminants les plus connues et les plus emblématiques des recherches menées sur le milieu urbain demeure celle des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Les HAP proviennent essentiellement de sources pétrolières et pyrolytiques). En combinant ces deux processus, la circulation automobile constitue l'un des principaux responsables d'émission d'hydrocarbures. Les gaz d'échappement provenant de la combustion incomplète des carburants et les déversements de produits variés tels que les carburants, les huiles lubrifiantes ou les débris de pneumatiques (Bomboi *et al.* 1990) sont à l'origine de l'émission de HAP. D'autres sources anthropiques tels que le chauffage urbain et diverses industries (production de coke, incinération d'ordures ménagères, etc.) peuvent contribuer aux émissions de HAP de façon conséquente en milieu urbain (Aboul-Kasim & Simoneit 1995, Soclo *et al.* 2000).

A partir de 2000, la problématique « perturbateurs endocriniens » est apparue (Campbell & Hutchinson 1998, Hotchkiss *et al.* 2008) et n'a cessé de se développer (Figure 1). Un perturbateur endocrinien est une substance ou un mélange exogène, altérant les fonctions de l'appareil endocrinien et induisant donc des effets nocifs sur la santé d'un organisme intact, de ses descendants ou au sein de sous-populations (définition adoptée par l'organisation mondiale pour la santé). Ces composés ne s'assimilent pas seulement aux « substances chimiques susceptibles d'affecter la reproduction » mais également à d'autres toxiques pouvant avoir un effet néfaste sur d'autres fonctions régulées par le système hormonal.

Les perturbateurs endocriniens se répartissent en plusieurs classes : les hormones naturelles, les substances chimiques produites pour leur effet hormonal et les substances employées dans l'industrie, l'agriculture et les biens de consommation mais dont l'effet hormonal n'est pas recherché. Cette dernière classe est sujette à controverse.

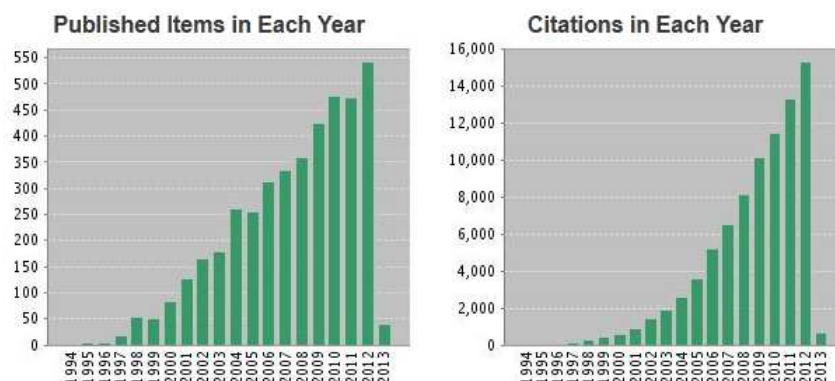


Figure 1 : évolution du nombre de publications sur la thématique « perturbateurs endocriniens » (ISI Web of Knowledge, mot clé : Endocrine-disrupting Chemical*)

Parmi les produits de synthèse, les pesticides et autres composés organochlorés (DDT, lindane, etc.), le tributyl étain, les phtalates, les alkylphénols, le bisphénol A et les polybromodiphényléthers (PBDE) sont les plus connus. Si leur potentiel toxique est reconnu, les connaissances relatives à leur dissémination, leur transfert et leur devenir dans les bassins versants sont plus limitées. Pour répondre à cette problématique, j'ai souhaité étudier plus particulièrement **les alkylphénols polyéthoxylés, le bisphénol A, les PBDE et les phtalates.**

Tableau 1 : structures des PBDE, alkylphénols polyéthoxylés, phtalates et BPA

BPA	Phtalates
	Avec R ¹ et R ² des groupements identiques ou différents <u>Ex</u> : DEP, phtalate de diéthyle
PBDE	Alkylphénols polyéthoxylés
Avec x et y le nombre d'atomes de brome ($x + y \leq 10$) <u>Ex</u> : déca-BDE, 10 atomes brome	Avec R = C ₉ H ₁₉ composés nonylphénoliques et R = C ₈ H ₁₇ composés octylphénoliques <u>Ex</u> : NP1EO, nonylphénol monoéthoxylé

Les alkylphénols polyéthoxylés (APnEO, avec n le nombre d'unités éthoxylées, Tableau 1) sont des tensio-actifs non ioniques aux nombreuses applications industrielles. La grande majorité sont des nonylphénols polyéthoxylés (NPnEO) et, dans une moindre mesure, les octylphénols polyéthoxylés (OPnEO). Les NPnEO ont une longueur de chaîne pouvant varier

de 1 à 50 unités éthoxylées. Le nonylphénol (NP) et l'octylphénol (OP) sont respectivement issus de la dégradation des NPnEO et OPnEO (Ying *et al.* 2002). De nombreuses études ont souligné l'effet œstrogénomimétique du NP (Uguz *et al.* 2003, Ying *et al.* 2002). Leur production et leur utilisation n'ont cessé d'augmenter en Europe et dans le monde jusqu'à atteindre approximativement 500 000 t.an⁻¹ en 2000 (Ying *et al.* 2002). Pour cette famille, je me suis intéressé depuis 2007 à sept alkylphénols dont les composés nonylphénoliques (NP, NP1EO, NP2EO), octylphénoliques (OP, OP1EO et OP2EO) et à un dérivé carboxylé (NP1EC, acide nonylphénoxy acétique).

Le bisphénol A (BPA ou 4,4'-dihydroxy-2,2-diphénylpropane) est utilisé comme additif dans la fabrication de polymères de type polycarbonates ou de résines époxydes, ou comme antioxydant dans les plastifiants et le polychlorure de vinyle (Staples *et al.* 1998). Légers et résistants, les plastiques polycarbonates sont utilisés dans de nombreux produits usuels (DVD, lunettes, lentille de contact, biberons). Les résines époxyde sont essentiellement employées dans les laques qui recouvrent les emballages alimentaires et les surfaces internes des cannettes de soda ou boîtes de conserve. Toutes utilisations confondues, la production mondiale de BPA était évaluée à 3 millions t.an⁻¹ en 2007 (Vandenberg *et al.* 2007). L'utilisation du BPA n'est pas interdite en Europe, toutefois, l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a fixé une dose journalière tolérable à 0,05 mg.kg⁻¹ de poids corporel (Nicolle-Mir 2012). A l'échelle nationale et suite à une forte médiatisation sanitaire, la loi du 24 décembre 2012 visant à la suspension de la fabrication, de l'importation, de l'exportation et de la mise sur le marché de tout conditionnement à vocation alimentaire contenant du BPA a été promulguée.

Les polybromodiphényléthers (PBDE, Tableau 1) sont des molécules chimiques de synthèse (209 homologues au total) utilisées dès 1960 pour leurs propriétés ignifuges. Ils représentent la deuxième plus forte production de composés bromés retardateurs de flammes (derrière le tétrabromobisphénol A). Parmi les trois mélanges commerciaux (penta-, octa- et déca-mix), le déca-mix est le mélange le plus utilisé. On en trouve dans les polymères, les plastiques (boîtiers de télévision, câbles et fils électriques) et le textile, à hauteur de 15-30 % en masse. Sa production mondiale était estimée à 56 100 t.an⁻¹ en 2001 et la consommation en Europe à 7 600 t.an⁻¹ (ECB, 2007). Deux effets toxiques des PBDE sont couramment mentionnés dans la littérature : l'altération de l'homéostasie des hormones thyroïdiennes et les troubles du neuro-développement (McDonald 2002). Pour les PBDE, 9 homologues caractéristiques des mélanges commerciaux les plus utilisés ont été étudiés.

Les phtalates (esters de l'acide phtalique) sont utilisés dans plusieurs applications industrielles tels les adhésifs, les peintures, les gommes, les encres, ou le traitement de surface (Staples *et al.* 1997). Ils sont massivement employés dans la composition des plastiques en polychlorure de vinyle et autres résines pour polymères en raison de leur stabilité et la faible volatilité des congénères les plus lourds. Leur production mondiale actuelle s'élève à 6 millions de t.an⁻¹ (Staples *et al.*, 1998). En Europe, elle atteint 1 million de t.an⁻¹ dont 90 % pour plastifier le PVC. Malgré un renforcement des réglementations visant à interdire l'utilisation de certains phtalates dans certains produits de consommation, les productions mondiale et européenne augmentent depuis la fin des années 1970. Du fait de l'omniprésence de ces matériaux dans nos environnements urbains, les phtalates sont des polluants urbains emblématiques. Ces composés peuvent entraîner des troubles de la reproduction, du développement et de l'immunité (Jobling *et al.* 1995). Le DEHP (phtalate de di - 2 - éthylhexyle) figure dans la liste des substances dangereuses prioritaires de la DCE. Dans le cadre de mes travaux, 4 phtalates ont été plus particulièrement étudiés : phtalates de diéthyle (DEP), de di-n-butyle (DnBP), de benzyl-butyle (BBP) et le DEHP.

STRUCTURATION DE MES ACTIVITES DE RECHERCHE

Depuis mon intégration, mes travaux se focalisent sur le devenir des polluants organiques en milieu urbain et au sein des hydrosystèmes anthropisés. Ils s'intéressent aux polluants prioritaires de la DCE, aux **alkylphénols polyéthoxylés**, au **bisphénol A**, aux **PBDE** et aux **phtalates**.

Afin d'offrir une vision intégrée de ces polluants, je présente ici mes travaux en les classant selon 4 compartiments, lesquels, de façon naturelle, suivent « le fil de l'eau ».

- De l'atmosphère aux eaux de ruissellement ;
- Micropolluants et réseaux d'assainissement ;
- Micropolluants et filières de traitement ;
- Micropolluants et milieux récepteurs.

La Figure 2 donne la structuration de mes travaux et permet d'apprécier leur étendue (flèches rouges) dans le cycle de l'eau en milieu urbain. Ils se structurent autour des programmes de recherche OPUr et PIREN-Seine. Une brève description de ces deux programmes est donnée ci-après définissant leur objectif, leur organisation et leur périmètre scientifique.

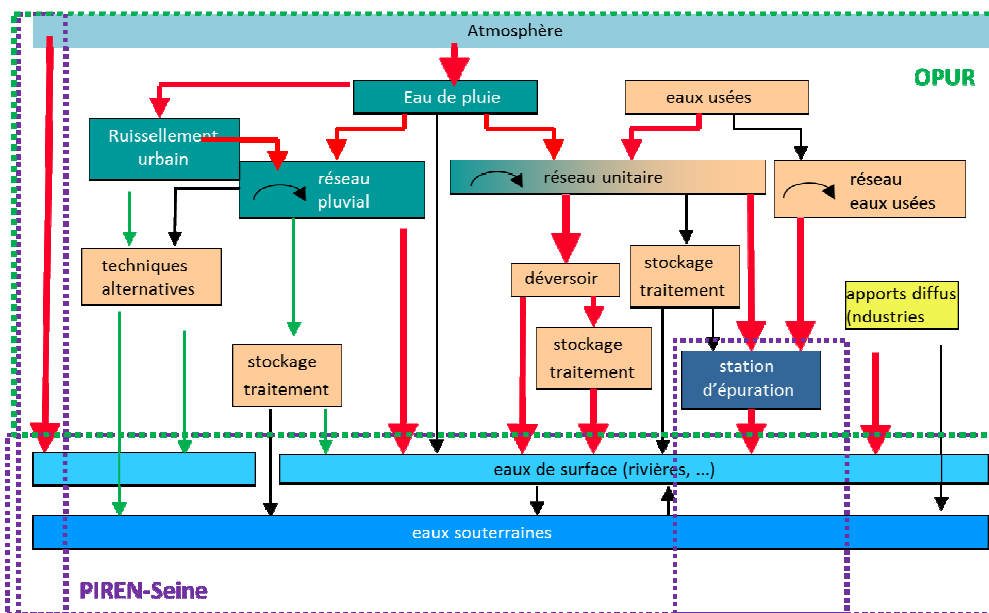


Figure 2 : cycle de l'eau en milieu urbain (Bertrand-Krajewski, communication personnelle)

En caricaturant, le programme OPUr s'intéresse essentiellement à la question de transfert de polluants de l'atmosphère à l'exutoire des bassins versants urbains, alors que le programme PIREN-Seine se focalise sur les milieux récepteurs et le transfert de polluants à l'échelle du

bassin de la Seine. **Calés et inspirés par ces deux approches, mes travaux s'articulent autour de ces deux échelles ; du bassin versant urbain au bassin versant de la Seine.**

Bien que mes travaux couvrent une large part du cycle de l'eau, certains compartiments ne sont pas intégrés à ces recherches. Ceci s'explique soit parce qu'ils sont déjà abordés au LEESU (cas des techniques alternatives, thématique potée par MC. Gromaire) soit parce qu'ils n'ont pas été à ce jour étudiés, mais le seront prochainement (cas des ouvrages de traitement des eaux pluviales).

Le Tableau 2 récapitule les différents polluants étudiés au sein de chaque compartiment (au minimum 3 à 5 groupes) et permet d'apprécier pour chaque famille l'aspect intégrateur de mes travaux. Pour certaines familles (APnEO, PBDE, HAP), les questions de transfert et de devenir ont été abordées depuis l'atmosphère jusqu'au milieu récepteur. Bien qu'un travail analytique rigoureux et conséquent (tests d'extraction, validation des méthodes, analyse de matériaux certifiés, essais inter-laboratoires) a été mené pour ces polluants (APnEO/BPA par Cladière, 2012 ou Gilbert, 2011, phtalates par Bergé, 2012, PBDE par Gilbert, 2011), ce travail ne sera pas ici présenté. **Dans le cadre de ce mémoire, j'ai souhaité mettre l'accent sur les questions de transfert de polluants au sein d'un compartiment, mais également sur la dynamique entre les différents compartiments.**

Tableau 2 : polluants étudiés en milieu urbain et dans les hydrosystèmes anthropisés

Bloc	HAP	Screening*	APnEO/BPA	PBDE	Phtalates
De l'atmosphère aux eaux de ruissellement	X		X	X	
Micropolluants et réseaux d'assainissement	X	X	X	X	X
Micropolluants et filières de traitement	X	X	X	X	X
Micropolluants et milieux récepteurs	X	X	X	X	

* Polluants prioritaires de la DCE plus autres substances pertinentes (soit un total de 88 substances)

Programme PIREN-Seine

Le PIREN-Seine est un groupement de recherche dont l'objectif est de développer, à partir de mesures de terrain et de modélisations, une vision d'ensemble du fonctionnement du système formé par le réseau hydrographique de la Seine, son bassin versant et la société humaine qui l'investit. Depuis sa création, il fonctionne en phases successives d'une durée de 4 ans :

Phase 1 : mise en place du PIREN-Seine (1989-1992) ;

Phase 2 : le GDR Systèmes fluviaux anthropisés (1993-1996) ;

Phases 3 et 4 : La Seine, son bassin versant et son histoire (1998-2006) ;

Phase 5 : Risques sanitaires, paysages, territoires (2007-2010).

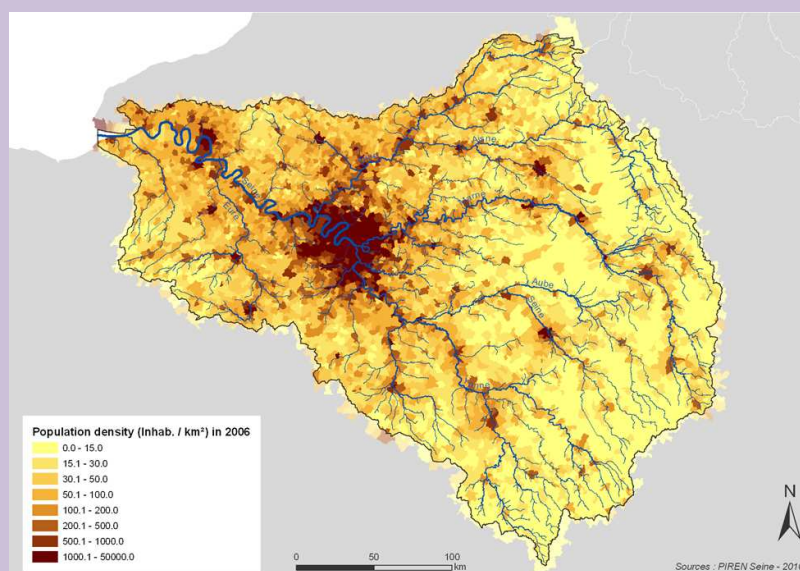


Figure 3 : bassin versant de la Seine et densité de population

En lien avec la phase 5 pour laquelle un large panel de micropolluants émergents a commencé à être suivi, la phase actuelle (phase 6, 2011-2014) tente de répondre, entre autres, aux nombreuses interrogations des gestionnaires sur la qualité des cours d'eau et des différents compartiments environnementaux (air, sols). Il s'agit surtout d'affiner notre compréhension de la qualité de l'eau dans les axes fluviaux face aux enjeux plus stricts du bon état ; de comprendre les relations entre les pressions chimiques et l'état écologique dans un bassin et d'évaluer sa dynamique sur de longues échelles de temps. Jean-Marie Mouchel (UMR Sisyphe) est actuellement directeur de ce programme.

Programme OPUR

Né en 1994, le programme OPUR (observatoire des polluants urbains en Île-de-France) est un site atelier qui vise à améliorer les connaissances concernant la production et le transfert des polluants dans les eaux urbaines. Il est structuré en phases de recherche successives d'une durée de 6 ans.

Phase 1 : Mise en place et suivi du bassin versant expérimental du Marais (1994-2000) ;

Phase 2 : Intégration du Marais dans une série de 6 bassins versants expérimentaux de tailles croissantes (2001-2006),

Phase 3 : Extension d'OPUR vers les milieux périurbains de la banlieue parisienne (2007-2012).

Les deux premières phases d'OPUR se sont appuyées sur le cas de la ville de Paris (Figure 4). Elles ont permis d'étudier les polluants dans des zones urbaines denses drainées par des réseaux d'assainissement unitaires. La troisième phase d'OPUR s'est attachée, entre autres, à étudier pour un nombre important de micropolluants la qualité des eaux pluviales à l'exutoire des réseaux séparatifs, des eaux résiduaires urbaines et des rejets urbains de temps de pluie.



Figure 4 : sites d'étude des eaux résiduaires urbaines depuis 2005

L'ambition et l'originalité d'OPUR est de créer, en Île-de-France, un observatoire de terrain, constituant un site d'expérimentation fédérateur pour les différents acteurs de l'assainissement en Île-de-France ainsi qu'un site de référence à l'échelle nationale et internationale. Il vise le rapprochement de différentes équipes de recherche en Île-de-France et le développement d'une synergie entre chercheurs et gestionnaires des réseaux d'assainissement.

OPUR est membre fondateur du réseau d'observatoires HURRBIS (Hydrologie Urbaine Réseau de Recherche Bassins Inter Sites) qui associe les trois observatoires français en hydrologie urbaine. Ghassan Chebbo est actuellement coordinateur de ce programme.

DE L'ATMOSPHERE AUX EAUX DE RUISSELLEMENT

CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

I. Qualité de l'air

De nombreux polluants sont présents dans l'atmosphère suite aux émissions industrielles ou domestiques, au trafic automobile ou à la volatilisation passive depuis certains matériaux (Sexton *et al.* 2004). Si la contamination du compartiment atmosphérique a été particulièrement étudiée pour les HAP ou les métaux (Harrison *et al.* 1996, Motelay-Massei *et al.* 2006), l'étude de sa contamination par les alkylphénols, le bisphénol A ou les PBDE est plus limitée.

Deux angles d'investigation sont distingués dans l'étude du compartiment atmosphérique. La **première approche de type « épidémiologique »** consiste à déterminer l'ampleur de l'exposition de l'Homme à des polluants et à la possibilité d'effets même à faibles doses sur sa santé. Cette approche nécessite que l'on s'intéresse à l'air extérieur et intérieur puisque dans nos climats tempérés, les habitants passent en moyenne de 80 à 95 % de leur temps dans des milieux fermés. Elle implique également l'étude des phases particulaire et gazeuse. Cet aspect étant actuellement peu documenté pour de nombreux perturbateurs endocriniens (Rudel *et al.* 2010), le transfert de ces composés dans l'air intérieur ou extérieur doit être mieux renseigné. Plusieurs questions étaient d'actualité :

- Quelles sont les qualités de l'air intérieur et extérieur ?
- Comment les polluants se répartissent-ils entre les phases particulaire et gazeuse ?
- Est-ce que cette qualité est affectée par le type d'habitat ou le degré d'urbanisation ?

Le programme ENDOCRINAIR (2009-2012, contamination de l'air ambiant par les perturbateurs endocriniens en Île-de-France et caractérisation d'effets toxiques associés³) avait pour objectif de répondre à ces questions. Il visait à étudier la qualité de **l'air intérieur et extérieur pour un large panel de perturbateurs endocriniens ; les résultats seront présentés dans la partie activités de recherche.**

³ ENDOCRINAIR est un projet financé par le Programme National de Recherche sur les Perturbateurs Endocriniens (porteur M. Chevreuil, UMR Sisyphe), et réalisé en collaboration avec le Laboratoire Santé Publique - Environnement (LSPE), le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) et Airparif.

La **seconde approche dite « dynamique »** s'intéresse à l'atmosphère uniquement au regard du transfert de polluants vers un autre compartiment du cycle urbain. Dans ce type d'approche, sont généralement considérées les retombées atmosphériques sèches, humides ou totales. Selon l'échelle temporelle et spatiale (de l'événement pluvieux à l'échelle annuelle et de la parcelle au bassin hydrographique), l'idée est d'évaluer la contribution des apports atmosphériques à d'autres flux de polluants. Elle est couramment employée dans l'étude du transfert de composés à l'échelle de bassin versant.

Au cours de mes travaux, les retombées atmosphériques totales (RAT) ont été étudiées dans le cadre de deux projets. Selon les objectifs visés, deux approches ont été développées.

Dans le cadre du projet INOGEV (2011-2014, Innovations pour la Gestion Durable de l'Eau en Ville - connaissance et maîtrise de la contamination des eaux pluviales urbaines⁴), les expérimentations sur les RAT visaient à examiner leur contribution aux flux de polluants des eaux pluviales à l'échelle d'un bassin urbain. Dans ce but, les RAT ont été collectées à l'échelle de l'événement pluvieux.

Dans le cadre d'ENDOCRINAIR, il s'agissait d'évaluer l'évolution spatio-temporelle de la contamination des RAT pour 3 stations (Paris, Lognes et Fontainebleau). **Les résultats obtenus dans le cadre d'ENDOCRINAIR sont décrits dans la partie activités de recherche « De l'atmosphère aux eaux de ruissellement »**. Ces données seront également utilisées dans l'évaluation des flux de polluants à l'échelle du bassin versant de la Seine (partie « micropolluants et milieux récepteurs »).

II. Eaux de ruissellement

De nombreux travaux indiquent que les eaux pluviales véhiculent des quantités élevées de polluants (Clark *et al.* 2007, Pitt *et al.* 1995) et sont à l'origine du transfert de contaminants dans le milieu aquatique. Si les eaux pluviales urbaines sont reconnues pour leur contribution majeure aux flux métalliques (Crabtree *et al.* 2006), leur rôle dans le transfert d'autres polluants était encore assez peu documenté avant 2006 (Bester *et al.* 2008).

Pour pallier pour partie ce manque de connaissance, mon doctorat a été initié dans le but d'évaluer la qualité des eaux de ruissellement pour les HAP (OPUR phase 2, 2006-2012).

⁴ INOGEV est un projet ANR Villes durables porté par V. Ruban (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux, IFSTTAR). Les partenaires de ce projet sont : le Service Central d'Analyse du CNRS (SCA-CNRS), le Laboratoire de physico-chimie de l'atmosphère (LMSPC), l'IFSTTAR, le Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale (LGCIE) et le Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique (CEREA).

Beaucoup plus récemment, les différents observatoires français en hydrologie urbaine (OPUR à Paris, OTHU à Lyon et ONEVU à Nantes⁵) ont initié des recherches sur les polluants véhiculés par les eaux pluviales (Becouze-Lareure 2010, Bressy 2010, Lamprea 2009, Zgheib 2009). Si ces actions ont permis l'acquisition de connaissances sur la qualité de ces eaux à l'exutoire de bassins versants urbains pour les métaux, les HAP, les PCB, les pesticides et quelques substances individuelles, des difficultés analytiques, des méthodologies différentes ou les expérimentations ne permettent pas d'intercomparaison ni une compréhension complète des mécanismes d'accumulation et d'entraînement sur les surfaces urbaines.

Conscients de ces lacunes, les chercheurs de ces mêmes observatoires ont lancé suite à la dynamique créée entre observatoires le programme INOGEV. Ce programme vise à mutualiser les équipements analytiques pour une meilleure quantification et s'attache entre autres à étudier les mécanismes de production et de transfert des micropolluants des eaux pluviales à l'échelle de trois bassins versants urbains : (1) celui de Sucy-en-Brie en région parisienne, (2) celui de Pin Sec à Nantes et (3) celui de Chassieu à Lyon. Ces bassins versants présentent une diversité d'occupation du sol (pavillonnaire, résidentiel avec habitat collectif et individuel, industriel) et sont représentatifs des zones urbaines (Sebastian *et al.* 2011).

La partie relative à mes activités pour la thématique « De l'atmosphère aux eaux de ruissellement » reprend les résultats HAP obtenus sur les eaux de ruissellement au cours de mon doctorat et les premiers résultats du programme INOGEV commencé en 2011 et se poursuivant jusqu'en 2014.

ACTIVITES DE RECHERCHE « DE L'ATMOSPHERE AUX EAUX DE RUISSELLEMENT »

I. Apports atmosphériques et qualité de l'air

I.1 Qualité de l'air - aérosols gazeux et particuliers

La qualité de l'air a été étudiée dans le cadre d'ENDOCRINAIR. L'objectif était de déterminer pour 60 molécules, se répartissant selon 10 familles (PBDE, TBBPA, PCB, HCB, HAP, phtalates, bisphénol A, alkylphénols et parabènes), leur répartition entre les aérosols gazeux et particuliers, et d'apprécier la contamination de l'air intérieur et extérieur. Dans ce but, plusieurs expérimentations ont été conduites dans différents lieux de vie. **J'avais en**

⁵ OTHU = Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine - Lyon dont le projet ESPRIT (Evaluation des Substances Prioritaires dans les Rejets Inhérents au Temps de pluie), ONEVU = Observatoire nantais des environnements urbains.

charge tous les aspects relatifs aux alkylphénols et bisphénol A (de la validation de la méthode d'échantillonnage à l'analyse de ces molécules).

Pour l'air extérieur, deux campagnes ont été réalisées sur une station parisienne (toit de l'Université Paris Diderot), une station péri-urbaine (Lognes) et une en forêt de Fontainebleau. Une campagne sur Paris et Fontainebleau en été/hiver 2010-2011 (3 prélèvements), puis une seconde sur Paris et Lognes en été/automne/hiver 2011 ont été réalisées. Ces campagnes impliquaient une collaboration avec le Pôle Etudes d'Airparif.

Quel que soit le site, ces expérimentations soulignent la présence des alkylphénols dans l'air extérieur avec des concentrations totales entre 0,13 et 2,85 ng.m^{-3} . Quelle que soit la saison, les alkylphénols (NP et OP) et la plupart des molécules étudiées sont majoritairement en phase gazeuse (Figure 5). Aucune relation claire n'a pu être mise en évidence entre la concentration gazeuse des alkylphénols et les conditions d'échantillonnage (température ou précipitations). Les concentrations observées dans cette étude sont cohérentes avec les quelques valeurs rapportées dans la littérature (Berkner *et al.* 2004, Van Ry *et al.* 2000). Globalement, les concentrations mesurées sur Lognes ou Fontainebleau sont légèrement inférieures, mais cette tendance n'est pas significative (0,47 ng.m^{-3} à Fontainebleau et 0,33 ng.m^{-3} pour Lognes). **Ces niveaux de contaminations relativement homogènes d'une période à une autre, et d'une station à une autre témoignent d'une dissémination importante et d'une imprégnation globale de notre environnement par les alkylphénols.**

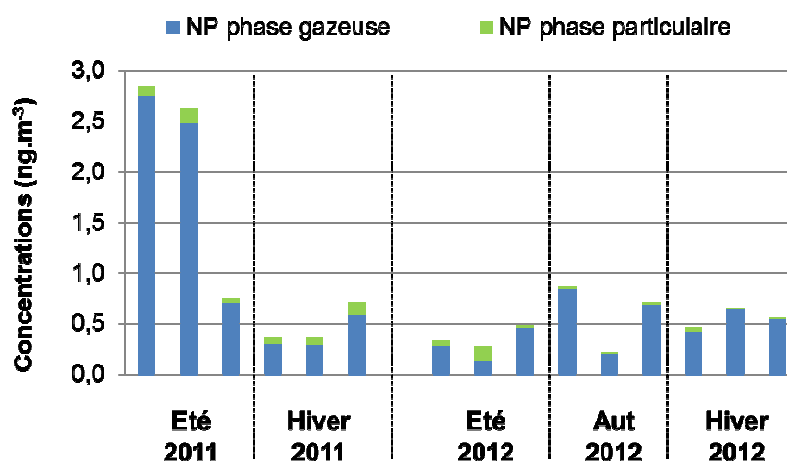


Figure 5 : concentrations en NP dans les phases gazeuse et particulaire (ng.m^{-3}) à Paris

Pour l'air intérieur, deux campagnes ont été menées ; une en automne 2011 (15,4°C à Paris) et une en hiver 2012 (4°C). Trois sites d'études (appartement, bureau administratif et crèche) ont été sélectionnés en raison de leur forte proportion de matériaux, équipements et mobiliers

synthétiques (notamment bureaux et crèches). Selon les préconisations de l'Office Fédéral de la Santé Publique suisse (OFSP, 2012), les prélèvements en appartement furent effectués dans la chambre. Ces travaux ont montré que les alkylphénols étaient décelés aux concentrations les plus importantes après les phtalates. **Pour la majorité des molécules étudiées dans ENDOCRINAIR, l'air intérieur apparaît nettement plus contaminé.** Alors qu'un rapport entre l'air intérieur et extérieur de 1 à 10 peut apparaître pour certains composés, ce rapport peut atteindre 80 pour les alkylphénols. Quelle que soit la campagne, les concentrations gazeuses en NP sont plus élevées dans la crèche, comparativement aux autres sites. Cette contamination pour la crèche pourrait résulter d'émissions locales du bâti dans la mesure où ces composés sont utilisés marginalement comme additifs dans certains matériaux de construction (bétons, ciments et peintures). Elle pourrait être également le reflet d'une utilisation quotidienne intensive de détergents pour l'entretien des surfaces.

I.2 Retombées atmosphériques totales

Les RAT ont été étudiées dans le cadre des programmes ENDOCRINAIR et INOGEV. La Figure 6 illustre la contamination typiquement observée dans les RAT pour les composés nonylphénoliques (NP, NP1EO, NP2EO). Typiquement, les niveaux de contamination fluctuent de quelques dizaines de ng.l^{-1} à une centaine de ng.l^{-1} . Le NP composé le plus volatil ($K_H = 3 - 4 \text{ Pa.m}^3.\text{mol}^{-16}$) est majoritaire pour toutes les campagnes. Bien que certains auteurs suggèrent que la température soit susceptible d'influencer la volatilisation de ces composés dans l'atmosphère (Dachs *et al.* 1999, Van Ry *et al.* 2000), aucune tendance saisonnière ne peut être clairement mise en évidence. A l'instar de ce qui a été observé pour la qualité de l'air, **les niveaux relativement homogènes d'une période à une autre, et d'une station à une autre confirment une dissémination importante à l'échelle du bassin de la Seine.** Ces molécules utilisées depuis 1960 ont été largement répandues et leur emploi est encore d'actualité dans plusieurs produits domestiques et applications industrielles.

⁶ K_H : constante de Henry, traduit le potentiel de volatilisation d'une substance.

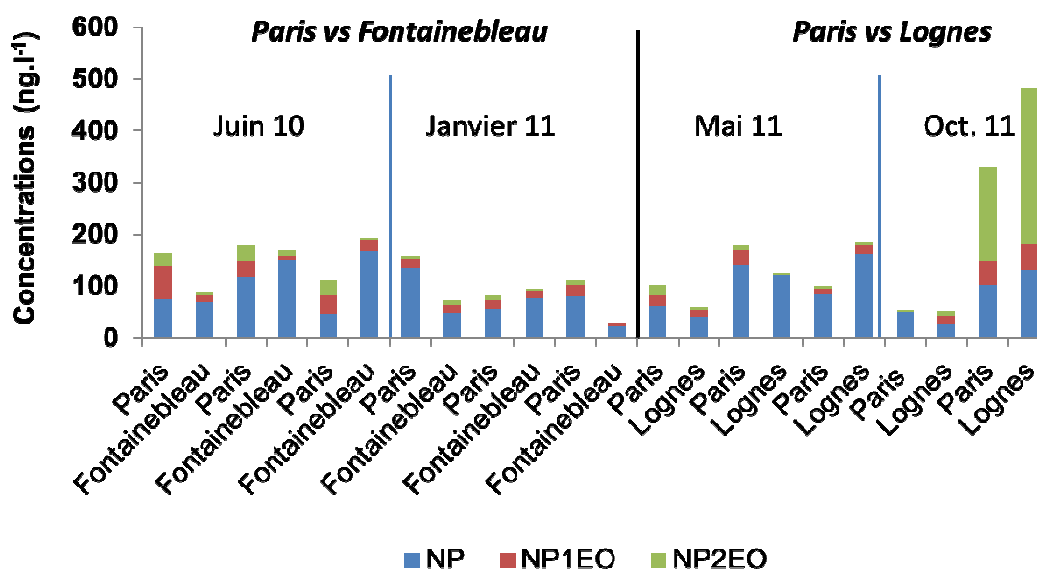


Figure 6 : concentrations en alkylphénols (ng.l^{-1}) dans les retombées atmosphériques totales sur 3 stations (Paris, Fontainebleau et Lognes)

Pour le BPA, les niveaux des RAT varient typiquement entre 21 et 70 ng.l^{-1} et sont cohérentes avec celles reportées par Peters *et al.* (2008) ou Vethaak *et al.* (2005). Les différences de concentrations entre Fontainebleau et les sites de Lognes et Paris tendent à confirmer les une spatialisation marquée des concentrations du BPA dans les eaux de pluie aux Pays-Bas. **Cette dernière pourrait provenir du très faible temps de demi-vie du BPA dans l'atmosphère (4 heures) (Cousins *et al.* 2002), et ainsi expliquer la faible dispersion constatée à l'échelle du bassin de la Seine.**

Même si l'échelle d'échantillonnage diffère entre INOGEV et ENDOCRINAIR (collecte sur 2 semaines *vs.* échantillonnage à l'échelle de l'événement pluvieux), les résultats obtenus pour les RAT sont relativement proches pour les composés nonylphénoliques. Seul le BPA présente des concentrations dans les RAT sur Sucy-en-Brie ($3\text{-}25 \text{ ng.l}^{-1}$) nettement inférieures aux concentrations mesurées sur Paris et Lognes. Cette différence pourrait résulter d'une proximité entre lieux de prélèvements et sources de contamination, telles des façades d'immeubles.

II. Qualité des eaux de ruissellement

II.1 Hydrocarbures aliphatiques ou aromatiques et métaux

Au cours de mon doctorat, la qualité des eaux de ruissellement a été examinée au regard des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et aliphatiques (HA), et plus marginalement des métaux. Un premier travail a ainsi été mené sur la qualité des eaux de ruissellement de toitures comparativement aux retombées atmosphériques totales (Rocher *et al.* 2004).

Les eaux de ruissellement de chaussées ont été évaluées selon deux approches :

- en collaboration avec la Direction de la Voirie et des Déplacements (DVD) de la Ville de Paris, en investiguant la pollution en hydrocarbures et métaux associée aux sédiments de stations de relevage⁷,
- en collaboration avec le Service Technique de la Propreté de la Ville de Paris avec l'étude des eaux de lavage de la voirie (Gasperi *et al.* 2005a, Gasperi *et al.* 2005b).

Les travaux sur les eaux ruisselées depuis des toits ont permis de montrer : (1) que le processus de lessivage dépend principalement de la hauteur d'eau précipitée et peu des caractéristiques des événements pluvieux et (2) que le dépôt accumulé sur le toit durant les périodes de temps sec contribue peu à la pollution de ses eaux de ruissellement (Rocher *et al.* 2004). Dans un second temps, ces travaux ont montré que, quel que soit le type de couverture, **les matériaux constitutifs des toitures ne représentent pas une source d'hydrocarbures.** C'est par contre différent pour les métaux. Les toits en zinc émettent de grandes quantités de Zn et de Ti (flux respectivement 80 et 30 fois supérieurs aux flux atmosphériques) et les couvertures en ardoises relarguent principalement du Pb et du Cu.

Les deux études sur les eaux de ruissellement de chaussées apportent des informations différentes mais complémentaires sur leur qualité. La caractérisation des sédiments extraits de nombreuses stations de relevage situées le long des axes routiers majeurs (voies sur berges et voies périphériques) apporte une vision globale de la pollution associée aux eaux de ruissellement de chaussées (Gasperi *et al.* 2005a). Les teneurs en hydrocarbures sont de 2 à 3 fois plus fortes que les sédiments collectés au sein d'ouvrage autoroutier. Pour les métaux, **une diminution des teneurs en Pb, conséquence positive de la limitation des émissions automobiles, et une augmentation des teneurs en Cu, probablement liée à l'utilisation intensive des systèmes de freinage ou à l'augmentation du trafic automobile sur les axes routiers considérés, ont été notées.** L'étude qualitative de la pollution en hydrocarbures a souligné la combinaison d'apports biologiques (végétaux) et pétroliers (huiles lubrifiantes, carburants) alors que la pollution en HAP est majoritairement pyrolytique (particules d'échappement) avec des traces de contaminations pétrolières.

A l'échelle du bassin du Marais, l'étude sur le lavage de la voirie a démontré que les eaux de lavage entraînent des quantités importantes d'hydrocarbures et de métaux comparativement

⁷ Dans les tunnels routiers, où les conditions topographiques ne permettent pas l'écoulement gravitaire des eaux de ruissellement de chaussées, des systèmes de pompage des eaux de ruissellement sont implantés. Ces structures sont appelées stations de relevage.

aux flux à l'exutoire. Ces travaux témoignent également d'une production locale importante au niveau des chaussées. Les flux de HA et de HAP lors du lavage de la voirie ont été respectivement estimés à 250 et 18 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ (mètre linéaire de chaussée nettoyée). Pour les métaux, le flux de Zn (3 800 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$) est le plus élevé. Des quantités importantes de Ba, Cu, Ni, Pb et V sont également introduites dans le réseau lors du lavage ; les flux totaux variant entre 1 300 et 1 900 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$.

II.2 Alkylphénols, bisphénol A et polybromodiphényléthers

Les processus d'émission et de transfert de divers polluants urbains de l'atmosphère à l'exutoire d'un bassin versant ont été abordés au cours du projet INOGEV. Sont considérés les HAP, les pesticides, les métaux, les PBDE, les alkylphénols et le bisphénol A. Le projet INOGEV poursuit actuellement les campagnes d'échantillonnage.

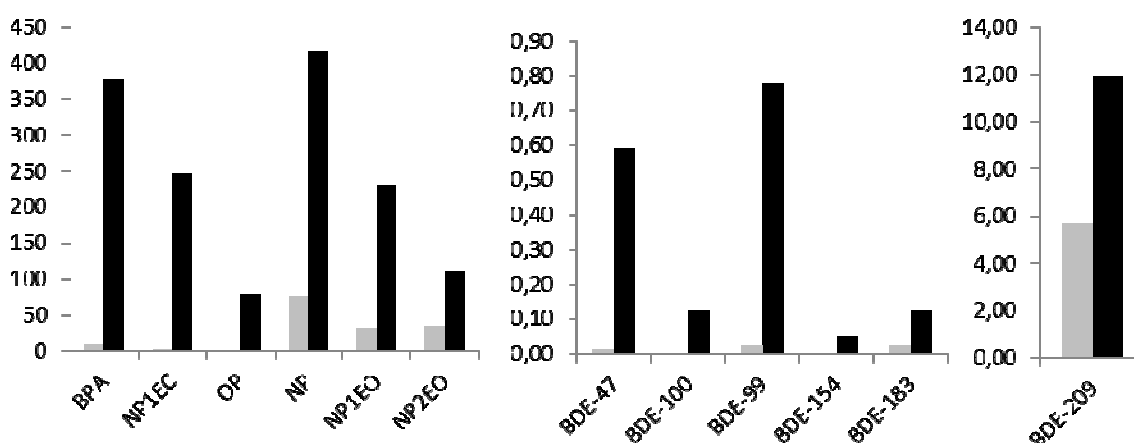


Figure 7 : concentrations en alkylphénols, bisphénol A (BPA) et PBDE (ng.l⁻¹) dans les retombées atmosphériques totales (en gris) et dans les eaux de ruissellement (en noir)

Bien que la valorisation des résultats soit en cours, différentes conclusions peuvent être dès à présent dressées. Les résultats présentés Figure 7 pour l'événement du 18 juillet 2011 à l'exutoire du bassin de Sucy-en-Brie illustrent parfaitement ces conclusions. Qu'il s'agisse des alkylphénols, du BPA ou des PBDE, et quel soit l'événement pluvieux considéré, un net enrichissement des concentrations est observé entre les concentrations des RAT et les eaux de ruissellement. Cet enrichissement est particulièrement marqué dans le cas du BPA, de certains alkylphénols (NP1EC, NP1EO). Il est principalement dû à des apports locaux et au lessivage des surfaces urbaines et/ou de matériaux de génie civil contenant ces molécules. A titre d'exemple, Björklund *et al.* (2010) estiment que les véhicules (114 $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$) et les bétons (28 $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$) émettent des quantités importantes de NP dans les eaux de ruissellement.

A terme, ce projet permettra de mieux comprendre les processus d'émission à l'échelle du

bassin versant urbain. Les flux de polluants par hectare actif seront évalués et seront comparés entre les différents bassins. Une comparaison entre flux à l'exutoire et flux atmosphériques sera également menée. Leurs variabilités en fonction des caractéristiques des événements pluvieux (précipitations, intensité, durée de temps sec) seront aussi appréhendées. Enfin, la contribution des apports atmosphériques à la pollution véhiculée à l'exutoire des réseaux séparatifs sera évaluée.

BILAN DES ACTIVITES « DE L'ATMOSPHERE AUX EAUX DE RUISSELLEMENT »

Le bloc « *De l'atmosphère aux eaux de ruissellement* » couvre les thématiques « qualité de l'air » et « eaux de ruissellement ».

Bien que certaines investigations aient été menées dès 2007 (en particulier sur les hydrocarbures pour les eaux de lavage de la voirie et les eaux de ruissellement de toitures), ce bloc se structure autour de projets en cours de finalisation et de valorisation. Quel que soit le projet, de nombreuses collaborations scientifiques et opérationnelles ont été établies (4 partenaires pour ENDOCRINAIR, 5 pour INOGEV).

Tableau 3 : bilan des activités « *De l'atmosphère aux eaux de ruissellement* »

Thèmes	Projets	Collaborations	Publications
Qualité de l'air	ENDOCRINAIR (Interaction avec PIREN-Seine)	UMR Sisyphe, LSPE, CSTB et Airparif	2* + Plaquette ANSES
Eaux de ruissellement	Doctorat (Interaction avec OPUR phase 2)	Service propreté Ville de Paris	3
Eaux de ruissellement	INOGEV (Interaction avec OPUR phase 3)	SCA-CNRS, LMSPC, IFSTTAR, LGCIE, CEREA	2*

* *Publication en cours de rédaction*

Le programme ENDOCRINAIR s'est terminé fin 2012 et le travail de valorisation a débuté. Deux articles sur la contamination de l'air intérieur et extérieur par les perturbateurs endocriniens sont en cours de rédaction. L'information du grand public fera par ailleurs l'objet d'une plaquette préparée en collaboration avec l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) en 2013.

Le projet INOGEV (fin en 2014) poursuit actuellement les campagnes d'échantillonnage qui

doivent s'achever mi-2013. Une première synthèse, que je coordonne sur les flux de polluants à l'exutoire des bassins versants urbains est en cours de finalisation. D'autres articles scientifiques sur les processus de transfert mais aussi sur les différentes innovations de gestion des eaux pluviales sont en cours à l'étude. Ce projet concrétise le rapprochement des différents observatoires en hydrologie urbaine et pose les bases de collaborations pérennes.

PERSPECTIVES SUR LES EAUX DE RUISSELLEMENT

Mes travaux et ceux des autres équipes (Becouze-Lareure 2010, Birch *et al.* 2011, Lamprea 2009) confirment que les eaux pluviales véhiculent un large panel de polluants, et sont donc susceptibles de transférer des polluants vers les milieux récepteurs. Après une prise de conscience dès les années 1990 de l'importance de ce phénomène, la loi sur l'eau de 1992⁸, renforcée par ses modifications successives (2006, 2008), a imposé aux collectivités territoriales de définir une stratégie de gestion des eaux pluviales dans les Plans Locaux d'Urbanisme. Plus récemment, et afin d'atteindre les objectifs de « bon état » de la DCE, cette stratégie a été clairement identifiée comme une action prioritaire pour réduire le rejet de substances dans les milieux.

Plusieurs moyens d'action pour maîtriser les flux de polluants liés aux eaux pluviales se développent actuellement. Ces moyens peuvent se combiner d'amont en aval d'un bassin versant par des actions préventives et/ou curatives. Certaines actions préventives sont envisagées telles que : (1) l'utilisation de matériaux de construction limitant l'exportation de polluants par corrosion ou érosion, (2) la limitation des surfaces imperméabilisées, (3) la réduction de la collecte des eaux de ruissellement.

A l'amont, des « techniques alternatives » ont été implantées. Ces ouvrages correspondent à des bassins de stockage et/ou d'infiltration. Elles sont mises en place à différentes échelles spatiales : de la parcelle au quartier ou à l'échelle d'infrastructures urbaines (routes, chaussées, etc.). Initialement conçues sur l'aspect hydraulique et non dans l'objectif d'amélioration de la qualité des eaux pluviales, certains travaux se sont intéressés à l'effet de ces techniques sur les flux de polluants (Bressy *et al.* 2012, Dechesne *et al.* 2004, Eriksson *et al.* 2007, Strecker *et al.* 2001, Weiss *et al.* 2007). Ces travaux démontrent que la plupart de ces techniques permettent une réduction des masses de contaminants, en augmentant les pertes initiales et continues en eau, et en favorisant la décantation des particules ou

⁸ La Loi sur l'eau de 1992 impose aux communes de délimiter des zones où des mesures doivent être prises pour limiter l'imperméabilisation des sols, maîtriser les débits et assurer l'écoulement des eaux.

l'adsorption de substances dissoutes.

A l'aval, des ouvrages centralisés de gestion des eaux pluviales sont également mis en place par les collectivités. Les bassins de décantation enterrés ou à ciel ouvert sont les plus couramment implantés au sein d'un réseau de collecte. Des ouvrages compacts couplant bassin de stockage et traitement par décanteur lamellaire (avec ou sans adjonction de coagulant-floculant) sont apparus plus récemment. Si l'efficacité de ce type d'équipement commence à peine à être connue pour les particules ou les pollutions carbonées, peu d'informations sont aujourd'hui disponibles sur leur efficacité vis-à-vis des polluants organiques véhiculés par les eaux pluviales. Encore plus récemment, les systèmes de dépollution extensifs deviennent aujourd'hui une alternative intéressante pour le traitement des eaux pluviales. Parmi ces systèmes, les filtres plantés de roseaux, largement utilisés pour le traitement des eaux usées, intéressent de plus en plus de collectivités de par leur caractère rustique et leur simplicité de mise en œuvre. Si certains travaux ont souligné la pertinence de cette technique pour les particules, les métaux et les hydrocarbures (Giroud *et al.* 2007, Molle *et al.* 2010, Revitt *et al.* 2004, Shutes *et al.* 1999), les données manquent pour les autres polluants. Quel que soit le type d'ouvrage, plusieurs questions peuvent être formulées : (1) Quels sont les polluants retenus parmi ceux véhiculés par les eaux pluviales ? (2) Quels sont les processus en jeu ? (3) Quelles variables gouvernent cette efficacité ? A ces questions, peuvent également s'ajouter des questions organisationnelles et de pratiques de l'ouvrage.

Face au manque de données sur l'ensemble des polluants organiques véhiculés par les eaux pluviales, je souhaite m'intéresser dans les années à venir à l'efficacité des ouvrages centralisés de traitement des eaux pluviales. Il s'agira d'une part de déterminer leur efficacité mais également les processus d'élimination.

A court terme, deux sites ont été retenus dans la phase 4 d'OPUR (2012-2017) : (1) un bassin de stockage et de traitement des eaux pluviales par décanteur lamellaire et (2) un filtre planté de roseau. Le bassin de stockage est celui de Sucy-en-Brie (94), supervisé par la Direction des Services de l'Environnement et de l'Assainissement (DSEA) du Conseil Général du Val de Marne. Le second ouvrage correspond au filtre planté de roseaux de Saint Germain les Arpajon (Essonne, 91), géré par le syndicat mixte de la vallée de l'Orge Aval (SIVOA). Ce système sera étudié en collaboration avec le CETE Île-de-France (P. Branchu) et le SIVOA (P. Montcaut et T. Foucart). A moyen terme, d'autres ouvrages centralisés pourront être étudiés tels que les bassins en eau ou d'autres ouvrages couplant des nouvelles technologies de traitement.

En alliant ces informations avec celles délivrées sur la gestion amont (travaux de MC. Gromaire, LEESU), une vision élargie et intégrée de la gestion des eaux pluviales au regard des micropolluants pourra être ainsi proposée à moyen terme.

MICROPOLLUANTS ET RESEAUX D'ASSAINISSEMENT

QUALITE DES EAUX RESIDUAIRES URBAINES ET RUTP

Plusieurs études consacrées à la pollution des RUTP ont souligné leur impact sur les milieux naturels (Krejci *et al.* 1987, Pitt *et al.* 1995, Seidl *et al.* 1998). Selon Pitt *et al.* (1995), ces rejets sont l'une des principales causes de dégradation de la qualité du milieu récepteur. Depuis cette prise de conscience, la gestion des eaux pluviales a pris une place croissante dans les problèmes d'assainissement. Les investissements prévus à cet effet visent non seulement l'application de la directive européenne relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (Directive ERU 91/271/CE, 1991) mais aussi le « bon état » imposé par la DCE. Cependant, si les recherches menées jusqu'à présent sur les eaux usées et les RUTP se sont principalement focalisées sur quelques substances prioritaires de la DCE (typiquement les métaux et les HAP), les données sont insuffisantes pour la mise en œuvre de prescriptions et d'actions prioritaires. Postérieurement aux travaux que j'ai initiés sur les RUTP, seules Becouze-Lareure (2010) (en France) et Birch *et al.* (2011) (au Danemark) évaluent leur contamination vis-à-vis de nombreux polluants. C'est la raison pour laquelle depuis 2007 une part conséquente de mes travaux porte sur **la caractérisation physico-chimique des eaux usées et des RUTP pour les HAP (Gasperi 2006), les APnEO et PBDE (Cladière 2012, Gilbert 2011), le bisphénol A (Cladière 2012) et les phtalates (Bergé 2012)**. Les travaux sur les RUTP s'appuient notamment sur les résultats obtenus sur les eaux de ruissellement (partie « *De l'atmosphère aux eaux de ruissellement* »).

Au-delà de l'approche qualitative (quelle substance ? quelle concentration ?), la compréhension des mécanismes de production et de transfert des polluants véhiculés par les RUTP est nécessaire pour établir des actions et des stratégies de réduction. A l'échelle nationale comme européenne, différentes actions de recherche ont été menées dans cet objectif (Ashley & Crabtree 1992, Bertrand-Krajewski *et al.* 1998, Krejci *et al.* 1987). En vue d'améliorer les connaissances concernant les sources, les caractéristiques et les mécanismes de génération et de transport dans un réseau d'assainissement unitaire, la première phase d'OPUR (1994-2000) s'est intéressée à ces mécanismes aux différents niveaux de cheminement de l'eau en milieu urbain à l'échelle d'un petit bassin versant urbain (Le Marais,

4^e arrondissement, 42 ha). Cette phase poursuivait trois objectifs : (1) caractériser la pollution issue des eaux de ruissellement, des eaux usées et des effluents unitaires de temps de pluie, (2) étudier les mécanismes de formation et de transfert de cette pollution en surface et dans le réseau d'assainissement unitaire et, (3) évaluer sur un même site la contribution des différentes sources à la pollution des effluents unitaires de temps de pluie.

Les résultats obtenus sur ce bassin ont montré une évolution importante des flux des polluants entre l'entrée et la sortie du réseau d'assainissement lors d'événements pluvieux (Gromaire 1998) mais aussi une modification de leur nature. Ce point révèle que le réseau d'assainissement n'est pas seulement un système de transport, mais aussi un réacteur physico-chimique qui conditionne par ses caractéristiques la qualité des eaux en milieu urbain. Par la suite, diverses investigations ont permis d'évaluer la contribution des eaux usées, des eaux de ruissellement et des échanges avec le réseau, aux flux de polluants générés par temps de pluie. Les bilans massiques réalisés entre les flux entrant et ceux transitant à l'exutoire ont souligné le rôle majeur des stocks constitués au sein du réseau lors d'événements pluvieux. Pour les MES et la matière organique, Gromaire (1998) estime que l'érosion des dépôts contribue entre 40 et 80 % de la masse rejetée par temps de pluie. Ahyerre (1999) identifie la « couche organique » comme le dépôt érodé. Alors que le bassin du Marais présentait des conditions de transport solide défavorables entraînant un encrassement du réseau, il demeurait important d'évaluer la représentativité de ces résultats à des bassins versants plus vastes. **Cette question fut l'objet de la phase 2 d'OPUR et a été l'objet pour parties de mes travaux de doctorat.**

En terme de gestion des RUTP, et puisque les MES constituent le principal vecteur des polluants, la décantation fut recommandée comme moyen efficace de traitement (Bertrand-Krajewski *et al.* 2000, Gromaire 1998, Michelbach & Wei 1996). Or pour concevoir, dimensionner et gérer les ouvrages de traitement par décantation, une connaissance fine de (1) la vitesse de sédimentation des particules et (2) de la vitesse de sédimentation des divers polluants associés à ces particules est nécessaire. La distribution des polluants selon la vitesse de chute des MES est susceptible de différer de celle des MES suite à la propension de certains polluants à se lier aux particules les plus fines (Colandini *et al.* 1995, Krein & Schorer 2000). De ce fait, l'efficacité de la décantation peut varier en fonction du polluant considéré. En raison du manque d'informations sur la vitesse de sédimentation des MES et à la forte variabilité des résultats entre études, deux protocoles de mesure (VICAS, Chebbo *et al.* 2003 et VICPOL, Gromaire *et al.* 2003) ont été conçus pour mesurer des vitesses de

sédimentation directement sur l'effluent brut (sans prétraitement de l'échantillon susceptible de modifier les caractéristiques des particules), ou immédiatement après échantillonnage (pour éviter les biais liés à la conservation). Ces deux protocoles de mise en œuvre très simple sont basés sur la mesure de la décantation en colonne, en eau calme. Dans la phase 2 d'OPUR et parallèlement à l'étude de la représentativité de différents bassins versants, les vitesses de sédimentation des MES et des différents polluants particulaires dans les effluents unitaires de temps de pluies ont été étudiées (Gasperi *et al.* 2009b, Kafi 2006). **Mes travaux de doctorat avaient pour finalité de déterminer les vitesses de sédimentation des HAP des effluents unitaires de temps de pluie.**

ACTIVITES DE RECHERCHE « MICROPOLLUANTS ET RESEAUX D'ASSAINISSEMENT »

I. Approches méthodologiques

Dans un premier temps, mes travaux sur les eaux résiduaires urbaines ont surtout porté sur les pollutions carbonées, azotées et phosphorées et les hydrocarbures. Depuis, ils se sont poursuivis en élargissant le panel des molécules : polluants prioritaires de la DCE, diverses substances pertinentes (n=88), APnEO et PBDE (thèse de S. Gilbert, 2008-2011) et phtalates (thèse A. Bergé, 2009-2012). La qualité des eaux résiduaires a été et continue d'être abordée à différentes échelles spatiales (Figure 4) :

- en sortie d'habitations avec les effluents domestiques (Gasperi *et al.* 2006b ; Bergé, 2012) ;
- en sortie d'installations industrielles (Bergé 2012) ;
- à l'échelle du bassin versant du Marais et de Paris *intra-muros* avec les dispositifs expérimentaux de la phase 2 d'OPUR sur 6 bassins versants emboîtés (Gasperi *et al.* 2008c, Gasperi *et al.* 2006a, Gasperi *et al.* 2007) ;
- en entrée de STEP (Bergé *et al.* 2012, Gasperi *et al.* 2010b, Gilbert *et al.* 2012).

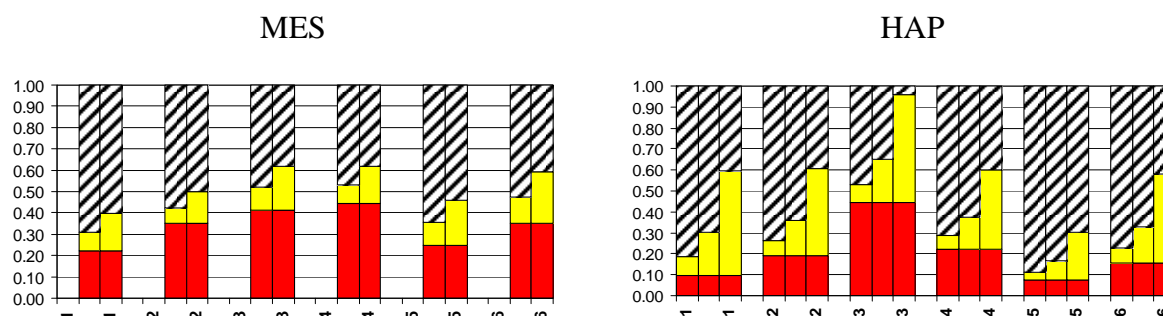
Une des originalités de mes travaux est d'étudier la qualité des eaux résiduaires urbaines non seulement par temps sec mais aussi par temps de pluie (Gasperi *et al.* 2008c, Gasperi *et al.* 2006a) et ce, toujours à différentes échelles spatiales :

- au sein des émissaires du réseau parisien (Gasperi *et al.* 2006a, Kafi *et al.* 2008) ;
- au niveau des déversoirs d'orages (Gasperi *et al.*, 2011) ;
- en entrée de STEP (Gasperi *et al.* 2008a, Gilbert *et al.* 2012).

II. Synthèse sur les hydrocarbures à l'échelle de Paris *intra-muros*

Les études menées sur le bassin du Marais ou à l'échelle des dispositifs expérimentaux d'OPUR 2 informent sur le transfert des hydrocarbures à différentes échelles spatiales par temps sec et par temps de pluie (Gasperi *et al.* 2008b, Gasperi *et al.* 2007, Kafi *et al.* 2008).

Par temps sec et par temps de pluie, ces études révèlent une **homogénéité spatiale des concentrations et des flux aux échelles considérées** (de 42 à 2 580 ha). Par temps sec, les flux sont corrélés au nombre d'équivalent homme azote (EHN, soit 12 g de NH_4^+). Une production journalière de l'ordre de 0,34 mg.EHN⁻¹ a été estimée pour la somme des HAP. Par temps de pluie, les flux médians ont été estimés entre 93 et 251 mg.ha actif⁻¹. Aucune évolution de la répartition dissous - particulaire n'a été observée entre les bassins versants.



Bassins versants de 1 à 6 : Marais, Sébastopol, Quais, Clichy centre, Coteaux aval et Clichy ava (Figure 4).

Pour les MES, deux hypothèses de calcul, médianes et concentrations maximales pour les eaux de ruissellement. Pour les HAP, trois hypothèses de calcul, minimales, médianes et concentrations maximales pour les eaux de ruissellement.

Figure 8 : contributions aux flux de MES et HAP, des eaux usées (rouge), des eaux de ruissellement (jaune) et des échanges avec le réseau (gris) pour les différents bassins versants étudiés dans la phase 2 d'OPUR

Par temps de pluie, les résultats ont souligné une **homogénéité spatiale des processus de transfert au sein du réseau parisien** (Gasperi *et al.* 2010a, Figure 8). Quel que soit le bassin considéré, l'érosion des stocks constitue une source importante de MES, de HAP et dans une moindre mesure de HA. Selon une hypothèse médiane, la contribution du stock est estimée entre 47 et 69 % pour les MES et entre 20 et 80 % pour les hydrocarbures. Ces résultats ont été depuis confirmés grâce à l'analyse du transport solide en réseau d'assainissement unitaire par temps de pluie et à l'exploitation de données de turbidité acquises sur ces bassins (Hannouche 2012). Au-delà d'une certaine intensité, la contribution maximale avoisine 80 %. Les contributions des eaux de ruissellement divergent selon les familles de composés considérés. Elles contribuent faiblement pour les HAP (9-21%), mais s'avèrent la principale source de pollution pour les HA (41-89 %). Les eaux usées représentent également une

fraction non négligeable des flux de temps de pluie (entre 8 et 45% selon le polluant).

La nature des particules est également homogène sur les six bassins. Les expérimentations menées grâce au dispositif VICPOL ont montré que les HAP présentent des vitesses de chute quasi-systématiquement supérieures à celles des MES (Gasperi *et al.* 2009b, Gromaire *et al.* 2008). **Ceci traduit que la fraction de MES qui sédimente le plus rapidement est celle qui contient la plus forte proportion de HAP.**

III. Synthèse sur les polluants prioritaires et les substances pertinentes

Plusieurs études sur les polluants prioritaires et quelques substances pertinentes ont été menées pour les eaux résiduaires urbaines. **Une première fut effectuée en collaboration avec la Direction de l'Eau et de l'Assainissement de la Ville de Paris (Gasperi *et al.* 2008a) à l'échelle du réseau parisien. Une seconde dans le cadre d'OPUR3 visait à caractériser pour un large panel de molécules (polluants prioritaires et substances pertinentes) la qualité des eaux usées et des RUTP. Cette étude s'est appuyée sur la méthodologie développée par Zgheib (2009).** Les connaissances sur les polluants prioritaires pour les eaux usées, les RUTP et les eaux de ruissellement ont été synthétisées dans Gasperi *et al.* (2011) **dont est extraite la Figure 9. Cette étude reprend des résultats la qualité des eaux de ruissellement, issus du thème « De l'atmosphère aux eaux de ruissellement ».**

Cette synthèse confirme que de nombreuses substances prioritaires sont présentes dans les eaux usées (n=54), les eaux de ruissellement (n=55) et les RUTP (n=49) dont les HAP, les PCB, les alkylphénols, les PBDE, les composés organiques volatils (COV) et les pesticides. Cette observation témoigne de la dissémination importante de ces composés dans nos environnements urbains. Bien que les concentrations observées dans les trois types d'eaux varient dans les mêmes ordres de grandeur, quelques différences subsistent.

Pour les polluants hydrophobes et les métaux particuliers, les concentrations des RUTP excèdent celles des eaux usées et des eaux de ruissellement, dû à la remise en suspension des dépôts formés au sein du réseau. Pour les pesticides ou le Zn, les eaux de ruissellement contribuent majoritairement à la pollution des RUTP, tandis que les eaux usées demeurent la source majoritaire de COV. Pour les DEHP et organo-étains, les concentrations mesurées sont comparables pour tous les types d'eau. Comme en témoignent les premiers et derniers déciles, une variabilité inter-événementielle significative des concentrations est observée pour les RUTP et les eaux de ruissellement.

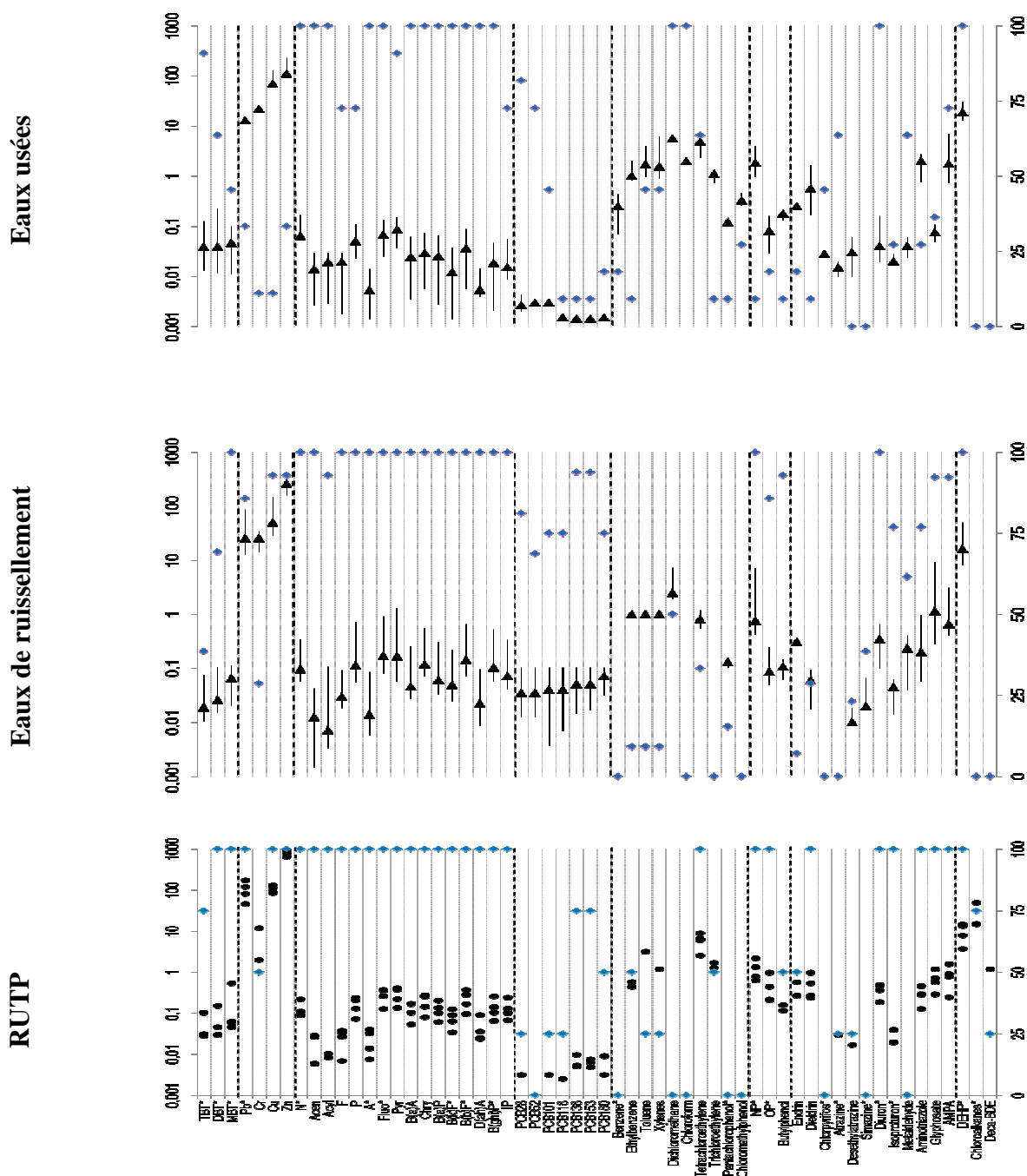


Figure 9 : synthèse des travaux menés sur les eaux urbaines - qualité des eaux usées, des eaux de ruissellement et des RUTP

Concentrations en $ng.l^{-1}$, axe des ordonnées de gauche, échelle log. Losange bleu = fréquence de quantification (en %), axe des ordonnées de droite. Pour les eaux usées ($n=11$) et les eaux de ruissellement ($n=17$), la valeur médiane (triangles noir) et les premiers et derniers déciles sont présentés. Pour les RUTP, les concentrations totales de chaque déversement (rond noir) sont illustrées.

Pour les eaux de ruissellement, la comparaison entre les concentrations et les normes de qualité environnementale (NQE) souligne un risque notable pour plusieurs molécules. Pour atteindre les NQE dans les eaux pluviales, des facteurs de dilution entre 1 et 10 sont requis

pour le diuron, le fluoranthène et le benzo(a)pyrène pour atteindre les NQE, mais des facteurs plus importants (> 10) sont nécessaires pour le DEHP, le Pb, le NP et pire encore (>100) pour les HAP (somme B(b)F + B(k)F et somme IP + B(ghi)P) et le tributyl étain. Une tendance similaire est observée pour les RUTP.

IV. Synthèse sur les alkylphénols et les polybromodiphényléthers

Un des objectifs de la thèse de Solène Gilbert était de caractériser les eaux résiduaires urbaines et les effluents de temps de pluie vis-à-vis des alkylphénols et des PBDE (Gilbert 2011). Les eaux alimentant deux STEP (Seine Amont et Seine Centre) ont été considérées. **Les principales conclusions de ce travail ont mis en évidence entre les deux sites une différence de niveaux de concentrations pour la plupart des polluants et une différence de dynamique par temps de pluie.**

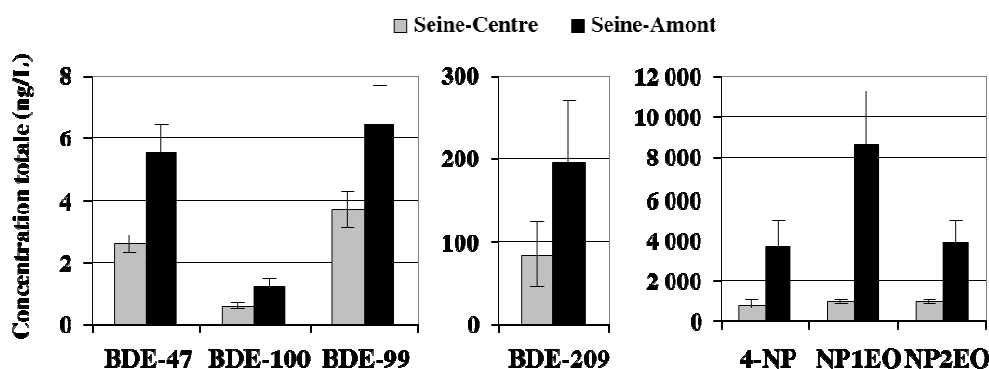


Figure 10 : concentrations des eaux résiduaires urbaines pour les APnEO et PBDE

Les eaux usées de Seine Amont présentent des concentrations plus élevées en APnEO et en PBDE que celles de Seine Centre (Figure 10). Même si ceci est lié en partie à la dilution des eaux usées de Seine Centre par des eaux parasites, la normalisation des concentrations à NH_4^+ confirme l'existence d'apports locaux non négligeables de polluants. Ces apports pourraient être d'origine industrielle dans la mesure où l'action 3RSDE confirme le raccordement de nombreux d'établissements industriels à Seine Amont et la présence des PBDE et des APnEO dans leurs effluents.

Par temps de pluie, la dynamique diffère au sein des réseaux. Les effluents de Seine Centre semblent être très sensibles aux conditions de temps de pluie, du fait de la présence d'un réseau unitaire subissant une forte sédimentation par temps sec. Les effluents sur Seine Amont, station alimentée par un réseau partiellement séparatif, semblent être moins impactés par le temps de pluie. Alors qu'une augmentation nette des pollutions particulières due à la remise en suspension des dépôts est observée sur Seine Centre, cette dynamique est moins

marquée pour les MES, APnEO et PBDE pour le réseau de Seine Amont. En termes de distribution des micropolluants étudiés, aucune variation n'est observée entre le temps sec et le temps de pluie et ce, quel que soit le site. En revanche, la proportion de la phase particulaire tend à augmenter par temps de pluie pour les APnEO.

V. Synthèse sur les phtalates

Les phtalates ont été étudiés dans le cadre de la thèse d'Alexandre Bergé réalisée en collaboration avec le Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris (LCPP) et la Société des Eaux de Versailles et de Saint-Cloud (SEVESC) gestionnaire du réseau d'assainissement pour le compte du Conseil Général des Hauts-de-Seine (CG92). Une approche sensiblement différente a été adoptée au cours de ce travail dans la mesure où il ne se limitait pas aux eaux usées domestiques, mais impliquait également des effluents industriels.

Pour les eaux usées, nous avons pu souligner : (1) la forte dissémination des phtalates dans les eaux résiduaires urbaines, malgré les restrictions d'usages et de productions de certains composés, (2) l'homogénéité spatio-temporelle de la contamination en phtalates et la stabilité de leur distribution dans les eaux usées.

Pour les rejets industriels, il s'agissait : (1) d'établir un bilan de la contamination par les phtalates des rejets industriels en Île-de-France, (2) d'en évaluer la contribution à la pollution véhiculée à l'exutoire des réseaux d'assainissement. **L'aspect original et l'apport significatif de cette thèse résident dans le calcul de flux d'activités industrielles et dans une estimation de leur contribution à l'échelle parisienne.** Si le tissu artisanal (garages, stations-service, restaurants, etc.) n'a pu être considéré dans notre étude, les effluents générés par 11 secteurs d'activités différents sur un ensemble de 33 sites ont été considérés. Au total, 101 rejets industriels ont fait l'objet de prélèvements (Bergé 2012, Bergé *et al.* 2013). La Figure 10 illustre les concentrations totales en phtalates des 11 secteurs industriels.

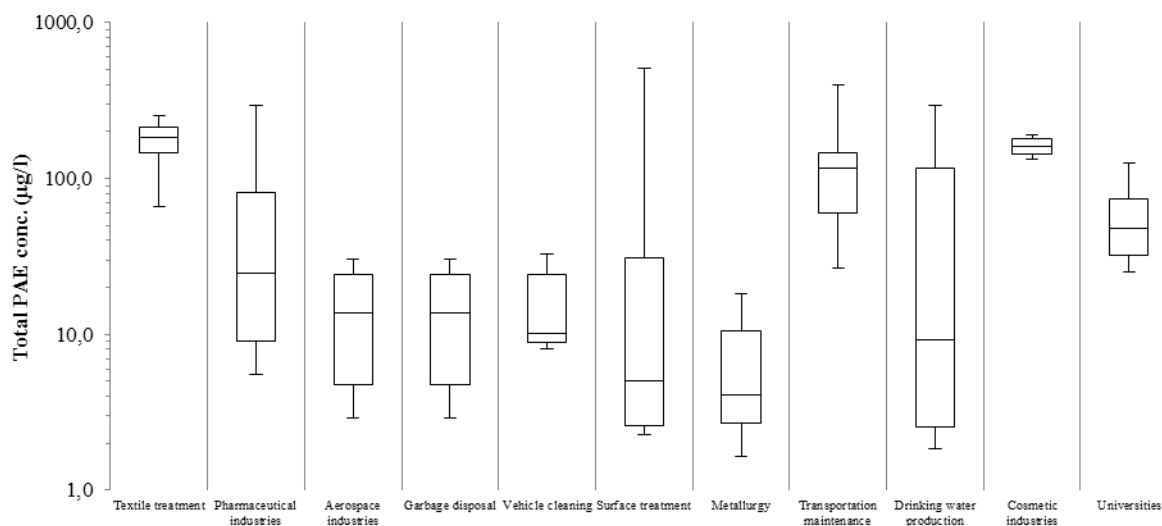


Figure 11 : concentrations de différents effluents industriels en phtalates (Bergé, 2012)

Les concentrations totales en phtalates (DEP, DnBP, BBP et DEHP) vont de 3 à 300 $\mu\text{g.l}^{-1}$ selon le secteur considéré. La disparité observée, de l'ordre de 2 décades, pourrait être liée à la nature même des activités et/ou au traitement non systématique des effluents industriels avant déversement dans le réseau. Les principaux émetteurs de phtalates à l'échelle du réseau parisien ont pu être identifiés. Ainsi, si pour le DEP et le DEHP, la contribution principale provient des industries de traitement de textiles (43 et 58 %), ce sont les industries pharmaceutiques qui arrivent en tête pour le DnBP (39 %). Ces résultats complètent ceux des campagnes 3RSDE. De manière assez surprenante, les niveaux rencontrés dans les effluents industriels sont relativement proches des niveaux observés pour les eaux usées.

Par la mesure de la contribution des rejets industriels pour les quantités de phtalates présentes dans le flux total transitant dans les STEP franciliennes, cette étude fournit également un bilan des flux industriels franciliens à l'échelle du bassin versant du SIAAP. **Ainsi, pour un bassin versant fortement urbanisé mais faiblement industrialisé comme celui de la région parisienne, la contribution des rejets industriels sur le flux total avoisine 1 à 3 % selon les substances considérées.**

BILAN DES ACTIVITES « MICROPOLLUANTS ET RESEAUX D'ASSAINISSEMENT »

Une partie importante de mes travaux a été menée sur la qualité des eaux résiduaires urbaines et des RUTP et a été valorisée par des publications nationales et internationales (Tableau 4). Les résultats les plus récents, relatifs aux phtalates, seront inclus dans un article actuellement en cours de rédaction.

Tableau 4 : bilan des activités « Micropolluants et réseaux d'assainissement »

Thèmes	Période	Collaborations	Publications
Qualité eaux usées			
HAP	2006-2012 (OPUR 2)	Ville de Paris,	2
Polluants prioritaires et substances pertinentes	2008-2012 (OPUR 3)	SIAAP,	2
APnEO / PBDE	2008-2011 (OPUR 3)	LCPP,	1
Phtalates	2009-2012 (OPUR 3)	SEVESC	3 + 1*
Qualité RUTP			
Polluants prioritaires	2007-2012 (OPUR 3)	Ville de Paris	2
APnEO / PBDE	2008-2011 (OPUR 3)	et SIAAP	1

* Publication en cours de rédaction

Cette thématique « micropolluants et réseaux d'assainissement », initiée dès mon doctorat, s'est poursuivie jusqu'à présent. Un large panel de polluants a été étudié à différentes échelles spatiales. Une attention particulière a été portée à la dynamique des réseaux par temps de pluie, mais aussi sur la contribution des activités industrielles aux flux de polluants.

J'ai encadré 2 doctorants (Bergé 2012, Gilbert 2011) et 2 stages de master (Bensaadi 2006, Manceau 2005) sur des actions relatives à cette activité. Des collaborations pérennes se sont développées avec le SIAAP, mais aussi avec les services techniques de la Ville de Paris, le LCPP et la SEVESC auprès desquels nous jouons un rôle d'experts. A ce jour, et étant donné les perspectives dans les autres thématiques que je souhaite favoriser, je n'envisage aucune perspective immédiate à cette thématique.

MICROPOLLUANTS ET FILIERES DE TRAITEMENT

FILIERES DE TRAITEMENT DES EAUX RESIDUAIRES URBAINES

Pour atteindre le « bon état » et en application de la Directive 91/271/CEE, des efforts importants ont été engagés depuis de nombreuses années pour accroître l'efficacité des filières de traitement. Ces améliorations ont conduit à une diminution sensible et quantifiable des flux de nutriments introduits dans le milieu naturel (Billen & Garnier 2009, Gonçalves *et al.* 2009). Ces actions d'aménagement et de modernisation des infrastructures permettent aussi de réduire les apports de micropolluants organiques et minéraux dans le milieu récepteur. Mais, si l'impact positif de ces aménagements sur la réduction des flux de micropolluants est réel, il est mal connu, tant globalement qu'au sein des différentes étapes du traitement.

Certains programmes de recherche (AMPERES⁹, Stratégie MicroPoll¹⁰, OPUR) se sont construits autour de cette problématique en se focalisant sur les substances prioritaires. Les connaissances relatives à la filière biologique conventionnelle de type boues activées étaient primordiales, étant donné qu'elle représente 60 % des STEP françaises. Certaines études sont disponibles pour quelques polluants historiques (Katsoyiannis & Samara 2004, Vogelsang *et al.* 2006), mais un déficit de connaissances apparaît pour les molécules récemment intégrées dans les réglementations. Dans un contexte fortement urbanisé comme celui de l'agglomération parisienne, ce déficit est encore plus marqué pour des filières modernes et compactes telles que la décantation physico-chimique lamellaire et la biofiltration, pour lesquelles les données sont extrêmement limitées. Bien que les deux techniques soient de plus en plus utilisées, seules des données sur l'élimination des pollutions carbonées et des nutriments sont publiées (Mendoza-Espinosa & Stephenson 1999, Rocher *et al.* 2006).

La décantation physico-chimique lamellaire est un procédé compact couplant la coagulation-floculation et la décantation lamellaire. Un coagulant (généralement des sels de fer) est ajouté pour déstabiliser les colloïdes (Gaïd 2008) puis l'ajout d'un flocculant (solution polymérique

⁹ AMPERES : analyse des micropolluants prioritaires et émergents dans les rejets et les eaux de surface, ANR PRECODD 2006-2009).

¹⁰ Projet Stratégie MicroPoll. Développement de mesures contre les micropolluants provenant de l'assainissement urbain.

de haut poids moléculaire) permet alors d'agglomérer les particules déstabilisées en floccs décantables. Due à sa compacité et son efficacité pour traiter les eaux usées, cette technique tend à se généraliser dans les zones urbaines denses.

La biofiltration combine des procédés de purifications physiques et biologiques en utilisant un matériau de filtration immergé (aéré ou non), sur lequel la biomasse bactérienne se développe. Les avantages de ces systèmes biologiques immergés résident dans leur compacité (faible emprise au sol), leur modularité (procédure de traitement adaptée en fonction du débit des eaux usées) et leur intensité (court temps de séjour hydraulique). En raison de ces avantages, les biofiltres sont devenus une alternative aux filières boues activées.

Conscient du déficit de données, j'ai souhaité étudié l'élimination des micropolluants organiques au sein des filières de traitement conventionnelles, mais aussi au sein des ouvrages plus compacts.

FILIERES DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS DE TEMPS DE PLUIE

Au sein des réseaux unitaires, les STEP sont soumises à de fortes variations de charges hydrauliques et polluantes lors des épisodes pluvieux. Cette tendance pourrait être aggravée si l'augmentation de l'intensité des événements pluvieux liés au changement climatique était avérée. Afin de remédier aux surverses vers le milieu, plusieurs solutions techniques ont été élaborées en terme de gestion « aval ». La première consiste à construire des bassins de traitement, visant à réduire le pic hydraulique. La seconde approche consiste à traiter un maximum d'effluents de temps de pluie au sein des stations ce qui peut s'appliquer à des STEP non modulables (cas de la plupart des STEP en France) ou à des stations qui ont la capacité de modifier et/ou d'adapter rapidement leur fonctionnement. Peu d'étude s'intéresse à ce type d'approche. **Parallèlement à l'étude des filières en mode nominal, l'originalité de mes travaux a donc consisté à étudier le fonctionnement de plusieurs filières de traitement en mode dégradé par temps de pluie.**

Une autre solution technique consiste à traiter les effluents de temps de pluie au moyen d'une unité de clarifloculation. Dans la configuration classique, les clarifloculateurs sont des ouvrages de décantation physico-chimique développés pour affiner le traitement des MES et du phosphore (Canler & Perret 2007). En configuration de temps de pluie, ces procédés peuvent être utilisés dans la prise en charge des eaux excédentaires des réseaux unitaires. Quelques études portant sur l'efficacité de ce type d'ouvrage pour le traitement des effluents de temps de pluie (Jolis & Ahmad 2004, Plum *et al.* 1998, Zhu *et al.* 2007) rapportent des

rendements d'élimination supérieurs à 60 % pour les MES. Ces informations demeurent cependant limitées, puisqu'elles ne portent que sur l'élimination des MES et non sur les nombreux polluants véhiculés par les effluents de temps de pluie (Birch *et al.* 2011). Dans ce contexte, j'ai souhaité initié des travaux sur l'unité de clarifloculation de Seine Aval et **sont synthétisés dans la partie « micropolluants et filières de traitement ».**

ACTIVITES DE RECHERCHE « MICROPOLLUANTS ET FILIERES DE TRAITEMENT »

I. Approches méthodologiques

La thématique « *micropolluants et filières de traitement* » a été initiée à mon arrivée au LEESU et s'inscrit parfaitement dans la continuité de la thématique « *micropolluants et réseaux* » en termes de polluants et de méthodologie.

Depuis 2007, je coordonne avec F. Lucas les actions menées sur les filières de traitements. A travers le thème « Efficacité épuratoire des filières de traitement des eaux résiduaires urbaines : aspects microbiologiques et physico-chimiques » (OPUR 3), les actions développées ont visé à améliorer les connaissances sur le comportement de nombreux polluants prioritaires et contaminants biologiques le long des filières de traitement des eaux résiduaires urbaines. Au cours de cette phase, les procédés conventionnels (décantation simple et traitement par boues activées) mais aussi des procédés compacts et modernes (décantation physico-chimique lamellaire, biofiltration) ont été considérés.

Tableau 5 : synthèse des expérimentations menées sur les filières de traitement

	Références	Déc classiq.	Déc PC lamellaire	Bio filtres	Boues activées	Clari flocu.
Screening	Gasperi <i>et al.</i> (2010)	3 TS	3 TS	3 TS	3 TS	
	Gasperi <i>et al.</i> (2012)					3 TP
APnEO / PBDE	Gilbert (2011)	5 TS/TP	5 TS/TP	5 TS/TP	5 TS/TP	3 TP
Parab./ Tricl.	Geara-Matta (2012)	3 TS	3 TS	3 TS	3 TS	
Phtalates	Bergé (2012)		9 TS	9 TS		

Déc classiq : décantation classique, *Déc PC lamellaire* : décantation physico-chimique lamellaire, *Clari flocu.* : clarifloculation, *TS* : temps sec ou fonctionnement nominal, *TP* : temps de pluie ou mode dégradé, *Screening.* : polluants prioritaires de la DCE plus substances pertinentes, *Parab./ Tricl* : parabènes, triclosan et triclocarban.

En collaboration avec le SIAAP, les ouvrages des STEP de Seine Centre et de Seine Amont ont été étudiés. Une première originalité de ces actions réside dans le couplage des aspects

microbiologiques et physico-chimiques. La seconde consiste en l'étude de ces procédés en fonctionnement nominal (par temps sec) ou en mode dégradé (par temps de pluie).

Similairement à l'approche développée dans le bloc « *Micropolluants et réseaux d'assainissement* » et en lien direct avec les actions menées, un large panel de molécules a été étudié. Selon la méthodologie développée par Zgheib (2009), les polluants prioritaires et quelques substances pertinentes ont été recherchées. A cette première approche, des études complémentaires ont été menées pour les alkylphénols, PBDE, phtalates, triclosans et parabènes. Le Tableau 5 synthétise pour chaque procédé les travaux réalisés. L'ensemble de ces études que j'ai pilotées couvre une thèse dans son intégralité (Gilbert, 2011) et deux thèses en partie (Bergé 2012, Geara-Matta 2012).

II. Efficacité épuratoire des filières de traitement par temps sec

II.1 Synthèse bibliographique et approche théorique des processus d'élimination

Les processus d'élimination des polluants au sein de chaque filière (sorption sur les boues, volatilisation, dégradation) ont été conceptualisés dans le cadre du projet Source Control Options for Reducing Emissions of Priority Pollutants (ScorePP¹¹, 2006-2010) auquel j'ai participé en 2007.

Je me suis impliqué dans la tâche 5 « options de traitement » qui visait à : (1) évaluer l'efficacité des filières conventionnelles dans l'élimination des polluants des eaux usées et (2) identifier les processus correspondants. Pour un large nombre de substances (n=52, polluants DCE + autres substances), ma participation a consisté à :

- Collecter et synthétiser les données bibliographiques disponibles sur l'efficacité des filières conventionnelles par boues activées ;
- Recenser les processus d'élimination en STEP et les facteurs opérationnels les influençant (temps de séjour hydraulique, taux de boues, âges de boues) ;
- Tester la capacité de différents modèles disponibles dans la littérature pour prédire l'efficacité des filières de traitement.

Cette synthèse bibliographique a recensé les données sur l'élimination de 33 des 62 molécules étudiées dans ScorePP. Parmi ces composés, 19 molécules présentent des efficacités d'élimination supérieures à 80 %, 12 comprises entre 50 et 80 %, alors que les efficacités pour

11 Projet européen regroupant 9 partenaires : Danmarks Tekniske Universitet (Danemark), Middlesex University Higher Education Corporation (Royaume Uni), Ghent University (Belgique), Anjou Recherche (France), Envicat Consulting (Belgique), University of Ljubljana (Slovénie), Desenvolupament i Societat Estudis S A (Espagne), City of Stockholm, Environment and Health Administration (Suède), Université Laval (Canada).

les autres substances sont inférieures à 40 % (Scholes *et al.* 2008, Seriki *et al.* 2008). Cette synthèse souligne clairement le manque de données pour certains micropolluants comme les organo-étains, les composés volatils et certains pesticides. Par ailleurs, si les données disponibles permettent pour une partie des molécules d'évaluer leur élimination, elles ne permettent pas d'en identifier les processus.

Pour pallier ce manque d'information, trois modèles ont été testés: (1) Byrns (Byrns 2001), (2) FATE (Katsoyiannis & Samara 2004) et (3) STPWIN (US-EPA). Ces modèles intègrent les mécanismes d'élimination tels que la sorption, la volatilisation et la biodégradation et ont été testés pour les molécules identifiées. Les trois modèles convergent vers des abattements importants pour des composés hydrophobes ($\log Kow > 4,5$) et estiment que la sorption est, pour ces composés, le mécanisme prédominant (Figure 12). Pour les molécules plus sensibles à la biodégradation, ce travail révèle des différences nettes entre les 3 modèles suite à la difficulté de modéliser la biodégradation. Au regard des connaissances sur les propriétés physico-chimiques des molécules (base de données ScorePP) et des données bibliographiques, les modèles Byrns et STPWIN semblent les plus fiables pour prédire le comportement de certains micropolluants au sein des filières conventionnelles.

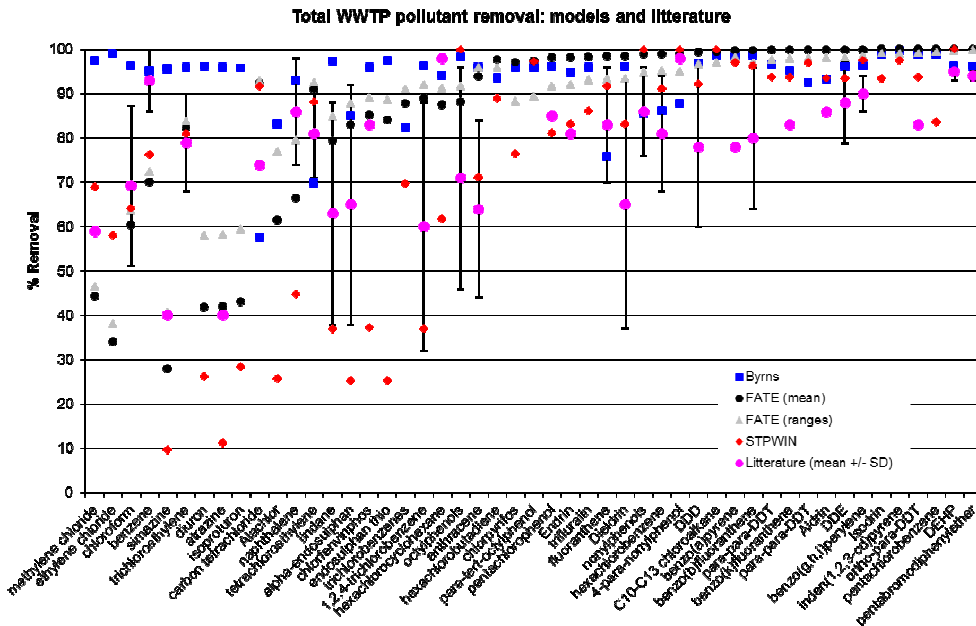


Figure 12 : comparaison au sein des filières conventionnelles des efficacités d'élimination par modélisation (Byrns, FATE, EPI-STPWIN) vs. Littérature

II.2 Polluants prioritaires et substances pertinentes

Les performances de procédés conventionnels (décantation simple et traitement par boues activées) mais aussi de procédés compacts et modernes (décantation physico-chimique

lamellaire et biofiltration) ont été étudiées pour les substances prioritaires et autres substances pertinentes. Complémentaires au programme AMPERES par les objectifs et la méthodologie, ces expérimentations ont permis d'apporter des éléments précieux sur le comportement de ces micropolluants vis-à-vis des procédés de traitement largement employés en France.

Des similitudes et des différences ont été observées entre les deux types de décantations. Quel que soit le procédé, les COV, les phénols et les pesticides ne sont quasiment pas abattus. Pour la pollution particulaire, les résultats sont sensiblement différents. Par décantation physico-chimique, des abattements très stables et répétables par temps sec, supérieurs à 80 %, ont été obtenus pour les MES et les polluants hydrophobes. Pour ces mêmes composés, les performances sur Seine Amont (décantation simple) sont plus faibles (entre 50 et 80 %) et plus fluctuantes. Les différences entre la décantation physico-chimique lamellaire et la décantation classique répondent à des objectifs distincts : (1) pour Seine Centre, une forte élimination de la pollution particulaire est nécessaire pour éviter le colmatage des biofiltres, (2) Pour Seine Amont, il est essentiel de maintenir un niveau de pollution carbonée suffisant pour subvenir aux besoins de la biomasse dénitrifiante des bassins biologiques.

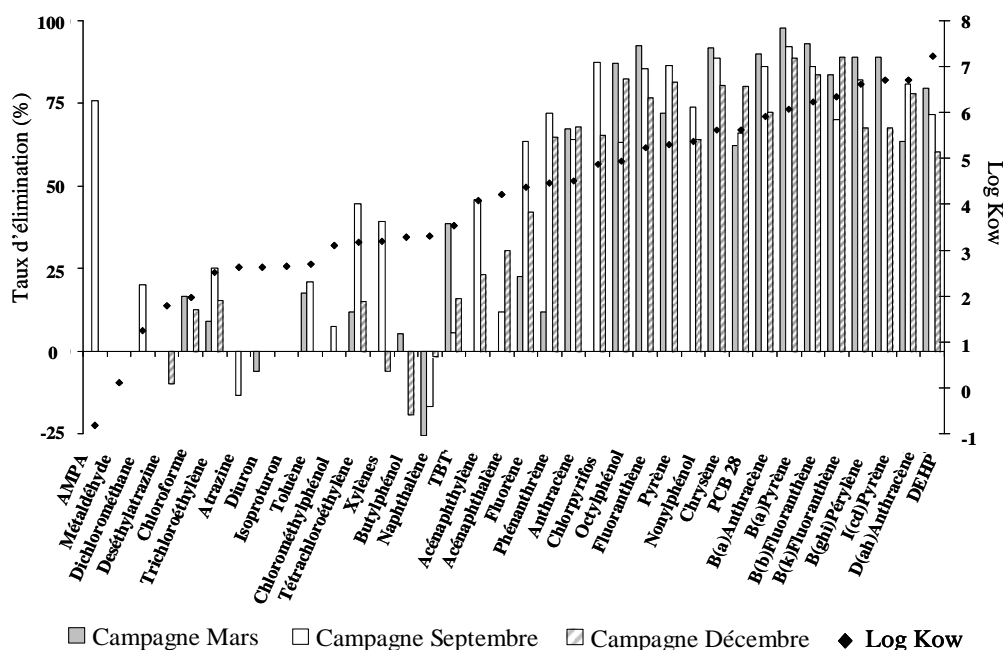


Figure 13 : corrélation entre taux d'abattement et log Kow pour divers polluants dans les eaux prétraitées par décantation lamellaire (site de Seine Centre)

Pour les polluants organiques, les différences de comportement sont expliquées en considérant leur hydrophobicité ; le caractère hydrophile ou hydrophobe d'une molécule étant généralement apprécié en s'appuyant sur le coefficient de partage octanol – eau (K_{OW}). Cette tendance est clairement mise en évidence par la Figure 13 qui associe le taux d'abattement au

log Kow (Gasperi *et al.* 2010b). Les polluants dont log Kow < 4 ne sont que légèrement éliminés par la décantation (< 20 %) alors que ceux dont log Kow > 5 sont très fortement éliminés (\approx 80 %). Un comportement intermédiaire, très fluctuant, est observé pour les composés dont le log Kow est compris entre 4 et 5.

A l'instar des procédés de décantation, des similitudes et des différences ont été observées pour les procédés boues activées et biofiltration. Dans les deux cas, les pesticides ne sont pas éliminés (diuron, atrazine, isoproturon, métaldéhyde et déséthylatrazine). Excepté pour les COVs éliminés entre 50 et 80 %, les abattements dépassent 50 % mais sont avec les boues activées légèrement supérieurs à ce que permet la biofiltration. Les éliminations par les boues activées apparaissent très stables comparativement à la biofiltration. Sur les deux procédés, suite à la bonne élimination des MES (par piégeage sur le 1^{er} étage de biofiltration sur Seine Centre et par adsorption sur les boues et clarification sur Seine Amont), une fraction importante des polluants particuliers est éliminée. Pour la fraction dissoute, quelques différences d'élimination apparaissent entre les procédés, notamment pour le Zn, le tributyl étain, le DEHP et les alkylphénols. Ceci s'explique en partie par une élimination plus importante de la phase dissoute par boues activées, suite probablement au temps de séjour hydraulique plus importants, facilitant la biodégradation de ces espèces et/ou leur adsorption sur la biomasse.

II.3 Alkylphénols, polybromodiphényléthers et phtalates

En plus de l'approche globale (88 molécules), des études spécifiques ont été dédiées aux alkylphénols, PBDE (Gilbert 2011, Gilbert *et al.* 2012) et phtalates (Bergé 2012, Bergé *et al.* 2012). La finalité de ces travaux était d'apporter des informations complémentaires à l'approche globale en suivant non plus une ou deux molécules par famille mais en suivant plusieurs molécules de la même famille (6 pour les alkylphénols, 4 pour les phtalates). Ces investigations visaient également à pallier certaines faiblesses analytiques de l'approche globale. Les PBDE constituent un exemple typique de ces difficultés dans la mesure où ils n'ont jamais pu être quantifiés lors des recherches élargies.

Globalement, quelle que soit la famille, les travaux de Gilbert (2011) et Bergé (2012) confirment les premières observations de l'approche globale pour les alkylphénols et les phtalates (Tableau 6). Ils les complètent dans la mesure où ils révèlent que l'ensemble des composés nonylphénoliques ont un comportement analogue au NP, alors qu'on constate des différences entre DEHP et ses homologues (DEP, DnBP et BBP). Si le DEHP et le BBP sont

fortement éliminés (> 60 %) lors de la décantation physico-chimique lamellaire, le DEP et le

DnBP ne le sont que modérément (< 40 %). De même, un comportement différent est observé lors de la biofiltration entre le DEHP (> 80 %) et ses congénères (60-90 %). Les deux études pointent également une légère diminution de la fraction dissoute lors de la décantation physico-chimique lamellaire suite à l'élimination des colloïdes.

Tableau 6 : abattements APnEO, PBDE et phtalates par biofiltration et boues activées

	Temps sec		Temps de pluie	
	Biofiltration Seine Centre	Boues activée Seine Amont	Biofiltration Seine Centre	Boues activée Seine Amont
\sum_4 PBDE phase particulaire				
\sum_6 APnEO phase dissoute				
\sum_6 APnEO phase particulaire				
\sum_6 APnEO total				
\sum_5 PAE phase dissoute				
\sum_6 PAE phase particulaire				
\sum_6 PAE total				

Légende : < 20 % 20-50 % 50-80 % > 80 %

Pour les PBDE, Gilbert (2011) fournit les premières informations relatives aux performances de ces procédés. Quel que soit le type de décantation, des abattements sont supérieurs à 50 % sur Seine Centre, et dépassent 80 % sur Seine Amont. Une bonne stabilité de l'abattement du BDE-209 (BDE majoritaire) est observée. Sur Seine Centre, l'abattement de la pollution dissoute reste faible mais l'ajout de réactifs permet néanmoins d'éliminer une partie de la fraction colloïdale. Les performances de la biofiltration et du traitement par boues activées sont très élevées, notamment pour la phase particulaire. Suite à la forte hydrophobicité des PBDE, leurs abattements sont reliés à ceux des MES.

Les niveaux de concentrations en PBDE en sortie de traitement secondaire sont nettement plus élevés à Seine Amont ($4,7 \pm 2,2 \text{ ng.l}^{-1}$) qu'à Seine Centre ($0,71 \pm 0,29 \text{ ng.l}^{-1}$). Les niveaux obtenus pour la somme des six congénères concernés par des NQE (BDE 28, 47, 99, 100, 153 et 154) sont proches de la NQE applicable au milieu récepteur ($0,5 \text{ ng.l}^{-1}$). Bien que supérieurs à Seine Amont comparé à Seine Centre, ils restent inférieurs à 2 ng.l^{-1} avant dilution dans le milieu récepteur.

III. Efficacité épuratoire des filières de traitement par temps de pluie

III.1 Traitement des effluents de temps de pluie dans les filières classiques

Parallèlement à l'étude des filières de traitement en fonctionnement nominal, l'originalité des travaux que je mène depuis 2007 au LEESU consiste à étudier le fonctionnement de plusieurs filières de traitement en fonctionnement dégradé. Parmi les stations étudiées, Seine Amont et Seine Centre présentent des situations différentes. Alors que l'usine de Seine Centre présente une forte modularité pour faire face aux événements pluvieux, l'usine de Seine Amont conserve la même configuration.

Les travaux de Gilbert (2011) ont démontré que l'augmentation des débits par temps de pluie et le changement de nature des effluents n'ont pas d'impact marqué sur les performances de la décantation physico-chimique lamellaire. Le maintien de ces performances est essentiellement dû au maintien des vitesses ascensionnelles en dessous de 30 m.h^{-1} , valeur maximale préconisée par le constructeur pour un fonctionnement optimal. Pour la décantation classique, les performances sont sensiblement supérieures à celles observées par temps sec, malgré des vitesses ascensionnelles plus importantes. Ce résultat s'explique dans la mesure où les particules véhiculées par temps de pluie présentent des vitesses de chute plus importantes, compensant la hausse des vitesses ascensionnelles.

En fonctionnement dégradé, les performances globales des deux procédés biologiques ne sont que faiblement impactées, à l'exception des nitrates et du BDE-209 sur Seine Centre (Tableau 6). L'absence d'élimination des nitrates s'explique par l'aération du 3^e étage de la biofiltration. Celle du BDE-209 pourrait résulter du by-pass du 3^e étage et d'une rétention moindre de particules lors de la configuration de temps de pluie. Cette observation suggérerait une répartition non homogène des PBDE selon la taille des particules.

Sur Seine Amont, et malgré l'augmentation des charges particulaires et des vitesses ascensionnelles, les performances du procédé boues activées ne sont que légèrement dégradées lors d'épisodes pluvieux : l'abattement moyen s'élève à $90 \pm 6 \%$ pour $\sum_6 \text{AP}$ (fraction totale) et à $79 \pm 9 \%$ pour $\sum_4 \text{PBDE}$ (fraction particulaire). Les abattements par temps de pluie sont cependant plus fluctuants que ceux relevés par temps sec.

Dans le cas de Seine Centre, les concentrations dans les effluents secondaires sont proches par temps sec et par temps de pluie. Seules celles des PBDE, notamment le BDE-209, restent plus élevées en période pluvieuse. L'efficacité de la décantation physico-chimique, d'une part, et l'ajustement du nombre de biofiltres en fonctionnement, d'autre part, permettent de maintenir

des conditions d'exploitations optimales. Pour Seine Amont, le maintien des performances suggère que la perturbation liée à l'épisode pluvieux est relativement faible. Ceci peut s'expliquer dans la mesure où la perturbation n'excède pas quelques heures (2-6 heures) comparativement au temps de séjour hydraulique (15-20 heures).

III.2 Traitement par clarifloculation

L'efficacité des unités de clarifloculation pour le traitement des RUTP a été étudiée. Dans ce but, des campagnes de prélèvements ont été menées sur l'unité de clarifloculation de Seine Aval (SIAAP, 1 700 000 m³.j⁻¹) lors de trois événements pluvieux. Outre les paramètres physico-chimiques classiques, un panel de 97 molécules a été recherché (Gasperi *et al.* 2012).

Cette thématique illustre parfaitement la démarche que j'ai adoptée à travers mes activités de recherche. Elle intègre de nombreux résultats sur la qualité des eaux de ruissellement (partie « *De l'atmosphère aux eaux de ruissellement* ») mais également sur les processus de transfert en réseau (partie « *Micropolluants et réseaux d'assainissement* »).

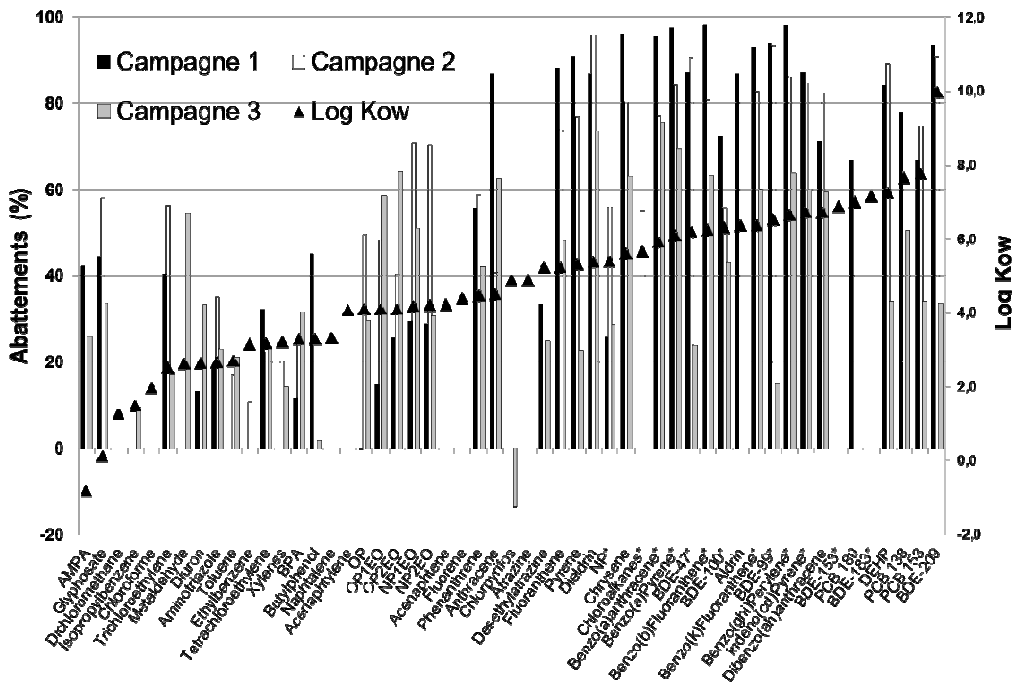


Figure 14 : abattements des polluants par clarifloculation corrélés à Log Kow

Selon la campagne, 47 à 52 substances ont été détectées dans les effluents en entrée de l'unité de clarifloculation. A l'image des études précédentes, le profil des molécules des eaux alimentant l'unité de clarifloculation est tout à fait comparable aux surverses unitaires de temps de pluie sur le déversoir d'orage de Clichy en région parisienne. **Ces résultats démontrent, une nouvelle fois et à une échelle spatiale encore plus vaste, l'homogénéité des processus de production et de transfert de la pollution par temps de pluie au sein de**

l'agglomération parisienne.

Ces travaux ont démontré que la clarifloculation est une technologie prometteuse mais pas totalement adaptée pour le traitement des RUTP. En opérant à des doses optimales de réactifs chimiques et de sable (campagnes 1 et 2, Figure 14), l'unité de clarifloculation permet d'éliminer efficacement les particules, les pollutions carbonées et phosphorées, les métaux particuliers ainsi que la plupart des composés hydrophobes ($\log K_{ow} > 4$, Figure 14). Quelles que soient les doses de réactifs appliquées, cette technologie n'apparaît cependant pas adaptée à l'élimination de la pollution azotée et de la plupart des composés hydrophiles. L'efficacité de l'unité de clarifloculation est très peu impactée par les variations de nature des effluents ou de charge des effluents, mais dépend des bons ajustements de réactifs et de sable. Une discussion sur les doses de réactifs est proposée dans Gasperi *et al.* (2012).

IV. Bilan des activités « Micropolluants et filières de traitement »

La thématique « Micropolluants et filières de traitement » a été initiée à mon arrivée au LEESU et je l'ai coordonnée depuis. Elle a été l'objet de nombreuses études, toutes en collaboration avec le SIAAP.

Tableau 7 : bilan des activités « Micropolluants et filières de traitement »

Thèmes	Période	Encadrement	Publications
Traitement par temps sec			
Polluants prioritaires et substances pertinentes	2008-2012		
APnEO / PBDE	2008-2011	Gilbert (2011) Menard (2006)	1
Phtalates	2009-2012	Bergé (2012)	1
Triclosan / parabènes	2008-2012	Geara-Matta (2012)	1*
Traitement temps de pluie			
APnEO / PBDE	2007-2012	Gilbert (2011)	1
Clarifloculation	2010-2012	Laborie (2012)	1

* Publication en cours de rédaction

Ces études ont concerné une thèse dans son intégralité (Gilbert, 2011) et deux thèses en partie (Bergé, 2012, Geara-Matta, 2012). J'ai participé activement à l'encadrement de la thèse d'Alexandre Bergé et ai également encadré deux stages de master (Laborie 2010, Menard 2006) sur cette thématique.

A la rédaction de ce manuscrit, les travaux sur le triclosan et les parabènes sont en cours, et n'ont donc pas encore été valorisés. Le bilan en termes de publications et d'encadrements est

présenté Tableau 7.

PERSPECTIVES SUR LES FILIERES DE TRAITEMENT

I. Traitements biologiques et bioréacteur à membranes

Mes travaux ont porté sur l'efficacité des traitements primaires et biologiques pour un large panel de micropolluants. Pour les traitements biologiques, ont été étudiées les filières par boues activées et la biofiltration. Si l'on souhaite fournir une vision globale de l'efficacité de ce type de traitement, la filière de traitement par bioréacteur à membranes doit être également prise en compte. Cette technologie couple un réacteur biologique avec un bloc membranaire et permet des concentrations de boues plus importantes que dans les filières classiques et une meilleure adaptation de la biomasse. Extrêmement compacte, générant moins de boues et avec des efficacités d'élimination légèrement supérieures à celles des filières conventionnelles (Bernhard *et al.* 2006, Brindle & Stephenson 1996, Radjenovic *et al.* 2007), cette technologie présente un intérêt fort pour les gestionnaires. A l'échelle parisienne, cette technologie sera déployée sur la station de la Morée en 2014.

Dans l'optique d'offrir une synthèse des connaissances sur la thématique « micropolluants et filières de traitement », la filière bioréacteur à membrane sera étudiée dans le cadre de la thèse de R. Mailler (oct 2012- oct 2015) que je co-encadre. **A moyen terme, ces investigations permettront la rédaction d'une synthèse sur l'efficacité des traitements biologiques couramment employés au sein des filières françaises vis-à-vis des micropolluants.**

II. Vers les traitements tertiaires

A l'image de ce qui a été instauré en Suisse, où les autorités ont décidé de moderniser certaines STEP en les équipant d'installations spécifiques de traitement des micropolluants, il est probable que dans les prochaines années les gestionnaires soient contraints de traiter les eaux résiduaires urbaines également vis-à-vis des micropolluants. Parallèlement à cette évolution du cadre réglementaire, la raréfaction des ressources en eau fait émerger la question de la réutilisation des eaux usées traitées. Plusieurs études se sont intéressées à cette question en examinant la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux traitées, l'adéquation de leur qualité avec différents usages et les risques sanitaires associés (Asano & Cotruvo 2004, Asano & Levine 1996, Mujeriego & Asano 1999). Si ces études recommandent une désinfection poussée avant réutilisation des eaux, des traitements spécifiquement dédiés aux micropolluants doivent être également proposés.

Dans ce contexte, une généralisation des traitements tertiaires est de plus en plus probable au

sein des filières de traitement. Pour les micropolluants, différentes technologies ont été développées. Elles sont basées sur le couplage de différents procédés d'oxydation avancée (ozone, chlore, peroxyde d'hydrogène, etc.), membranaires (ultrafiltration, osmose inverse, etc.) ou d'adsorption (charbon actif en grain, en poudre ou autres). Les technologies basées sur l'adsorption des polluants présentent de nombreux avantages car elles ne génèrent pas de sous-produits, sont applicables même à de très faibles doses de charbon actif (5-20 mg.l⁻¹), et offrent la possibilité de régénérer le charbon actif (Mohanty *et al.* 2005). Même si le type de traitement dépend de nombreuses considérations (coûts d'exploitation, conditions locales, place disponible, type de traitement existant), l'emploi de charbon actif est de plus en plus souvent plébiscité pour l'élimination des micropolluants dans les filières de traitement. Le charbon actif en poudre (CAP) ayant un coût plus faible, des surfaces de contact plus importantes, une meilleure flexibilité que le charbon en grain, son emploi est désormais privilégié. Généralement, on couple un réacteur de contact entre eaux à traiter avec le CAP, suivi d'une séparation de la phase solide soit par coagulation/floculation puis sédimentation, soit directement par filtration (filtre à sable, filtration membranaire, etc.).

De nombreuses études ont démontré l'intérêt du CAP pour éliminer des résidus pharmaceutiques et des pesticides dans les filières de production d'eau potable (Delgado *et al.* 2012, Ternes *et al.* 2002). A ce jour, seules quelques études montrent le potentiel du CAP dans les filières de traitement des eaux usées (Margot *et al.* 2011, Reungoat *et al.* 2012, Ruel *et al.* 2010, Soulier *et al.* 2011). Etant donné la compétition qui existe entre l'adsorption des matières organiques dissoutes et les composés organiques (Crittenden *et al.* 1993), un comportement différent est attendu entre les filières de production d'eau potable et celles de traitement des eaux usées. A l'exception de Margot *et al.* (2011), ces études fournissent très peu d'information sur les processus d'élimination et leurs facteurs d'influence (dosage en CAP, influence de la matière organique dissoute, temps de contact, etc.). Ces connaissances s'avèrent pourtant indispensables dans l'évaluation des différentes filières de traitement et dans la mise en place d'actions visant à réduire l'apport de polluants au milieu.

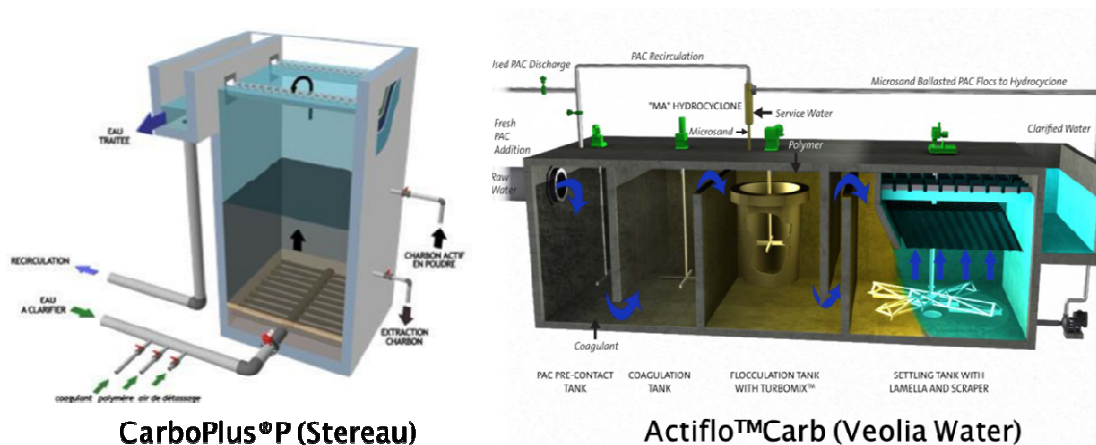


Figure 15 : technologies prochainement étudiées (CarboPlus®P et Actiflo™Carb)

Pour répondre à cette problématique, je souhaite dans le cadre de la phase 4 d'OPUR (2012-2017), étudier l'efficacité de technologies employant le CAP pour traiter les micropolluants des eaux usées. Dans ce but, en collaboration avec le SIAAP, deux techniques novatrices seront étudiées dans la thèse de R. Mailler à l'échelle de pilotes industriels. Il s'agit des procédés CarboPlus®P (Stereau) et Actiflo™Carb (Véolia Eau). Le premier, CarboPlus®P, est un réacteur à charbon actif fluidisé à renouvellement continu. Les caractéristiques de fonctionnement du second, Actiflo® Carb sont identiques à celles de Actiflo®, lui conférant ainsi les avantages d'un traitement rapide et de haute performance. En plus des bassins de coagulation, floculation et décantation, Actiflo® Carb est équipé d'un bassin de contact avec le CAP pour l'adsorption des polluants. **Pour ces procédés, il s'agira d'étudier leur efficacité pour un large panel de micropolluants, mais aussi l'influence de paramètres opérationnels tels que le dosage en CAP, son âge, l'influence de la matière organique dissoute, le temps de contact et les taux de recirculation.** Une collaboration avec C. Cren (CNRS, Institut des sciences analytiques, département Service Central d'Analyse) est engagée pour les aspects analytiques.

Dans la suite de mes activités, ces perspectives sont prioritaires dans les années à venir. Une thèse a d'ores et déjà commencé sur cette thématique en octobre 2012.

III. Qualité des boues de STEP

Mes travaux mais également ceux des autres équipes (projet AMPERES, INRA de Narbonne, etc.) démontrent globalement une bonne élimination de nombreux polluants pour la file eau. Si certains de ces polluants sont totalement biodégradés (triclosan, hormones, analgésiques), d'autres tels que les HAP, les alkylphénols, les PBDE ne sont pas réellement éliminés de la file eau, mais sont sorbés sur les boues (Patureau *et al.* 2008, Ruel *et al.* 2012, Thanner &

Moche 2004, Tuncal *et al.* 2011).

Suite à la valorisation des boues à travers diverses filières, leur contamination soulève aujourd'hui plusieurs interrogations. Pour rappel, aujourd'hui en France, selon le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire, la production de boues issues du traitement des eaux s'élève à environ 1 120 000 tonnes de matières sèches en 2007 dont plus de 70 % valorisées en agriculture.

Aujourd'hui, les connaissances relatives sur la qualité des boues sont relativement limitées (quelles substances et à quels niveaux de concentrations). De même le **devenir de ces polluants pour différentes filières de traitement des boues est méconnu**. Mis à part les premiers éléments de réflexion délivrés par AMPERES et quelques études individuelles (Lajeunesse *et al.* 2012, Patureau *et al.* 2008), peu d'études sont aujourd'hui disponibles sur la qualité physico-chimique des boues et sur le devenir des polluants au sein des filières de traitement (séchage thermique, digestion anaérobie, compostage, etc.). Ce manque de données résulte essentiellement des difficultés analytiques liées à ces matrices complexes.

Pour répondre à ces questions, une de mes perspectives de recherche consistera à examiner la qualité physico-chimique des boues issues de différentes filières de traitement. Une attention particulière sera portée aux polluants prioritaires de la DCE et aux autres substances pertinentes. A court terme et dans le cadre de la phase 4 d'OPUR, les premiers résultats obtenus par le SIAAP sur les différentes boues de STEP seront examinés dans le cadre de la thèse de R. Mailler. Un projet avec D. Patureau (INRA, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement) et E. Vuilliet (Institut des sciences analytiques, département Service Central d'Analyse) a été également initié pour une période de 2 ans (2013-2015) sur des ressources propres du SIAAP. Ces équipes ont fortement travaillé sur l'analyse de polluants organiques dans les boues et disposent aujourd'hui d'une expertise notable.

MICROPOLLUANTS ET MILIEUX RECEPTEURS

POLLUANTS DANS LES MILIEUX AQUATIQUES ANTHROPISES

La Seine est un fleuve dont le débit moyen est faible ($497 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Son bassin a une superficie de $65\,000 \text{ km}^2$ à Poses (limite de l'estuaire) et caractérisé par un transport sédimentaire faible comparativement à d'autres bassins français ($0,79 \text{ Mt} \cdot \text{an}^{-1}$ pour la Seine, Delmas *et al.* 2012). Il présente un régime pluvio-océanique avec des périodes de hautes eaux en hiver et de basses eaux en été. Représentant 14 % du territoire national, le bassin de la Seine porte selon l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN) 25 % de l'agriculture, 40 % de l'industrie et 30 % de la population française soit 17,6 millions d'habitants. Ces données mettent en évidence la forte pression anthropique liée aux activités urbaines, industrielles et agricoles pesant sur la Seine. La multiplicité et l'intensité de ces activités concentrent une proportion importante de sources de contamination, notamment en région Île-de-France. De ce fait, le bassin de la Seine constitue un exemple pertinent pour étudier l'impact des activités anthropiques sur le milieu récepteur.

Dans le but de d'identifier des mesures possibles de réduction des émissions, une connaissance précise des sources de polluants et de leur devenir dans les milieux aquatiques est nécessaire. **Les travaux engagés dans le cadre du PIREN-Seine depuis 2007 s'inscrivent dans cette optique en tentant d'améliorer les connaissances actuelles sur l'imprégnation du milieu, la variabilité spatio-temporelle des contaminants et leur dynamique au sein du milieu récepteur.** Ils ont aussi pour but de mieux cerner l'impact de l'agglomération parisienne. A l'image de ceux menés sur les autres compartiments du cycle de l'eau, **mes travaux s'articulent autour des polluants prioritaires, des alkyphénols et du bisphénol A et plus marginalement des PBDE.**

A l'échelle du bassin de la Seine, de nombreux travaux entrepris dans le cadre du PIREN-Seine ont mis en évidence la contamination des milieux récepteurs par les métaux (Meybeck *et al.* 2007), les HAP (Ollivon *et al.* 1999), les pesticides (Blanchoud *et al.* 2007), les phtalates (Teil *et al.*, 2007) et les PCB (Chevreuil *et al.* 1996). Faute de données sur les polluants prioritaires, des campagnes de mesure ont été initiées sur les eaux de surface et les particules sédimentables en collaboration avec la Ville de Paris.

L'intérêt d'étudier les alkylphénols et le bisphénol A est double dans la mesure où ce travail répond aux préoccupations des gestionnaires de la ressource et fournit les premiers éléments d'informations sur l'imprégnation des milieux aquatiques en France. **La forte médiatisation du bisphénol A a renforcé l'intérêt des gestionnaires.**

La toxicité des alkylphénols et du BPA sur les organismes est reconnue (Ahel *et al.* 1994, Jobling *et al.* 1996, Nimrod & Benson 1996, Staples *et al.* 1998). S'y ajoutent de forts soupçons d'activité œstrogénique selon, d'une part, des tests *in-vitro* et, d'autre part, des études sur des rejets de STEP et eaux de surface mettant en cause alkylphénols et BPA en plus des hormones stéroïdes (Fenet *et al.* 2003, Johnson & Sumpter 2001, Nakada *et al.* 2004, Quiros *et al.* 2005, Cespedes *et al.* 2005, Fenet *et al.* 2003, Quiros *et al.* 2005). En particulier, en aval de Seine Aval, Fenet *et al.* (2003) ont démontré une contribution significative (jusqu'à 40 %) des alkylphénols dans les activités oestrogéniques mesurées dans le sédiment. **Malgré ces observations, ces composés demeurent les perturbateurs endocriniens pour lesquels les niveaux de contamination dans l'environnement, le cycle biogéochimique et les modes de transfert sont les moins bien documentés.** Ce constat est d'autant plus vrai pour le bisphénol A, qui n'est pas encore réglementé pour les eaux de surface. La connaissance des flux de contaminants, l'évaluation des sources et la compréhension des processus de transfert sont pourtant primordiales afin de mieux appréhender l'impact sur les écosystèmes.

CONTAMINATION PASSEE ET ARCHIVES SEDIMENTAIRES

Les archives sédimentaires sont la signature des activités polluantes qui se sont exercées sur les bassins versants. Elles retracent l'historique de la contamination d'un bassin versant et fournissent une image intégrée des changements environnementaux et sociétaux. Elles permettent également des analyses rétrospectives des apports environnementaux en divers polluants aujourd'hui mesurables mais qui demeureraient non quantifiables ou non considérés à certaines époques.

Si l'analyse de carottes sédimentaires s'est répandue au cours de ces 30 dernières années dans les milieux lacustres (Jung *et al.* 2008, Yunker *et al.* 1996) ou dans les estuaires (Isobe *et al.* 2001, Mai *et al.* 2005), peu d'archives sédimentaires portent sur l'évolution de fleuves ou rivières. Ce manque provient essentiellement de la difficulté à trouver le long d'un cours d'eau des zones de sédimentation régulières et non perturbées. Des approches alternatives sont possibles à partir des laisses de crues (Gotz *et al.* 2007) ou des zones inondables où les sédiments sont piégés. Cette dernière a été développée dans le cadre du PIREN-Seine à partir

des années 2000 et a donné naissance à la thématique « archives sédimentaires » pilotée par S. Ayrault (Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement - LSCE) et par C. Lorgeoux (LEESU) pour l'analyse des polluants organiques. Cette thématique se réalise aussi en collaboration entre l'UMR Sisyphe de l'Université Pierre et Marie Curie, le Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-Octeville et l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire de l'Université de Caen.

L'expertise et la connaissance du terrain des chercheurs du PIREN-Seine ont permis l'échantillonnage de carottes sédimentaires sur différents sites dont notamment celui de Bouafles (intégrant environ 96 % du bassin). Les premiers polluants analysés dans les archives collectées ont été les métaux, mis par la suite en perspective avec les données d'usage et de réglementation sur le bassin de la Seine (Ayrault *et al.* 2010, Ayrault *et al.* 2012, Le Cloarec *et al.* 2011). Après les premiers tests pour les polluants organiques (HAP et PCB) sur un échantillon de 2002, d'autres carottes sédimentaires dédiées à l'analyse d'un large panel de polluants ont été prélevées puis datées. Sur ces carottes, l'analyse de 25 antibiotiques (Tamtam *et al.* 2011) et de 42 polluants organiques rémanents (Lorgeoux *et al.* 2011) a été réalisée. **Ma contribution a consisté à apporter mon expertise sur les alkylphénols et plus marginalement sur les HAP, PCB et PBDE.**

ACTIVITES DE RECHERCHE « MICROPOLLUANTS ET MILIEUX RECEPTEURS »

I. Dynamique des micropolluants à l'échelle du bassin de la Seine

I.1 Polluants prioritaires

En collaboration avec la Ville de Paris, et avec le soutien financier de l'AESN, la contamination des eaux de surface et des particules sédimentables le long d'un linéaire de Seine a été étudiée (Gasperi *et al.* 2009a). L'objectif était d'examiner la présence des polluants prioritaires et autres substances pertinentes pour ces deux matrices et d'apprécier les niveaux de contamination en s'appuyant sur les critères d'évaluation de qualité en vigueur. Dans ce but, des campagnes de mesures ont été entreprises entre juillet 2007 et décembre 2008 sur 7 stations (entre Orly et Clichy) pour les eaux de surface, et sur 4 sites pour les particules sédimentables (du pont d'Austerlitz à celui d'Epinay sur Seine). Les 41 composés de la liste établie par la DCE ont été analysés dans les eaux ; 20 substances pertinentes ont été ajoutées pour l'analyse des particules sédimentables.

Ce travail a confirmé que de nombreuses substances prioritaires étaient présentes dans les

particules sédimentables et les eaux. Dans les eaux superficielles, 18 substances dont 15 dangereuses prioritaires ont été observées, mais les concentrations n'excèdent que rarement les limites de quantification. En fait, seuls le diuron, le DEHP, le fluoranthène sont fréquemment détectés avec des concentrations variant de 0,01 à 1,0 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Dix substances ont des concentrations supérieures aux NQE-MA (moyenne annuelle) tandis que seul le benzo(a)pyrène excède à quelques occasions les concentrations maximales admissibles (NQE-CMA). Sur le linéaire considéré, aucune augmentation significative des niveaux de contamination n'est observée d'amont en aval de Paris. Les dépassements des NQE sont uniformément répartis sur l'ensemble du tronçon étudié.

Pour les particules sédimentables, 35 substances ont été observées dont 20 systématiquement. Les teneurs mesurées dans les particules, faute de critère d'évaluation spécifique, ont été comparées aux valeurs guides préconisées pour les sédiments par le ministère canadien de l'environnement (Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, Canadian Council of Minister of the Environment, 1999). Cette norme définit deux seuils : (1) la valeur guide de qualité (Sediment Quality Guidelines, SQG) et (2) le Probable Effect Level (PEL). Au regard de ces normes, les particules collectées en Seine apparaissent assez fortement contaminées puisque la plupart des échantillons présentent des niveaux supérieurs aux valeurs guides de qualité SQG (18 substances) voire supérieurs aux PELs (15 composés). Les dépassements des PELs, imputables essentiellement aux métaux, HAP et PCB soulignent les risques potentiels associés à ces polluants pour les microorganismes aquatiques.

I.2 Alkylphénols et bisphénol A

Dans le cadre de la thèse de Mathieu Cladière, je me suis intéressé aux flux, sources et devenir des alkylphénols et bisphénol A sur la partie amont du bassin de la Seine (Cladière 2012, Cladière *et al.* 2013, Cladière *et al.* 2011). Les composés nonylphénoliques (NP, NP1EO, NP2EO et NP1EC) et octylphénoliques (OP, OP1EO et OP2EO) et le bisphénol A ont été considérés. Ce doctorat a permis d'appréhender la contamination du milieu récepteur à différentes échelles spatiales et délivre une vision intégrée de ces polluants à l'échelle du bassin de la Seine. Pour ce faire, les travaux de M. Cladière ont intégré les résultats que j'ai acquis sur les autres compartiments amont du cycle de l'eau. Il s'agit notamment :

- Des apports atmosphériques à différentes échelles spatiales et des eaux de ruissellement (partie « *De l'atmosphère aux eaux de ruissellement* ») ;
- des RUTP (partie « *Micropolluants et réseaux d'assainissement* ») ;

- Des rejets des stations d'épuration (partie « *Micropolluants et filières de traitement* »).

La thèse de M. Cladière répond à trois questions :

- Quelle est la contamination du bassin de la Seine par les alkylphénols et le BPA et quelle est l'influence de l'Île-de-France sur l'axe fluvial Seine ? ;
- Quels sont les processus impliqués dans le devenir en Seine de ces molécules ? ;
- Quels sont les flux globaux de ces molécules à l'échelle du bassin de la Seine ?

I.2.1 Contamination du bassin de la Seine et influence de l'Île-de-France sur l'axe fluvial

Afin de caractériser la contamination du bassin versant de la Seine et l'influence de l'Île-de-France sur l'axe fluvial Seine, diverses investigations ont été menées à deux échelles spatiales.

A l'échelle du bassin de la Seine, les retombées atmosphériques totales (RAT) à Paris, Lognes et Fontainebleau (projet ENDOCRINAIR, bloc « *De l'atmosphère aux eaux de ruissellement* »), les sols (n=12), et une tête de bassin (bassin de l'Orgeval) ont été considérés.

A l'échelle de la zone urbaine, les sources de contaminants par temps sec (rejets STEP) et par temps de pluie (surverses unitaires de temps de pluie - SUTP - et les eaux des exutoires pluviaux) ont été prises en compte. Pour les sources de temps de pluie, les résultats pour les eaux pluviales sont issus du programme INOGEV (bloc « *De l'atmosphère aux eaux de ruissellement* »), alors que les résultats relatifs à la qualité des RUTP sont décrits dans le bloc « *Micropolluants et réseaux d'assainissement* »).

L'axe Seine a été étudié selon un gradient d'urbanisation en 3 stations (Marnay, Bougival et Meulan). Ce suivi a permis d'estimer l'influence des apports urbains et la dynamique des polluants en fonction des conditions hydriques. Les niveaux de concentrations pour les sources urbaines (rejets de STEP, SUTP, eaux des exutoires pluviaux), les retombées atmosphériques totales et les eaux de surface entre le bassin de l'Orgeval et Meulan sont synthétisés Figure 16.

Ces travaux ont montré la faible dispersion du BPA par voie atmosphérique et une présence négligeable dans les sols de la région IDF. De faibles niveaux de BPA en tête de bassin sont également observés, conséquence probable d'une dispersion limitée et d'une forte dégradabilité dans l'environnement. Les sources urbaines de temps de pluie apparaissent de 10 à 20 fois plus contaminées en BPA que les rejets de STEP. Ces rejets, malgré leurs faibles concentrations ($< 50 \mu\text{g.l}^{-1}$), ont pourtant une influence significative sur l'axe Seine puisque les concentrations évoluent d'un facteur 2 entre l'amont et l'aval de l'agglomération

parisienne. Ces résultats suggèrent que la problématique du BPA dans l'environnement se concentre sur la partie urbaine et plus particulièrement en période de temps de pluie, période durant laquelle des déversements des réseaux unitaires et séparatif ont lieu.

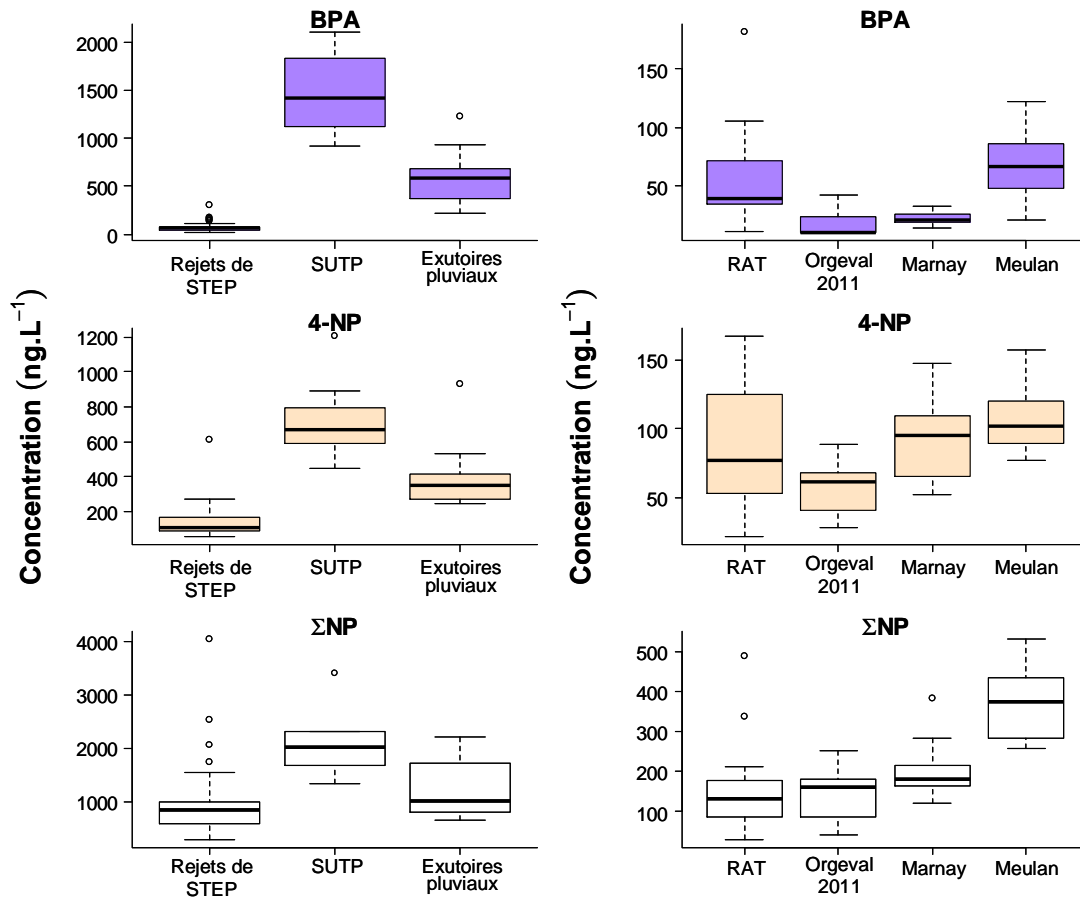


Figure 16 : concentrations en alkylphénols et BPA sur le bassin de la Seine

La dissémination du NP à l'échelle du bassin de la Seine est conséquente. Dans le retombées atmosphériques, les niveaux sont homogènes entre Paris (urbain dense), Lognes (quartier résidentiel) et Fontainebleau (forêt). Dans les sols, les teneurs sont d'environ 100 ng.g⁻¹, et ce indépendamment de l'exploitation du sol ou de sa situation. Au niveau des têtes de bassin, on note des niveaux de fond non négligeables. Une influence des activités agricoles sur la contamination du cours d'eau est observée pendant la période de traitement en phytosanitaire et suite à de fortes précipitations. Ce constat doit être confirmé par de nouvelles campagnes. Pour les sources urbaines, ces travaux révèlent une contamination plus importante des sources de temps de pluie que celles de temps sec, mais cette différence est toutefois moins marquée que pour le BPA. Finalement, en raison de la dissémination forte du NP et de la contamination des têtes de bassin, les apports urbains ne semblent pas avoir d'influence perceptible sur les concentrations mesurées en aval de Paris.

Pour les composés nonylphénoliques (Σ NP), les retombées atmosphériques et les têtes de bassin présentent des contaminations non négligeables (de l'ordre de la centaine de ng.l^{-1}) mais faibles devant les sources urbaines (de l'ordre du millier de ng.l^{-1}). La contamination des SUTP se démarque clairement de celle des rejets de STEP et des eaux des exutoires pluviaux. Des concentrations maximales ponctuelles très importantes peuvent être atteintes pour les rejets de STEP (de l'ordre de 4 000 ng.l^{-1}) et même dépasser celles des SUTP. Sur l'axe Seine, une évolution significative des concentrations est observable suite à une augmentation du NP1EC. Pour ce composé, les concentrations dépendent du gradient d'urbanisation. Les relations concentrations-débits observées pour ce composé confirment qu'il est essentiellement lié à l'assainissement des eaux résiduaires urbaines.

I.2.2 Devenir des alkylphénols et du bisphénol A en Seine

Les composés nonylphénoliques (NPnEO) dont la longueur de la chaîne peut varier entre 1 et 50 unités éthoxylées sont les précurseurs du nonylphénol. Plusieurs études ont mis en évidence la dégradation des alkylphénols à longue chaîne en composés à courte chaîne avec l'objectif de déterminer des constantes cinétiques de dégradation. La plupart de ces études travaillent en réacteur fermé et sont donc difficilement extrapolables à un contexte environnemental (Huang *et al.* 2007, Zhang *et al.* 2007). Seule une étude utilise un modèle hydrodynamique couplé à un modèle biogéochimique pour déterminer, directement à partir de mesures *in situ*, le devenir des NP, NP1EO et NP1EC dans le milieu naturel (Jonkers *et al.* 2005). Similairement à cette approche, un des objectifs de nos travaux était donc **d'appréhender par modélisation le devenir des alkylphénols** en Seine.

Dans ce but, deux campagnes de suivi de masses d'eau ont été effectuées en juillet et septembre 2011, sur un linéaire de 28 km entre Maisons-Laffitte et Meulan. Ce secteur a été sélectionné, car l'apport de Seine Aval permet de suivre plus aisément le devenir des alkylphénols dans la Seine (Figure 17). En raison de la complexité de la biodégradation des NPnEO et du manque d'informations sur ces composés, seuls les mécanismes réactionnels faisant intervenir le NP, le NP1EC et le NP1EO ont été considérés (Figure 17). En collaboration avec le **Centre de Géosciences de l'école des Mines ParisTech (M Poulin, et N. Flipo) et C. Bonhomme (LEESU)**, une adaptation du module RIVE a été intégrée dans le modèle ProSe¹² pour simuler la biodégradation des composés d'intérêt.

¹² Le modèle hydrodynamique ProSe, développé au centre de Géoscience à l'école des Mines ParisTech, permet de simuler le fonctionnement d'un écosystème fluvial à grande échelle dans le but de comprendre l'impact des activités humaines sur ce milieu. Le modèle ProSe a déjà été utilisé pour modéliser l'impact des activités

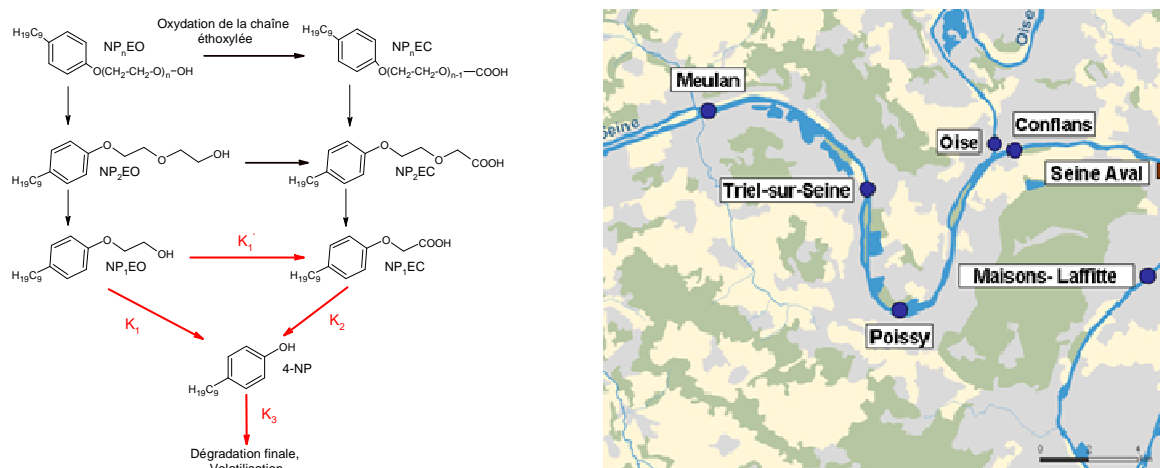


Figure 17 : mécanismes réactionnels considérés dans le modèle ProSe (en rouge) et linéaire de Seine considéré pour le suivi de masse d'eau

Pour simuler convenablement les concentrations des composés cibles sur le tronçon de Seine considéré, les données d'entrées du modèle ProSe sont les conditions amonts (Maisons-Laffitte), de l'Oise et de Seine Aval (débit et concentration de chaque composé), les sources diffuses de NP1EO et NP1EC représentant la dégradation des composés à longue chaîne et les constantes de biodégradation (K_1 , K_1' , K_2 et K_3).

Les concentrations trop faibles des eaux de surface et les incertitudes de mesure (prélèvement et analyse) trop importantes ($\pm 25\%$) n'ont pas permis de modéliser le comportement du BPA. **Pour les composés nonylphénoliques, les résultats expérimentaux permettent de modéliser leur comportement et de déterminer les constantes de biodégradation.** Entre les campagnes de juillet et septembre pour lesquelles les conditions biogéochimiques diffèrent, les constantes évoluent fortement. Après un épisode de bloom algal (campagne de juillet), les valeurs sont de 10 à 35 fois supérieures à celles trouvées sous les conditions biogéochimiques classiquement rencontrées en Seine (campagne de septembre). A titre d'exemple, les temps de demi-vie pour le NP et le NPEC sont respectivement évalués à 2,5 et 3,3 j^{-1} en juillet contre 0,15 et 0,1 j^{-1} en septembre. Les constantes de septembre sont proches de celles trouvées par Jonkers *et al.* (2005) alors que les fortes valeurs observées en juillet sont très probablement liées à la stimulation de la production bactérienne en fin de bloom algal. La modélisation met en évidence qu'en juillet la biodégradation est le facteur qui va contrôler le devenir des NP, NP1EC et NP1EO dans la Seine. En septembre, l'importance de la biodégradation diminue et la contribution du transport dissous dans le devenir des

humaines sur les pollutions azotées et phosphorées ou l'impact des rejets urbains de temps de pluie sur la qualité de la Seine.

alkylphénols augmente. L'étude de la sensibilité du modèle vient renforcer cette hypothèse.

Afin de vérifier des paramètres de calage, le modèle a été testé à partir des résultats 2010 entre Maisons-Laffitte et Meulan. Dans un premier temps, les données d'entrée qui correspondent aux débits et aux concentrations des composés pour chaque station (Maisons-Laffitte, Oise et Seine Aval) ont été simulées soit à partir de relations simples, soit à partir de relations concentration-débit. Après reconstruction des chroniques de concentrations d'entrée et validation de ces données, les chroniques de concentrations à Meulan ont été simulées à partir des jeux de paramètres obtenus pour juillet et septembre 2011 (constantes de biodégradation et apports diffus). Selon le critère de Nash-Sutcliffe, le jeu de paramètres de septembre est performant pour simuler le cycle annuel des concentrations de NP, NP1EC et NP1EO à Meulan, alors que celui de juillet se révèle inapproprié. Pour quelques composés (NP1EC et NP), le modèle simule convenablement les concentrations au cours de l'année, à l'exception de quelques maxima estivaux ou hivernaux. Ces écarts peuvent être liés à des sources ponctuelles de temps de pluie, non intégrées dans le modèle. **Au-delà de l'intérêt des valeurs de calage (constantes de biodégradation, dégradation des précurseurs), l'introduction de la modélisation dans l'évaluation de la contamination à l'échelle de bassins versants constitue une avancée significative. Elle permettra d'appréhender à des échelles spatiales plus vastes ou à l'échelle du bassin versant de la Seine, les processus et le devenir de ces composés.**

I.2.3 Flux de polluants exportés par la Seine et émis par les sources urbaines

Une première estimation des flux exportés par la Seine à Meulan (en aval de Paris) et des flux urbains (rejets de STEP, SUTP, eaux des exutoires pluviaux) a été proposée pour 2010 par Cladière (2012). Etant donné les incertitudes sur les concentrations et les lacunes sur les données disponibles (volume des différentes sources, spatialisation des données, fréquence d'échantillonnage et échelle des processus), **il s'agissait plus d'encadrer les valeurs des flux que de réaliser un bilan des alkylphénols et du bisphénol A.**

Cette évaluation permet néanmoins de mieux cerner l'influence des sources urbaines sur le flux exporté en Seine (Figure 18). Les différentes hypothèses de calcul sont détaillées dans Cladière (2012).

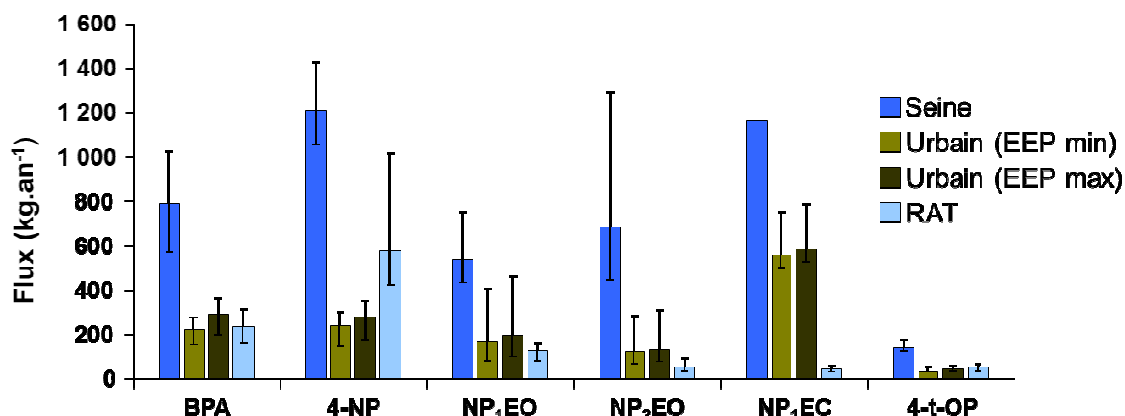


Figure 18 : flux exporté en Seine, flux urbains et de retombées atmosphériques totales

Les flux au niveau de Meulan sont de l'ordre de la centaine de $\text{kg}\cdot\text{an}^{-1}$ pour l'OP, de plusieurs centaines à plus d'un millier de $\text{kg}\cdot\text{an}^{-1}$ pour les BPA, NP1EO et NP2EO et supérieurs à un millier de $\text{kg}\cdot\text{an}^{-1}$ pour le NP et le NP1EC. Quelle que soit l'hypothèse sur les eaux des exutoires pluviaux, les flux des sources urbaines représentent entre 20 et 30 % des flux exportés par la Seine pour les BPA, NP et OP, ce qui montre la complexité à appréhender la dynamique de ces composés. Ces résultats indiquent également que d'autres sources diffuses à l'échelle du bassin de la Seine (têtes de bassin, agriculture, remobilisation depuis les sédiments, etc.) mais aussi la biodégradation des composés à plus longue chaîne doivent être considérées. Dans le cas du NP1EC, les sources urbaines pourraient déverser l'équivalent de 35 à 60 % des flux à Meulan suggérant un impact fort des zones urbaines.

II. Archives sédimentaires

Les profils de contamination pour les HAP, les PCB, les PBDE et les composés nonylphénoliques (NP, NP1EO, NP2EO) mesurés sur la carotte de Bouafles sont illustrés Figure 19 (Lorgeoux *et al.* 2011).

A l'instar de ce qui peut être observé pour les HAP, les PCB ou encore les PBDE, les profils des alkylphénols coïncident avec l'historique d'emploi de ces molécules. Conformément à leur apparition et à leur utilisation croissante dans le milieu industriel, les premières quantités notables d'alkylphénols datent du début des années 1960. Cette contamination apparaît un peu plus tardivement que celles rapportées aux Etats-Unis en 1955 (Ferguson *et al.* 2003) ou au Japon entre 1955 et 1960 (Isobe *et al.* 2001). Avant 1960, les niveaux observés, bien que supérieurs à la limite de détection ($0,004\text{-}0,08 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) sont relativement faibles puisqu'à cette époque leur utilisation en France était encore très marginale.

Après une augmentation progressive entre 1962 et 1975, une première baisse des teneurs est

observée entre 1976 et 1982. Cette période correspond néanmoins à une zone perturbée de la carotte au cours de laquelle le devenir des nonylphénols a pu être affecté. Contrairement aux autres polluants, les alkylphénols sont particulièrement sensibles aux conditions environnementales.

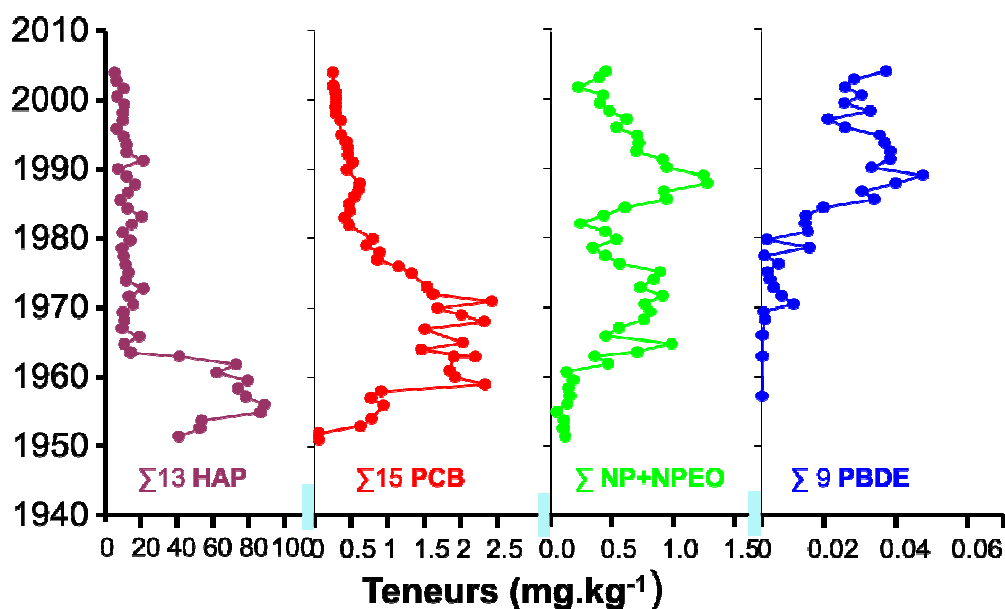


Figure 19 : évolution des teneurs en HAP, PCB, nonylphénols et PBDE au cours du temps pour la carotte de Bouafles (Lorgeoux *et al.* 2011)

Cette baisse est suivie d'un pic centré sur les années 1987 – 1992 qui reflète une forte utilisation dans l'industrie. Les teneurs maximales totales sont observées en 1988. Même si les profils de contamination dépendent fortement de l'historique des bassins versants, plusieurs études ont constaté un pic de contamination entre 1975 et 2000 (Ferguson *et al.* 2003, Isobe *et al.* 2001, Peng *et al.* 2007). Comme le soulignent Ferguson *et al.* (2003) aux Etats-Unis, faute de données à l'échelle nationale ou en Europe, une augmentation progressive des ventes de nonylphénols entre 1955 et 1975 puis une évolution plus importante entre 1975 et 1995 ont été observées.

Après 1988, les teneurs en alkylphénols diminuent et semblent se stabiliser aux alentours de $0,40 \text{ mg.kg}^{-1}$. Ces niveaux sont 3 à 4 fois plus faibles que les teneurs maximales, et légèrement inférieurs aux teneurs mesurées récemment sur les particules sédimentables en Seine (Cladière *et al.* 2013). La diminution marquée entre 1988 et 2004 est vraisemblablement imputable à la mise en place dès 1992 des premières restrictions visant à limiter l'emploi des alkylphénols (OSPAR 1992). Cette commission exigeait l'abandon des nonylphénols polyéthoxylés pour les produits d'entretien domestiques pour 1995 et industriels

pour 2000. En 1998, la Commission OSPAR s'est accordée sur l'objectif de cessation des rejets, émissions et pertes de toutes les substances dangereuses dans l'environnement marin d'ici 2020 et a inclus les nonylphénols polyéthoxylés sur la première liste de substances nécessitant une action prioritaire (OSPAR 1998). Il est probable que ces restrictions ont eu des répercussions rapides sur l'emploi des alkylphénols puisque des solutions alternatives n'engendrant pas de surcoût de production étaient déjà disponibles (Campbell 2002).

BILAN DES ACTIVITES « MICROPOLLUANTS ET MILIEUX RECEPTEURS »

Le bilan des travaux menés dans cette partie en termes de publications, d'encadrements et de collaborations scientifiques est présenté Tableau 8.

Dans le cadre de cette thématique, j'ai encadré une thèse dans son intégralité (Cladière 2012) et deux stages de master (Cladière 2009, Yue 2012). Une partie de ces résultats a déjà été valorisée (3 publications de rang A) et ceux relatifs à la modélisation des alkylphénols pourra l'être prochainement via la position d'ATER de M. Cladière pour l'année 2012-2013.

Tableau 8 : bilan des activités « Micropolluants et milieux récepteurs »

Thèmes	Période	Collaboration	Publications
Polluants prioritaires et substances pertinentes	2008-2009	Ville de Paris, AESN	1
Alkylphénols et BPA (PIREN-Seine phases 5 et 6)	2008-2012		2 + 2*
Alkylphénols et BPA Focus sur la zone urbaine (Cladière 2012)	2008-2012	SIAAP, Ville de Paris, CG92, CG93 et CG94 Collaboration avec INOGEV	
Alkylphénols et BPA Etude du bassin de la Seine (Cladière 2012, Yue 2012)	2008-2012	LSCE, UMR Sisyphe, AESN, Mines ParisTech Collaboration avec ENDOCRINAIR	
Archives sédimentaires (PIREN-Seine phase 5)	2007-2011	LSCE, UMR Sisyphe, UMR 6143 M2C, Université de Caen	1*

* Publication en cours de rédaction

PERSPECTIVES DE RECHERCHE SUR LES MILIEUX RECEPTEURS

I. Contamination à longue échelle de temps

Mes travaux sur les alkylphénols et le bisphénol A (Cladière *et al.* 2013) et ceux entrepris par les autres équipes du PIREN-Seine (Tlili *et al.* 2012) montrent que les contaminations en aval de l'agglomération parisienne ont globalement diminué. Par contre, on observe des concentrations amont ou aval assez proches. Ce constat soulève deux interrogations. La première est relative à l'origine et à la rémanence de ces molécules très en amont du bassin de la Seine. La seconde porte sur l'origine et la nature des stocks de polluants accumulés au sein des différents compartiments (sols, nappes, sédiments) et à leur dynamique.

Pour répondre à ces nouvelles interrogations, je souhaite à court terme (2012-2014) étudier les stocks de polluants potentiellement présents à l'échelle du bassin de la Seine.

Cette perspective s'inscrit dans le thème « contamination à longue échelle de temps » de la phase 6 du PIREN-Seine (2011-2014). Parmi les stocks mal connus et non maîtrisés qui conduisent à une pollution diffuse et durable, les sols ont déjà été étudiés (Cladière, 2012). D'autres stocks tels que les sédiments des lits mineur et majeur, les zones de remblais ou de dépôts de déchets divers n'ont pas encore été examinés. Ces zones seront identifiées en collaboration avec l'action transverse « cartographie historique » (L. Lestel, UMR 7619 Sisyphe). L'échantillonnage sera réalisé en collaboration avec le Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement et sera mutualisé à l'ensemble des équipes du PIREN-Seine. Nous espérons pouvoir en tirer une évaluation des contraintes temporelles du retour au « bon état » des masses d'eau.

II. Rôle biogéochimique des sédiments dans la contamination du bassin

II.1 Qualité des sédiments, matière organique et carbone suie

Si les investigations de la phase 6 du PIREN-Seine cherchent surtout à appréhender un stock de contaminants à l'échelle du bassin, **une de mes perspectives de recherche est d'aller plus loin dans la compréhension des processus qui régissent ces stocks et de mieux appréhender la biogéochimie des contaminants au sein des sédiments.**

Puisque l'on considère généralement que la matière organique fixée sur les phases porteuses minérales domine les processus de sorption-désorption des polluants organiques hydrophobes, il sera dès lors intéressant d'extraire et de caractériser finement la matière organique de sédiments. Cette caractérisation consiste en une série d'analyse pour déterminer l'hydrophobicité, l'aromaticité et la nature des groupements fonctionnels (analyse

élémentaire, RMN ^{13}C , spectroscopie IRTF, analyse isotopique du ^{13}C et ^{15}N). Elle sera menée en collaboration avec G. Varrault (LEESU) qui travaille sur les interactions entre polluants et matière organique. Cette caractérisation pourra à terme mettre en évidence des relations entre la nature et la quantité de matière organique, et la contamination des sédiments en micropolluants. Pour cette perspective, les alkylphénols et d'autres polluants plus hydrophobes pourront être étudiés. Sélectionner plusieurs familles de polluants présente un intérêt dans la mesure où ils diffèrent par leurs propriétés physico-chimiques et leurs structures moléculaires et sont donc susceptibles de se comporter différemment au regard des processus de sorption.

En complément de cette caractérisation, les teneurs en carbone suie (« black carbon »), composante de la matière organique seront déterminées. Le carbone suie provient de la combustion incomplète (combustibles fossiles ou biomasse végétale) et du lessivage du carbone graphite dans les roches. Dans les sédiments ou les sols, sa teneur varie entre 0,1 et 10 % (Cornelissen *et al.* 2001, Leaute 2008). Il présente de fortes capacités de sorption et certaines études lui attribuent une importance considérable dans la séquestration des contaminants organiques (Cornelissen *et al.* 2005, Cornelissen *et al.* 1998, ten Hulscher & Cornelissen 1996). A titre d'exemple, et bien que la teneur en carbone suie soit faible dans des sédiments de l'étang de Thau (0,1-0,9 %), Leaute (2008) rapporte qu'il peut réduire d'un facteur 100 la désorption des polluants (Leaute 2008). De même, la sorption des HAP semble 1 000 fois plus forte sur le carbone suie que sur la matière organique amorphe (Jonker & Koelmans 2002). Son intervention dans la séquestration des contaminants est encore mal connue. **A l'échelle du bassin de la Seine, il serait donc intéressant d'étudier, pour différents polluants, si le carbone suie joue un rôle dans cette séquestration.** A plus long terme, l'étude des interactions entre cette composante et les HAP permettra probablement de faire un pas vers la compréhension des processus réversibles de sorption-désorption, et ainsi peut être comprendre les fréquents dépassements des NQE-MA observés par l'AESN dans les eaux de surface.

II.2 Cinétiques de sorption – désorption des contaminants

Dans la suite de mes travaux, je souhaite déterminer comment les stocks de polluants contenus dans les sédiments impactent les milieux récepteurs. Pour répondre à cette question, il convient d'étudier :

- la dynamique des contaminants entre sédiments et colonne d'eau, et plus spécifiquement le relargage de divers contaminants ;

- Les facteurs susceptibles d'influencer ce relargage.

Tout d'abord, des cinétiques de désorption de contaminants seront réalisées en laboratoire sur différents échantillons. Comme indiqué par Cornelissen *et al.* (1997) ou Sormunen *et al.* (2008), des billes de Tenax peuvent être utilisées à cet effet. En considérant la désorption des contaminants (Cornelissen *et al.* 2001, ten Hulscher & Cornelissen 1996) et les modèles disponibles, des constantes de désorption pourront être alors évaluées. Ces constantes couplées à l'évaluation des stocks à l'échelle du bassin de la Seine permettront de mettre en perspective le rôle des sédiments dans la contamination du bassin. Ces travaux pourront être menés pour les HAP, mais également pour les PBDE ou les phtalates.

Dans un second temps, je souhaite m'intéresser aux paramètres susceptibles d'influencer ce relargage. Les processus de désorption peuvent être influencer par différents facteurs tels que les niveaux et les propriétés physico-chimiques de contaminants, la nature et la quantité de la matière organique (Kile *et al.* 1999), son altération, mais aussi par les teneurs en carbone suie (Jonker & Koelmans 2002). En évaluant les cinétiques de désorption de sédiments contrastés en termes de contamination, de nature de matière organique et de teneurs en carbone suie, cette étude nous permettra de mieux appréhender la désorption des polluants et le rôle du carbone suie dans la séquestration des contaminants. Cette action sera co-encadrée avec G. Varrault et menée en concertation avec les travaux engagés sur l'interaction entre matière organique particulaire et polluants organiques (thèse de C. Soares-Pereira, 2011-2014). Une demande de financement de thèse a été sollicitée auprès de l'école doctorale.

L'évaluation des stocks et l'étude des processus de sorption-désorption des contaminants constituent ma seconde priorité de recherche.

III. Modélisation des alkylphénols à l'échelle du bassin de la Seine

Les travaux réalisés au cours de la thèse de M. Cladière ont démontré que la modélisation du devenir des alkylphénols dans le milieu récepteur est parfaitement envisageable. Ce travail constitue une avancée significative dans l'évaluation de la contamination à l'échelle de bassins versants pour ce type de contaminants.

Une première perspective de ce travail consistera à analyser les nonylphénols polyéthoxylés à longues chaînes (avec un nombre d'unités éthoxylées > 3). Cette perspective implique la mise en place d'une méthode analytique validée.

Je pense également que ces travaux doivent être élargis à l'échelle du bassin versant, avec un couplage bassin versant-rivière. Cette perspective, aujourd'hui très sérieusement examinée en

partenariat avec C. Bonhomme et B. Tassin (LEESU), ne peut se faire qu'en continuant à acquérir des données appropriées pour ce genre de modélisation et donc en poursuivant les campagnes de mesures, en concertation entre expérimentateurs et modélisateurs. Trop rares sont encore des études de modélisation du transfert des contaminants organiques réactifs en rivière, étayés par des jeux de données solides.

CONCLUSION GENERALE

Ce document synthétise l'ensemble des mes activités de recherche depuis mon doctorat, jusqu'à mes travaux les plus récents. Dès mon recrutement en 2007, je me suis impliqué activement dans les programmes PIREN-Seine et OPUR.

Dans le programme OPUR, j'ai initié la thématique sur l'efficacité des stations d'épuration. Coordinateur au cours de la phase 3 (2006-2012), j'ai souhaité maintenir cette responsabilité pour la phase 4 d'OPUR (2012-2017). Ces activités impliquent 5 chercheurs du LEESU et son budget s'élève à environ 200 k€. Parallèlement à ces activités, j'ai piloté et coordonné d'autres études sur la qualité des eaux résiduaires urbaines et les RUTP. Plus récemment, je me suis impliqué dans l'étude de la qualité des eaux pluviales et l'étude des processus de production.

Dans le cadre du PIREN-Seine, j'ai initié la thématique de recherche sur les flux, sources et devenir des alkylphénols et du bisphénol A à l'échelle du bassin de la Seine. Simple acteur dans la phase 5 (2007-2010), je suis devenu co-animateur du thème « contamination à longue échelle de temps » dans la phase 6 (2011-2014) avec S. Ayrault (LSCE) et E. Moreau-Guigon (UMR Sisyphe). Cet axe de recherche regroupe quatre équipes et son budget total s'élève à 600 k€. Par ailleurs, je me suis investi dans l'étude des polluants prioritaires en collaboration avec la Ville de Paris et l'AESN et j'ai également contribué à la thématique archives sédimentaires.

En considérant la totalité du cycle de l'eau, mes travaux offrent une vision intégrée du devenir en milieu urbain de nombreux polluants organiques, de leur émission jusqu'au milieu récepteur. L'attention porte notamment sur les polluants prioritaires de la Directive cadre sur l'eau, des hydrocarbures aromatiques polycycliques, des polybromodiphényléthers, des alkylphénols, du bisphénol A et des phtalates. Mes travaux s'intéressent d'une part à la production de polluants sur les surfaces urbaines, à leur transfert dans les réseaux, à leur comportement au sein des filières de traitement et finalement à leur devenir dans les milieux récepteurs. Ils s'inscrivent pleinement dans les activités du LEESU sur les sources, les flux et le transfert de contaminants dans les bassins versants urbains et les milieux anthropisés.

L'approche que j'ai adoptée m'a permis de tisser un réseau important de collaborations scientifiques et opérationnelles. A l'échelle nationale, plusieurs collaborations scientifiques ont été établies dans le cadre du PIREN-Seine (UMR Sisyphe, LSCE, Mines ParisTech) ou

d'OPUR (CETE, LCPP, SCA-CNRS, LMSPC, IFSTTAR, LGCIE, CEREAs). Ces travaux se sont également appuyés sur de nombreux partenaires opérationnels (Airparif, AESN, CSTB, ANSES, SIAAP, SIVOA, Ville de Paris, CG92, CG93, CG94, SEVESC). A l'échelle européenne, et suite à ma participation au projet ScorePP (9 équipes associées), un réseau de partenaires de recherche a été développé.

Plus récemment, mes activités sur les micropolluants m'ont amené, dans le cadre d'Aquaref (laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques) à apporter mon expertise dans l'élaboration d'un guide sur les pratiques d'échantillonnage et de conditionnement en vue de la recherche de micropolluants émergents et prioritaires en assainissement collectif et industriel (Eymery *et al.* 2011).

Afin de pouvoir mener à bien mes activités de recherche, j'ai obtenu le soutien financier du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (2 bourses de thèse), et de l'UPEC (soutiens financiers jeunes chercheurs, CRCT de 6 mois) et plus récemment de la région Île-de-France (financement petit équipement, 125 k€) pour l'achat d'un spectromètre de masse de type quadripôle.

Depuis 2007, j'ai encadré 3 doctorants (thèses soutenues), dont 2 en tant qu'encadrant principal, 7 stages de master 2 et 2 stages de niveau licence. Un nouveau doctorat sous ma responsabilité a débuté en septembre 2012 sur l'efficacité des traitements tertiaires ; perspective de recherche abordée dans le bloc « *Micropolluants et filières de traitement* ».

A ce jour, l'ensemble des mes travaux de recherche a été valorisé par la publication de 24 articles dans des revues internationales de rang A, et 17 articles dans des revues nationales. L'effort particulier qui a été porté à l'échelle nationale traduit ma relation de proximité et mon engagement pour le transfert des connaissances aux gestionnaires. Sur des actions de recherche en cours de finalisation (ENDOCRINAIR, INOGEV), plusieurs articles sont en cours de rédaction. A des colloques, 18 communications internationales (orales) et 17 nationales ont été présentées.

Si mes travaux apportent certains éléments de compréhension sur le devenir des polluants en milieu urbain et dans les milieux récepteurs, mes perspectives s'inscrivent dans la continuité de ces thématiques et chercheront à approfondir ces connaissances suite à des évolutions de pratiques et de gestion des eaux pluviales, d'évolutions technologiques ou de prise en compte des risques environnementaux. Mes priorités de recherche se focaliseront essentiellement sur les traitements tertiaires, et sur l'évaluation des stocks et l'étude des processus de sorption-

désorption des contaminants à l'échelle du bassin de la Seine. Pour la première thématique, une thèse a d'ores et déjà débutée dans le cadre de la phase 4 d'OPUR (thèse de R. Mailler). Pour la seconde, des premiers travaux sont en cours dans le cadre de la phase 6 du PIREN-Seine et plusieurs demandes d'allocation doctorale ont été sollicitées pour démarrer une thèse en octobre 2013. Ces deux perspectives impliqueront d'autres chercheurs au LEESU (R. Moilleron, G. Varrault, MC. Gromaire, C. Bonhomme, B. Tassin). A moyen terme, les autres perspectives de recherches énoncées dans ce mémoire seront abordées. Selon l'appel d'offre prochainement lancé par l'ONEMA sur les micropolluants (mai 2013), une partie de ces perspectives pourra être proposée.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

- Aboul-Kasim T, Simoneit B (1995): Aliphatic and aromatic hydrocarbons in particulate fallout of Alexandria, Egypt: sources and applications. *Environmental Science & Technology* 29, 2473-2483.
- Ahel M, Giger W, Schaffner C (1994): Behaviour of alkylphenol polyethoxylate surfactants in the aquatic environment--II. Occurrence and transformation in rivers. *Water Research* 28, 1143-1152.
- Asano T, Levine AD (1996): Wastewater reclamation, recycling and reuse: Past, present, and future. *Water Science and Technology* 33, 1-14.
- Asano T, Cotruvo JA (2004): Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations. *Water Research* 38, 1941-1951.
- Ashley RM, Crabtree RW (1992): Sediment origins, deposition and buildup in combined sewer systems. *Water Science and Technology* 25, 1-12.
- Ayrault S, Lefèvre I, Bonté P, Priadi C, Carbonaro-Lestel L, Mouchel J, Lorgeoux C, Djouarev I, Gasperi J, Moilleron R, Tassin B 2010: Archives sédimentaires, témoignages de l'histoire du développement du bassin.65.
- Ayrault S, Roy-Barman M, Le Cloarec M-F, Priadi CR, Bonte P, Goepel C (2012): Lead contamination of the Seine River, France: Geochemical implications of a historical perspective. *Chemosphere* 87, 902-910.
- Becouze-Lareure C 2010: Caractérisation et estimation des flux de substances prioritaires dans les rejets urbains par temps de pluie sur deux bassins versants, PhD Thesis INSA de Lyon, 308 pp.
- Bensaadi S 2006: Répartition des hydrocarbures par classes de vitesses de chute, Stage de DEA Sciences et Techniques de l'Environnement de l'Université Paris 12 – Val de Marne, 40 p. pp.
- Bergé A 2012: Identification des sources d'alkylphénols et de phtalates en milieu urbain. Comparaison des rejets à dominante urbaine (domestique) par rapport à des rejets purement industriels, Thèse de l'Université Paris-Est, 290 pp.
- Bergé A, Gasperi J, Rocher V, Coursimault A, Moilleron R (2012): Devenir des phtalates en milieu urbain : de l'égout au rejet de la station d'épuration. *Techniques, Sciences, Méthodes* 4, 21-29.
- Bergé A, Gras L, Chabance G, Rocher V, Gasperi J, Coursimault A, Moilleron R (2013): Contributions des rejets industriels à l'échelle de l'agglomération parisienne : cas des phtalates et des alkylphénols. *Techniques, Sciences, Méthodes*, soumis
- Berkner S, Streck G, Herrmann R (2004): Development and validation of a method for determination of trace levels of alkylphenols and bisphenol A in atmospheric samples. *Chemosphere* 54, 575-584.
- Bernhard M, Mueller J, Knepper TR (2006): Biodegradation of persistent polar pollutants in wastewater: Comparison of an optimised lab-scale membrane bioreactor and activated sludge treatment. *Water Research* 40, 3419-3428.
- Bertrand-Krajewski JL, Chebbo G, Saget A (1998): Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon. *Water Research* 32, 2341-2356.

- Bertrand-Krajewski JL, Laplace D, Joannis C, Chebbo G (2000): Mesures en hydrologie urbaine et assainissement. Edition Tec & Doc
- Bester K, Scholes L, Wahlberg C, Mcardell C (2008): Sources and mass flows of xenobiotics in urban water cycles - an overview on current knowledge and data gaps. *Water, Air and Soil Pollution* 8, 407-423.
- Billen G, Garnier J (2009): Eutrophisation des cours d'eau du bassin de la Seine. Fasicule PIREN-Seine, 44.
- Birch H, Mikkelsen PS, Jensen JK, Lutzhoft HCH (2011): Micropollutants in stormwater runoff and combined sewer overflow in the Copenhagen area, Denmark. *Water Science and Technology* 64, 485-493.
- Blanchoud H, Moreau-Guigon E, Farrugia F, Chevreuil M, Mouchel JM (2007): Contribution by urban and agricultural pesticide uses to water contamination at the scale of the Marne watershed. *Science of the Total Environment* 375, 168-179.
- Bomboi MT, Hernandez A, Marino F, Hontoria E (1990): Distribution of hydrocarbon concentration from urban runoff. *Science of the Total Environment* 93, 465-480.
- Bressy A 2010: Flux de micropolluants dans les eaux de ruissellement urbaines. Effet de différents modes de gestion des eaux pluviales, Thèse de l'Université Paris-Est, 332 pp.
- Bressy A, Gromaire MC, Lorgeoux C, Saad M, Leroy F, Chebbo G (2012): Towards the determination of an optimal scale for stormwater quality management: Micropollutants in a small residential catchment. *Water Research* 46, 6799-6810.
- Brindle K, Stephenson T (1996): The application of membrane biological reactors for the treatment of wastewaters. *Biotechnology and Bioengineering* 49, 601-610.
- Byrns G (2001): The fate of xenobiotic organic compounds in wastewater treatment plants. *Water Research* 35, 2523-2533.
- Campbell P 2002: Alternatives to Nonylphenol Ethoxylates - Review of Toxicity, Biodegradation & Technical-Economic Aspects, Report Environment Canada79.
- Campbell PM, Hutchinson TH (1998): Wildlife and endocrine disruptors: Requirements for hazard identification. *Environmental Toxicology and Chemistry* 17, 127-135.
- Canler J-P, Perret J-M 2007: Les clarifloculateurs plus particulièrement utilisés en traitement tertiaire. Document technique FNDAE n°35
- Cespedes R, Lacorte S, Raldua D, Ginebreda A, Barcelo D, Pina B (2005): Distribution of endocrine disruptors in the Llobregat River basin (Catalonia, NE Spain). *Chemosphere* 61, 1710-1719.
- Chebbo G, Gromaire M, LUCAS E (2003): Protocole VICAS – mesure de la vitesse de chute des MES dans les effluents urbains. *Techniques, Sciences, Méthodes* 12, 39-49.
- Chevreuil M, Blanchard M, Teil MJ, Carru AM, Testard P, Chesterikoff A (1996): Evaluation of the pollution by organochlorinated compounds (polychlorobiphenyls and pesticides) and metals Cd, Cr, Cu and Pb in the water and in the zebra mussel (*Dreissena polymorpha Pallas*) of the river Seine. *Water, Air and Soil Pollution* 88, 371-381.
- Cladière M 2009: Suivi des alkylphénols et alkylphénols éthoxylés dans les eaux de surface, Stage de master 2 Sciences et Génie de l'Environnement, 42 pp.
- Cladière M, Gasperi J, Lorgeoux C, Bonhomme C, Rocher V, Troupel M, Tassin (2011): Bisphénol A : premiers résultats sur le bassin de la Seine. *Techniques, Sciences, Méthodes* 11, 33-45.
- Cladière M 2012: Flux et devenir des alkylphénols et du bisphénol A dans le bassin de la Seine, Thèse de l'Université Paris-Est, 251 pp.

- Cladière M, Gasperi J, Lorgeoux C, Bonhomme C, Rocher V, Tassin B (2013): Alkylphenolic compounds and bisphenol A contamination within a heavily urbanized area: case study of Paris. *Environmental Science and Pollution Research* 20, 2973-2983.
- Clark SE, Burian S, Pitt R, Field R (2007): Urban wet-weather flows. *Water Environment Research* 79, 1166-1227.
- Colandini V, Legret M, Brosseaud Y, Balades JD (1995): Metallic Pollution in Clogging Materials of Urban Porous Pavements. *Water Science and Technology* 32, 57-62.
- Cornelissen G, Rigterink H, Ferdinandy MMA, Van Noort PCM (1998): Rapidly desorbing fractions of PAHs in contaminated sediments as a predictor of the extent of bioremediation. *Environmental Science & Technology* 32, 966-970.
- Cornelissen G, Rigterink H, Ten Hulscher TEM, Bea AV, van Noort PCM (2001): A simple TENAX extraction method to determine the availability of sediment-sorbed organic compounds. *Environmental Toxicology and Chemistry* 20, 706-711.
- Cornelissen G, Gustafsson O, Bucheli TD, Jonker MTO, Koelmans AA, Van Noort PCM (2005): Extensive sorption of organic compounds to black carbon, coal, and kerogen in sediments and soils: Mechanisms and consequences for distribution, bioaccumulation, and biodegradation. *Environmental Science & Technology* 39, 6881-6895.
- Cousins IT, Staples CA, Klecka GM, Mackay D (2002): A multimedia assessment of the environmental fate of bisphenol A. *Human and Ecological Risk Assessment* 8, 1107-1135.
- Crabtree B, Moy F, Whitehead M, Roe A (2006): Monitoring pollutants in highway runoff. *Water and Environment Journal* 20, 287-294.
- Crittenden JC, Vaitheeswaran K, Hand DW, Howe EW, Aieta EM, Tate CH, McGuire MJ, Davis MK (1993): Removal of dissolved organic carbon using granular activated carbon. *Water Research* 27, 715-721.
- Dachs J, Van Ry DA, Eisenreich SJ (1999): Occurrence of estrogenic nonylphenols in the urban and coastal atmosphere of the lower Hudson River estuary. *Environmental Science & Technology* 33, 2676-2679.
- Dechesne M, Barraud S, Bardin JP (2004): Spatial distribution of pollution in an urban stormwater infiltration basin. *Journal of Contaminant Hydrology* 72, 189-205.
- Delgado LF, Charles P, Glucina K, Morlay C (2012): The removal of endocrine disrupting compounds, pharmaceutically activated compounds and cyanobacterial toxins during drinking water preparation using activated carbon--a review. *Science of the Total Environment* 435-436, 509-25.
- Delmas M, Cerdan O, Cheviron B, Mouchel JM, Eyrolle F (2012): Sediment export from French rivers to the sea. *Earth Surf. Process. Landf.* 37, 754-762.
- Eriksson E, Baun A, Scholes L, Ledin A, Ahlman S, Revitt M, Noutsopoulos C, Mikkelsen PS (2007): Selected stormwater priority pollutants - a European perspective. *Science of the Total Environment* 383, 41-51.
- Eymery F, Choubert JM, Lepot B, Gasperi J, Lachenal J, Coquery M 2011: Guide technique opérationnel : Pratiques d'échantillonnage et de conditionnement en vue de la recherche de micropolluants prioritaires et émergents en assainissement collectif et industriel 85.
- Fenet H, Gomez E, Pillon A, Rosain D, Nicolas JC, Casellas C, Balaguer P (2003): Estrogenic activity in water and sediments of a French river: Contribution of alkylphenols. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 44, 1-6.

- Ferguson PL, Bopp RF, Chillrud SN, Aller RC, Brownawell BJ (2003): Biogeochemistry of nonylphenol ethoxylates in urban estuarine sediments. *Environmental Science & Technology* 37, 3499-3506.
- Gaid A (2008): Traitement des eaux résiduaires. *Techniques de l'Ingénieur C 5 220*
- Gasperi J, Rocher V, Celaudon T, Moilleron R, Chebbo G (2005a): Hydrocarbons and heavy metals fixed to the lift station sediment of the Paris combined sewer network. *Water Science and Technology* 52, 119-127.
- Gasperi J, Rocher V, Moilleron RG, Chebbo G (2005b): Hydrocarbon loads from street cleaning practices: Comparison with dry and wet weather flows in a Parisian combined sewer system. *Polycyclic Aromatic Compounds* 25, 169-181.
- Gasperi J 2006: Introduction et transfert des hydrocarbures à différentes échelles spatiales dans le réseau d'assainissement parisien, Thèse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 272 pp.
- Gasperi J, Moilleron R, Chebbo G (2006a): Spatial variability of polycyclic aromatic hydrocarbon load of urban wet weather pollution in combined sewers. *Water Science and Technology* 54, 185-193.
- Gasperi J, Rocher V, Azimi S, Garnaud S, Varrault G, Moilleron R, Chebbo G (2006b): Contribution of domestic effluents to hydrocarbon levels of dry weather flows in combined sewers. *Urban Water Journal* 3, 225-233.
- Gasperi J, Rocher V, Moilleron R, Chebbo G (2007): Review on the hydrocarbon fate within combined sewers: Case of the "Le Marais" urban catchment (1994-2005). *Polycyclic Aromatic Compounds* 27, 123-141.
- Gasperi J, Garnaud S, Rocher V, Moilleron R (2008a): Priority pollutants in wastewater and combined sewer overflow. *Science of the Total Environment* 407, 263-272.
- Gasperi J, Kafi-Benyahia M, Lorgeoux C, Moilleron R, Gromaire MC, Chebbo G (2008b): Wastewater quality and pollutant loads in combined sewers during dry weather periods. *Urban Water Journal* 5, 305-314.
- Gasperi J, Kafi-Benyahia M, Lorgeoux C, Moilleron R, Gromaire MC, Chebbo G (2008c): Spatial variability of the pollutant load conveyed by dry weather flows within the Parisian combined sewers. *Urban Water Journal* 5, 305-314.
- Gasperi J, Garnaud S, Rocher V, Moilleron R (2009a): Priority pollutants in surface waters and settleable particles within a densely urbanised area: Case study of Paris (France). *Science of the Total Environment* 407, 2900-2908.
- Gasperi J, Lorgeoux C, Moilleron R, Gromaire MC, Chebbo G (2009b): Settling Velocity Grading of Particle Bound PAHs: Case of Wet Weather Flows within Combined Sewer Systems. *Journal of Environmental Engineering-Asce* 135, 1155-1160.
- Gasperi J, Gromaire MC, Kafi M, Moilleron R, Chebbo G (2010a): Contributions of wastewater, runoff and sewer deposit erosion to wet weather pollutant loads in combined sewer systems. *Water Research* 44, 5875-5886.
- Gasperi J, Rocher V, Gilbert S, Azimi S, Chebbo G (2010b): Occurrence and removal of priority pollutants by lamella clarification and biofiltration. *Water Research* 44, 3065-3076.
- Gasperi J, Laborie B, Rocher V (2012): Treatment of combined sewer overflows by ballasted flocculation: Removal study of a large broad spectrum of pollutants. *Chemical Engineering Journal* 211-212, 293-301.

- Geara-Matta D 2012: Flux et sources des parabènes, du triclosan et du triclocarban en milieux urbains denses : comparaison entre Paris et Beyrouth, Thèse de l'Université Paris-Est, 181 pp.
- Gilbert S 2011: Devenir des polybromodiphényléthers et des alkylphénols dans les filières de traitement des eaux usées, Thèse de l'Université Paris-Est, 289 pp.
- Gilbert S, Gasperi J, Rocher V, Lorgeoux C, Chebbo G (2012): Removal of alkylphenols and polybromodiphenylethers by a biofiltration treatment plant during dry and wet-weather periods. *Water Science and Technology* 65, 1591-8.
- Giroud V, Esser D, Fournet L, Davoli F (2007): Les filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux pluviales : Notion d'efficacité, Conférence Novatech, Lyon, pp. 869-876.
- Gonçalves A, Rocher V, Pichon S (2009): Qualité bactériologique des eaux de la région parisienne. De l'eau d'égout au milieu récepteur. *Techniques, Sciences, Méthodes* 3, 38-49.
- Gotz R, Bauer O-H, Friesel P, Herrmann T, Jantzen E, Kutzke M, Lauer R, Paepke O, Roch K, Rohweder U, Schwartz R, Sievers S, Stachel B (2007): Vertical profile of PCDD/Fs, dioxin-like PCBs, other PCBs, PAHs, chlorobenzenes, DDX, HCHs, organotin compounds and chlorinated ethers in dated sediment/soil cores from flood-plains of the River Elbe, Germany. *Chemosphere* 67, 592-603.
- Gromaire M-C, Kafi M, Gasperi J, Saad M, Moilleron R, Chebbo G (2008): Settling velocity of particulate pollutants from combined sewer wet weather discharges. *Water Science and Technology* 58, 2453-2465.
- Gromaire M, Saad M, Chebbo G (2003): Répartition des polluants des eaux urbaines par classes de vitesses de chute. Partie B : analyse des méthodes de mesure. *Techniques Sciences et Méthodes* 12, 59-69.
- Gromaire MC 1998: La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire : origines et caractéristiques. Thèse de doctorat Thesis, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Marne La Vallée, 507 p. pp.
- Hannouche A 2012: Analyse du transport solide en réseau d'assainissement unitaire par temps de pluie : exploitation de données acquises par les observatoires français en hydrologie urbaine, 485 pp.
- Harrison RM, Smith DJT, Luhana L (1996): Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham, UK. *Environmental Science & Technology* 30, 825-832.
- Hotchkiss AK, Rider CV, Blystone CR, Wilson VS, Hartig PC, Ankley GT, Foster PM, Gray CL, Gray LE (2008): Fifteen years after "Wingspread" - Environmental endocrine disruptors and human and wildlife health: Where we are today and where we need to go. *Toxicol. Sci.* 105, 235-259.
- Huang GL, Hou SG, Wang L, Sun HW (2007): Distribution and fate of nonylphenol in an aquatic microcosm. *Water Research* 41, 4630-4638.
- Isobe T, Nishiyama H, Nakashima A, Takada H (2001): Distribution and behavior of nonylphenol, octylphenol and nonylphenol monoethoxylate in okyo metropolitan area: Their association with aquatic particles and sedimentary distributions. *Environmental Science & Technology* 35, 1041-1049.
- Jobling S, Reynolds T, White R, Parker MG, Sumpter JP (1995): A variety of environmentally persistent chemicals, including some phthalate plasticizers, are weakly estrogenic. *Environmental Health Perspectives* 103, 582-587.

- Jobling S, Sheahan D, Osborne JA, Matthiessen P, Sumpter JP (1996): Inhibition of testicular growth in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to estrogenic alkylphenolic chemicals. *Environmental Toxicology and Chemistry* 15, 194-202.
- Johnson AC, Sumpter JP (2001): Removal of endocrine-disrupting chemicals in activated sludge treatment works. *Environmental Science & Technology* 35, 4697-4703.
- Jolis D, Ahmad ML (2004): Evaluation of high-rate clarification for wet-weather-only treatment facilities. *Water Environment Research* 76, 474-480.
- Jonker MTO, Koelmans AA (2002): Sorption of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls to soot and soot-like materials in the aqueous environment mechanistic considerations. *Environmental Science & Technology* 36, 3725-3734.
- Jonkers N, Laane R, de Graaf C, de Voogt P (2005): Fate modeling of nonylphenol ethoxylates and their metabolites in the Dutch Scheldt and Rhine estuaries: validation with new field data. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 62, 141-160.
- Jung S, Arnaud F, Bonté P, Chebbo G, Desmet M, Dorioz JM, Lorgeoux C, Winiarski T, Tassin B (2008): The historical record of PAH, PCB and trace metal deposition in a french alpine lake from a dated sediment core, Edimbourg, Ecosse
- Kafi M 2006: Variabilité spatiale des caractéristiques et des origines de la pollution de temps de pluie en réseau d'assainissement unitaire, Thèse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 482 pp.
- Kafi M, Gasperi J, Moilleron R, Gromaire M-C, Chebbo G (2008): Spatial variability of the characteristics of combined wet weather pollutant loads in Paris. *Water Research* 42, 539-549.
- Katsoyiannis A, Samara C (2004): Persistent organic pollutants (POPS) in the sewage treatment plant of Thessaloniki, northern Greece: occurrence and removal. *Water Research* 38, 2685-2698.
- Kile DE, Wershaw RL, Chiou CT (1999): Correlation of soil and sediment organic matter polarity to aqueous sorption of nonionic compounds. *Environmental Science & Technology* 33, 2053-2056.
- Krein A, Schorer M (2000): Road runoff pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons and its contribution to river sediments. *Water Research* 34, 4110-4115.
- Krejci V, Dauber L, Novak B, Gujer W (1987): Contribution of different sources to pollutant loads in combined sewers, 4th international conference on Urban Storm Drainage, Lausanne
- Laborie B 2010: Etude de l'efficacité de l'unité de clarifloculation de Seine Aval, cas des nutriments et des micropolluants, Stage master 2 Environnement et gestion de la biodiversité, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 83 pp.
- Lajeunesse A, Smyth SA, Barclay K, Sauve S, Gagnon C (2012): Distribution of antidepressant residues in wastewater and biosolids following different treatment processes by municipal wastewater treatment plants in Canada. *Water Research* 46, 5600-5612.
- Lamprea K 2009: Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbains, Thèse en Génie civil de l'École Centrale de Nantes, 295 pp.
- Le Cloarec MF, Bonte PH, Lestel L, Lefevre I, Ayrault S (2011): Sedimentary record of metal contamination in the Seine River during the last century. exported from rebase

- (<http://leesu.univ-paris-est.fr/refbase/show.php?record=176>), last updated on Thu, 10 Dec 2009 18:18:54 +0100 36, 515-529.
- Leaute F 2008: Biogéochimie des contaminants organiques HAP et PCB et pesticides organochlorés dans les sédiments de l'étang de Thau, Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, 255 pp.
- Lorgeoux C, Ayrault S, Moilleron R, Lherm D, Gasperi J, Tassin B, Roy-Barman M, Cloarec MFL, Lefèvre I, Bonté P, Carbonaro-Lestel L, Mouchel J, Eurin J, Tamtam F, Dinh T, Chevreuil M, Boust D, Vrel A 2011: Archives sédimentaires, empreintes des micropolluants sur le bassin de la Seine sur 80 ans.34.
- Mai BX, Chen SJ, Luo XJ, Chen LG, Yang QS, Sheng GY, Peng PG, Fu JM, Zeng EY (2005): Distribution of polybrominated diphenyl ethers in sediments of the Pearl River Delta and adjacent South China Sea. *Environmental Science & Technology* 39, 3521-3527.
- Manceau C 2005: Faisabilité de la mesure des hydrocarbures par classes de vitesse de chute.
- Margot J, Magnet A, Thonney D, Chèvre N, de Alencastro F, Rossi L 2011: Traitement des micropolluants dans les eaux usées – Rapport final sur les essais pilotes à la STEP de Vidy (Lausanne).
- McDonald TA (2002): A perspective on the potential health risks of PBDEs. *Chemosphere* 46, PII S0045-6535(01)00239-9.
- MEDAD 2007: Circulaire du 7 mai 2007 définissant les « normes de qualité environnementale provisoires (NQE_p) » des 41 substances impliquées dans l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau ainsi que des substances pertinentes du programme national de réduction des substances dangereuses dans l'eau¹³.
- Menard C 2006: Efficacité épuratoire d'un décanteur lamellaire sur l'abattement de micropolluants organiques, Stage ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Ingénierie de Poitiers, 38 pp.
- Mendoza-Espinosa L, Stephenson T (1999): A review of biological aerated filters (BAFs) for wastewater treatment. *Environmental Engineering Science* 16, 201-216.
- Meybeck M, Lestel L, Bonte P, Moilleron R, Colin JL, Rousselot O, Herve D, de Ponteves C, Grosbois C, Thevenot DR (2007): Historical perspective of heavy metals contamination (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) in the Seine River basin (France) following a DPSIR approach (1950-2005). *Science of the Total Environment* 375, 204-231.
- Michelbach S, Wei GJ (1996): Settleable sewer solids at stormwater tanks with clarifier for combined sewage. *Water Science and Technology* 33, 261-267.
- Mohanty K, Jha M, Meikap BC, Biswas MN (2005): Preparation and characterization of activated carbons from Terminalia arjuna nut with zinc chloride activation for the removal of phenol from wastewater. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 44, 4128-4138.
- Molle P, Lipeme Kouyi G, Toussaint J, Troesch S, Esser D, Vareilles S, Guillermand S (2010): Traitement des eaux urbaines de temps de pluie par filtres plantés de roseaux à écoulement vertical : approche globale du projet de recherche SEGTEUP, Conférence Novatech, Lyon
- Motelay-Massei A, Garban B, Phagne-Larcher K, Chevreuil M, Ollivon D (2006): Mass balance for polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban watershed of Le Havre (France): Transport and fate of PAHs from the atmosphere to the outlet. *Water Research* 40, 1995-2006.

- Mujeriego R, Asano T (1999): The role of advanced treatment in wastewater reclamation and reuse. *Water Science and Technology* 40, 1-9.
- Nakada N, Nyunoya H, Nakamura M, Hara A, Iguchi T, Takada H (2004): Identification of estrogenic compounds in wastewater effluent. *Environmental Toxicology and Chemistry* 23, 2807-2815.
- Nicolle-Mir L (2012): Toxicity of Bisphenol A: conclusions of Afssa. *Environ. Risque Sante* 11, 202-203.
- Nimrod AC, Benson WH (1996): Environmental estrogenic effects of alkylphenol ethoxylates. *Crit. Rev. Toxicol.* 26, 335-364.
- Ollivon D, Blanchard M, Garban B (1999): PAH Fluctuations in Rivers in the Paris Region (France): Impact of Floods and Rainy Events. *Water, Air and Soil Pollution* 115, 429-444.
- OSPAR 1992: Recommandation PARCOM 92/8 sur les éthoxylates nonylphénoliques., Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est, Convention OSPAR
- OSPAR (1998): OSPAR Strategy with Regard to Hazardous Substances, OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, OSPAR 98/14/1 Annex 34.
- Patureau D, Delgenes N, Delgenes J-P (2008): Impact of sewage sludge treatment processes on the removal of the endocrine disrupters nonylphenol ethoxylates. *Chemosphere* 72, 586-591.
- Peng XZ, Wang ZD, Mai BX, Chen FR, Chen SJ, Tan JH, Yu YY, Tang CM, Li KC, Zhang G, Yang C (2007): Temporal trends of nonylphenol and bisphenol A contamination in the Pearl River Estuary and the adjacent South China Sea recorded by dated sedimentary cores. *Science of the Total Environment* 384, 393-400.
- Pitt R, Field R, Lalor M, Brown M (1995): Urban stormwater toxic pollutants - assessment, sources and treatability. *Water Environment Research* 67, 260-275.
- Plum V, Dahl CP, Bentsen L, Petersen CR, Napstjert L, Thomsen NB (1998): The Actiflo method. *Water Science and Technology* 37, 269-275.
- Quiros L, Céspedes R, Lacorte S, Viana P, Raldua D, Barcelo D, Pina B (2005): Detection and evaluation of endocrine-disruption activity in water samples from Portuguese rivers. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24, 389-395.
- Radjenovic J, Petrovic M, Barcelo D (2007): Analysis of pharmaceuticals in wastewater and removal using a membrane bioreactor. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 387, 1365-1377.
- Reungoat J, Escher BI, Macova M, Argaud FX, Gernjak W, Keller J (2012): Ozonation and biological activated carbon filtration of wastewater treatment plant effluents. *Water Research* 46, 863-872.
- Revitt DM, Shutes RBE, Jones RH, Forshaw M, Winter B (2004): The performances of vegetative treatment systems for highway runoff during dry and wet conditions. *Science of the Total Environment* 334, 261-270.
- Rocher V, Azimi S, Gasperi J, Beuvin L, Muller M, Moilleron R, Chebbo G (2004): Hydrocarbons and metals in atmospheric deposition and roof runoff in central Paris. *Water Air and Soil Pollution* 159, 67-86.
- Rocher V, Paffoni C, Goncalves A, Legaigneur V, Dutot A, Gousailles M (2006): Le traitement des eaux usées par biofiltration : cas de la station Seine Centre (SIAAP) *Techniques, Sciences, Méthodes* 10, 105-125.

- Rudel RA, Dodson RE, Perovich LJ, Morello-Frosch R, Camann DE, Zuniga MM, Yau AY, Just AC, Brody JG (2010): Semivolatile Endocrine-Disrupting Compounds in Paired Indoor and Outdoor Air in Two Northern California Communities. *Environmental Science & Technology* 44, 6583-6590.
- Ruel SM, Esperanza M, Choubert JM, Valor I, Budzinski H, Coquery M (2010): On-site evaluation of the efficiency of conventional and advanced secondary processes for the removal of 60 organic micropollutants. *Water Science and Technology* 62, 2970-2978.
- Ruel SM, Choubert JM, Budzinski H, Miegé C, Esperanza M, Coquery M (2012): Occurrence and fate of relevant substances in wastewater treatment plants regarding Water Framework Directive and future legislations. *Water Science and Technology* 65, 1179-1189.
- Scholes L, Revitt MD, Gasperi J, Donner E (2008): Priority pollutant behaviour in stormwater Best Management Practices (BMPs). Deliverable No. D5.1, Source Control Options for Reducing Emissions of Priority Pollutants (ScorePP), 6th Framework Programme, Sub-Priority 1.1.6.3, Global Change and Ecosystems, Project no. 037036, Février 2008, 61 p.
- Sebastian C, Moilleron R, Ruban V, Barraud S, Lorgeoux C, Saad M, Cren C, Wiest L, Percot S, Demare D, Gromaire MC, Gasperi J, Millet M, Maro D, Chebbo G (2011): INOGEV project – an original French approach in micropollutant characterization assessment in urban wet weather effluents and atmospheric deposits, 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre (Brésil)
- Seidl M, Servais P, Mouchel JM (1998): Organic matter transport and degradation in the river Seine (France) after a combined sewer overflow. *Water Research* 32, 3569-3580.
- Seriki K, Gasperi J, Castillo L, Scholes L, Eriksson E, Revitt M, Meinhold J, Atanasova N (2008): Priority pollutants behaviour in end of pipe wastewater treatment plants
- Sexton K, Adgate JL, Ramachandran G, Pratt GC, Mongin SJ, Stock TH, Morandi MT (2004): Comparison of personal, indoor, and outdoor exposures to hazardous air pollutants in three urban communities. *Environmental Science & Technology* 38, 423-430.
- Shutes RBE, Revitt DM, Lagerberg IM, Barraud VCE (1999): The design of vegetative constructed wetlands for the treatment of highway runoff. *Science of the Total Environment* 235, 189-197.
- Soclo HH, Garrigues P, Ewald M (2000): Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) areas. *Marine Pollution Bulletin* 40, 387-396.
- Soulier C, Gabet V, LeMenach K, Pardon P, Esperanza M, Miegé C, Choubert JM, Martin-Ruel S, Bruchet A, Coquery M, Budzinski H (2011): Zoom sur les substances pharmaceutiques : présence, partition, devenir en station d'épuration. *Techniques, Sciences, Méthodes* 1, 63-77.
- Staples CA, Peterson DR, Parkerton TF, Adams WJ (1997): The environmental fate of phthalate esters: A literature review. *Chemosphere* 35, 667-749.
- Staples CA, Dorn PB, Klecka GM, O'Block ST, Harris LR (1998): A review of the environmental fate, effects, and exposures of bisphenol A. *Chemosphere* 36, 2149-2173.
- Strecker EW, Quigley MM, Urbonas BR, Jones JE, Clary JK (2001): Determining urban storm water BMP effectiveness. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce* 127, 144-149.

- Tamtam F, Le Bot B, Dinh T, Mompelat S, Eurin J, Chevreuil M, Bonte P, Mouchel J-M, Ayrault S (2011): A 50-year record of quinolone and sulphonamide antimicrobial agents in Seine River sediments. *J. Soils Sediments* 11, 852-859.
- ten Hulscher TEM, Cornelissen G (1996): Effect of temperature on sorption equilibrium and sorption kinetics of organic micropollutants - a review. *Chemosphere* 32, 609-626.
- Ternes TA, Meisenheimer M, McDowell D, Sacher F, Brauch HJ, Gulde BH, Preuss G, Wilme U, Seibert NZ (2002): Removal of pharmaceuticals during drinking water treatment. *Environmental Science & Technology* 36, 3855-3863.
- Thanner G, Moche W (2004): Levels of PBDE in effluents and sludge from sewage treatment plants in Austria., Fourth International Workshop on Brominated Flame Retardants., Toronto, Canada
- Tlili K, Labadie P, Alliot F, Bourges C, Desportes A, Chevreuil M (2012): Influence of Hydrological Parameters on Organohalogenated Micropollutant (Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls) Behaviour in the Seine (France). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 62, 570-578.
- Tuncal T, Jangam SV, Gunes E (2011): Abatement of Organic Pollutant Concentrations in Residual Treatment Sludges: A Review of Selected Treatment Technologies Including Drying. *Dry. Technol.* 29, 1601-1610.
- Uguz C, Iscan M, Ergüven A, Isgor B, Togan I (2003): The bioaccumulation of nonylphenol and its adverse effect on the liver of rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*). *Environmental Research* 92, 262-270.
- Van Ry DA, Dachs J, Gigliotti CL, Brunciak PA, Nelson ED, Eisenreich SJ (2000): Atmospheric seasonal trends and environmental fate of alkylphenols in the Lower Hudson River Estuary. *Environmental Science & Technology* 34, 2410-2417.
- Vandenberg LN, Maffini MV, Wadia PR, Sonnenschein C, Rubin BS, Soto AM (2007): Exposure to environmentally relevant doses of the xenoestrogen bisphenol-A alters development of the fetal mouse mammary gland. *Endocrinology* 148, 116-127.
- Vogelsang C, Grung M, Jantsch TG, Tollefsen KE, Liltved H (2006): Occurrence and removal of selected organic micropollutants at mechanical, chemical and advanced wastewater treatment plants in Norway. *Water Research* 40, 3559-3570.
- von der Ohe PC, Dulio V, Slobodnik J, De Deckere E, Kuehne R, Ebert R-U, Ginebreda A, De Cooman W, Schueuermann G, Brack W (2011): A new risk assessment approach for the prioritization of 500 classical and emerging organic microcontaminants as potential river basin specific pollutants under the European Water Framework Directive. *Science of the Total Environment* 409, 2064-2077.
- Weiss PT, Gulliver JS, Erickson AJ (2007): Cost and pollutant removal of storm-water treatment practices. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce* 133, 218-229.
- Ying G-G, Williams B, Kookana R (2002): Environmental fate of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates--a review. *Environment International* 28, 215-226.
- Yue L 2012: Alkylphénols et bisphénol A dans les sols en Ile-de-France, Stage master 2, Sciences et Génie de l'Environnement, 37 pp.
- Yunker MB, Snowdon LR, MacDonald RW, Smith JN, Fowler MG, Skibo DN, McLaughlin FA, Danyushevskaya AI, Petrova VI, Ivanov GI (1996): Polycyclic aromatic hydrocarbon composition and potential sources for sediment samples from the Beaufort and Barents Seas. *Environmental Science & Technology* 30, 1310-1320.

- Zgheib S 2009: Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire, Thèse de l'Université Paris Est, 359 pp.
- Zhang J, Yang M, Qiao Y, Zhang Y, Chen M (2007): Biodegradation of nonylphenoxy carboxylates mixtures in two microcosms. *Science of the Total Environment* 388, 392-397.
- Zhu W, Seth R, Lalman J (2007): Evaluation of a micro carrier weighted coagulation flocculation process for the treatment of combined sewer overflow. *Environmental Technology* 28, 761-770.

NOTICE

CURRICULUM VITÆ

Nom patronymique : **GASPERI**

Prénoms : **Johnny, David**

Date de naissance : 21 / 05 / 79 à Salins-les-Bains (39)

Situation de Famille : célibataire, un enfant

Adresse professionnelle: LEESU

Faculté des Sciences et de Technologie, Université Paris-Est Créteil Val de Marne

61 Avenue du Général de Gaulle 94010 Créteil (France)

Téléphone : 01 45 17 16 21 Fax : 01 45 17 16 27

E-mail : gasperi@u-pec.fr

Emploi actuel : Maître de conférences (4^e échelon), 35^{ème} section (CNU)

CURSUS UNIVERSITAIRE ET PARCOURS PROFESSIONNEL

2011/.. Obtention de la prime d'excellence scientifique

2007/.. **Maître de conférences à l'Université Paris-Est Créteil Val de Marne,**
rattaché au Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU).

Thématiques de recherche :

- Polluants organiques prioritaires et émergents dans les eaux de surface et les eaux usées (alkylphénols, alkylphénols éthoxylés, polybromodiphényléthers, etc.) ;
- Flux et transfert des polluants organiques à l'échelle du bassin versant urbain et au sein des milieux récepteurs anthropisés ;
- Etude de l'efficacité des stations d'épuration et de dépollution des eaux pluviales.

2006/07 **Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche** à l'Université Paris 12. Enseignement en chimie analytique (spectroscopies UV-visible, infrarouge et absorption atomique, chromatographie liquide, ionique et en phase gazeuse), génie chimique (distillation, filtration, adsorption et réacteur), chimie de l'environnement (traitement des eaux usées,

paramètres de qualité d'une eau, etc.), bureautique (optimisation dans l'utilisation des logiciels Word, Excel et PowerPoint).

2003/06 Doctorat en Sciences et Techniques de l'Environnement de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, réalisé au CEREVER (Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Eau, la Ville et l'Environnement). Sujet de thèse : « Introduction et transfert des hydrocarbures à différentes échelles spatiales dans le réseau d'assainissement parisien » sous la direction du Professeur Régis Moilleron et de Ghassan Chebbo, Directeur de Recherche du Ministère de l'Equipement. Mention très honorable avec félicitations du jury.

2002/03 DEA Sciences et Techniques de l'Environnement à l'Université Paris 12 – Val de Marne, Créteil (94). Sujet de DEA « Caractérisation des voies d'introduction dans le réseau d'assainissement (VIRA) de micropolluants : cas de la Ville de Paris » sous la direction du Professeur Régis Moilleron et Vincent Rocher (Direction du développement et de la prospective, SIAAP). Mention bien.

ACTIVITES DE RECHERCHE

I. Projets scientifiques en cours

2012/17 Efficacité épuratoire des stations d'épuration et des stations de dépollution des eaux pluviales. Projet réalisé dans le cadre de la phase 4 d'OPUR.

Collaborations : Service public de l'assainissement francilien (SIAAP), groupe Stereau, Conseil général du Val de Marne, Syndicat mixte de la Vallée de l'Orge Aval (SIVOA), Centre d'Études Techniques de l'Équipement d'Île-de-France.

Budget : 15 k€ par an, sur 6 ans.

2011/14 Stocks d'alkylphénols et alkylphénols éthoxylés sur le bassin de la Seine. Projet réalisé dans le cadre de la phase 6 du PIREN-Seine.

Collaborations : UMR Sisyphe, Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement (LSCE), Laboratoire Santé Publique - Environnement (LSPE), Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA).

Budget : 15 k€ par an, sur 4 ans.

2010/14 **INOGEV** - Innovations pour la Gestion Durable de l'Eau en Ville - connaissance et maîtrise de la contamination des eaux pluviales urbaines. ANR Villes durables 2010-2014 (Porteur V. Ruban - IFSTTAR).

Collaborations : Service Central d'Analyse du CNRS (SCA-CNRS), Laboratoire des Matériaux, Surfaces et Procédés pour la Catalyse (LMSPC), Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR), Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale (LGCIE), Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique (CEREA).

Partenaires opérationnels : Nantes Métropole, Grand Lyon, Conseil G. 94.

Budget : 800 k€.

2009/12 **ENDOCRINAIR** - Contamination de l'air ambiant par les perturbateurs endocriniens en Île-de-France et caractérisation d'effets toxiques associés. Projet financé par le Programme National de Recherche sur les Perturbateurs Endocriniens (Porteur M. Chevreuil - UMR Sisyphe).

Collaboration : UMR Sisyphe, Laboratoire Santé Publique - Environnement

(LSPE), Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), AirParif.

Budget : 120 k€.

II. Projets scientifiques terminés

2008/11 Suivi des alkylphénols et alkylphénols éthoxylés sur le bassin de la Seine. Projet réalisé dans le cadre de la phase 5 du PIREN-Seine (Porteur J. Gasperi).

Collaborations : UMR Sisyphe, Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement (LSCE), Laboratoire Santé Publique - Environnement (LSPE).

Budget : 40 k€.

2007/11 Archives sédimentaires. Projet réalisé dans le cadre de la phase 5 du PIREN-Seine (Porteurs S. Ayrault - LSCE - et C. Lorgeoux - LEESU).

Collaborations : UMR Sisyphe - Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement - CEA, Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-Octeville, IRSN, UMR 6143 M2C, Université de Caen.

Budget : 20 k€.

2007/11 Efficacité épuratoire des traitements primaires et biologiques en station d'épuration. Projet réalisé dans le cadre de la phase 3 d'OPUR (Porteur J. Gasperi).

Collaborations : Service public de l'assainissement francilien (SIAAP).

Budget : 40 k€.

2006/11 **SCOREPP** - Source Control Options for Reducing Emissions of Priority Pollutants. Projet dans le cadre du 6^e programme-cadre de la Communauté Européenne pour des actions de recherche, de développement et de démonstration contribuant à la réalisation de l'espace Européen de la recherche et de l'innovation. (Porteur P. Mikkelsen, Université technique du Danemark).

Collaborations : Flood Hazard Research Centre de l'université de Middlesex, Department of Environmental Engineering - Université technique du Danemark, Veolia - Anjou Recherche, Université de Gand, Université de Ljubljana.

III. Responsabilités et animations scientifiques

• Animations

2013/.. Correspondant du LEESU pour la FIRE (Fédération Île-de-France de Recherche sur l'Environnement).

2013/.. Membre du conseil scientifique de l'OSU Effluve (Observatoire des sciences de l'univers (OSU) Effluve : enveloppes fluides, de la ville à l'exobiologie).

2011/.. Co-animateur du thème « contamination à longue échelle de temps » dans le cadre de la phase 6 du PIREN-Seine avec S. Ayrault (LSCE) et E. Moreau-Guigon (UMR Sisyphe).

2007/.. Coordinateur des actions en stations d'épuration dans le cadre d'OPUR et co-animateur du thème « Efficacité épuratoire des stations d'épuration et des stations de dépollution des eaux pluviales » avec F. Lucas (LEESU).

2007/.. Correspondant **hygiène et sécurité** du laboratoire de Créteil.

- **Groupes de travail**

2008/12 **AQUAREF** (laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques). Groupe de travail sur les pratiques d'échantillonnage et de conditionnement en vue de la recherche de micropolluants émergents et prioritaires en assainissement collectif et industriel. Animateur du sous-groupe de travail « La faisabilité des prétraitements des échantillons sur site ».

2011/.. Groupe de travail ASTEE sur les micropolluants dans les eaux pluviales.

- **Organisation de colloques**

2012 Contaminants dans les eaux résiduaires urbaines : comportement au sein des filières de traitements et qualité des rejets. Colloque organisé dans le cadre du programme de recherche OPUR (Observatoire des Polluants Urbains). Colloque co-organisé avec F. Lucas.

Public visé : chercheurs, collectivités territoriales, partenaires opérationnels, bureaux d'étude. Participants : environ 120 personnes.

2011 Micropolluants prioritaires et autres contaminants dans les eaux pluviales. Colloque organisé dans le cadre du programme de recherche OPUR (Observatoire des Polluants Urbains). Colloque co-organisé avec MC. Gromaire et R. Moilleron.

Public visé : chercheurs, collectivités territoriales, partenaires opérationnels, bureaux d'étude. Participants : environ 100 personnes.

- **Participation à des comités de thèse**

Antoine Van de Voorde, LEESU. Emission de micropolluants organiques par la pratique d'entretien des toitures. Directeurs de thèse MC. Gromaire et G. Chebbo.

Maxime Pomies, IRSTEA Lyon. Comportement de micropolluants prioritaires et émergents

au sein du procédé boues activées : modélisation dynamique et limites de traitement du procédé. Directeurs de thèse M. Coquery et JM. Choubert.

Laure Pasquini, Laboratoire d'Hydrologie de Nancy. Micropolluants issus de l'activité domestique dans les eaux urbaines et leur devenir en station d'épuration. Directeurs de thèse T. Gorner et JF. Munoz.

ACTIVITES D'ENCADREMENT

I. Encadrement de doctorants

Nov 2012 -

Romain Mailler, Doctorant de l'Université Paris – Est en Sciences et Techniques de l'Environnement. Codirecteur sur le sujet : Abattement des polluants émergents par les réacteurs à membranes et les traitements tertiaires. Directeur de thèse Ghassan Chebbo, Directeur de recherche, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Encadrement à **80 %**.

Nov 2009 – déc 2012

Mathieu Cladière, Doctorant de l'Université Paris – Est en Sciences et Techniques de l'Environnement. Codirecteur sur le sujet : Suivi des alkylphénols et alkylphénols éthoxylés sur le bassin de la Seine. Directeur de thèse Bruno Tassin, Directeur de recherche, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Encadrement à **80 %**.

Nov 2009 – nov 2012

Alexandre Bergé, Doctorant de l'Université Paris – Est en Sciences et Techniques de l'Environnement. Sujet : Devenir des phtalates en milieu urbain, de l'égout au rejet de la station d'épuration. Directeur de thèse Régis Moilleron, Professeur des Universités UPEC. Thèse en collaboration avec le Laboratoire Central de la Préfecture de Police et la Société des Eaux de Versailles Saint-Cloud.

Encadrement à **20 %**.

Nov 2008 - nov 2011

Solène Gilbert, Doctorante de l'Université Paris – Est en Sciences et Techniques de l'Environnement. Codirecteur sur le sujet : Devenir des polybromodiphénylethers et des alkylphénols dans les filières de traitement des eaux usées. Directeur de thèse Ghassan Chebbo, Directeur de recherche, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Encadrement à **80 %**.

II. Encadrement de stagiaires

- **Masters et ingénieurs**

2013 Rachid Dris, stage master 2, Sciences et Génie de l'Environnement, 4 mois. Sujet de stage : microplastiques sur le bassin de la Seine.

2012 Yue Lingyu, stage master 2, Sciences et Génie de l'Environnement, 4 mois. Sujet de stage : Alkylphénols et bisphénol A dans les sols en Île-de-France.

2011 Laborie Bastien, stage master 2, Environnement et gestion de la biodiversité, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 6 mois. Sujet de stage : Etude de l'efficacité de l'unité de clarifloculation de Seine Aval, cas des nutriments et des micropolluants. Codirection de stage avec Vincent Rocher, SIAAP.

2010 Romaric Courtier, stage ingénieur, 2^e année de l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, 5 mois. Sujet de stage : Contamination en hydrocarbures des eaux de ruissellement urbaines – bilan des connaissances scientifiques et analyse de l'adéquation des dispositifs de gestion.

2009 Mathieu Cladière, stage master 2, Sciences et Génie de l'Environnement, 4 mois. Sujet de stage : Suivi des alkylphénols et alkylphénols éthoxylés dans les eaux de surface.

2008 Camille Menard, stage ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Ingénierie de Poitiers, 3^e année, 6 mois. Sujet de stage : Efficacité épuratoire d'un décanteur lamellaire sur l'abattement de micropolluants organiques.

2006 Samy Bensaadi, stage de DEA Sciences et Techniques de l'Environnement de l'Université Paris 12 – Val de Marne, Créteil (94), 9 mois. Sujet de DEA: Répartition des hydrocarbures par classes de vitesses de chute.

2005 Clotilde Manceau, stage de Maîtrise de Chimie à l'Université Paris 12 – Val de Marne, Créteil (94), 3 mois. Sujet de stage Faisabilité de la mesure des hydrocarbures par classes de vitesse de chute.

- **Licences et autres**

2013 Emeline Fierval, stage licence 3 Science et Technologie à l'Université Paris-Est Créteil, 2 mois. Sujet de stage : Analyse de pesticides par HPLC-UV.

2009 Lucie Chupin, stage 3^e année de licence chimie, Faculté des Sciences et Technologie à l'Université Paris 12, 4 mois. Sujet de stage : Mise en place de l'instrumentation pour le suivi des performances d'un bassin de stockage et de dépollution des eaux pluviales.

2008 Nicolas Lorthios, stage technicien de l'Ecole Supérieure de Chimie Organique et Minérale de Poitiers, 1^{ère} année, 2 mois. Sujet de stage : Suivi des alkylphénols dans les eaux de surface au moyen d'échantillonneur intégratifs.

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

I. Articles publiés dans des revues internationales

1. Hydrocarbons and metals in atmospheric deposition and roof runoff in central Paris. V. Rocher, S. Azimi, J. Gasperi, L. Beuvin, M. Muller, R. Moilleron, G. Chebbo. *Water, Air and Soil Pollution* **2004**, 159 (1), 67-86.
2. Hydrocarbon loads from street cleaning practices: comparison with dry and wet weather flows in a Parisian combined sewer system. J. Gasperi, V. Rocher, R. Moilleron, G. Chebbo. *Polycyclic Aromatic Compounds* **2005**, 25 (2), 169-181.
3. Hydrocarbons and heavy metals fixed to lift station sediment of the Paris combined sewer network. J. Gasperi, V. Rocher, T. Célaudon, R. Moilleron, G. Chebbo. *Water and Science Technology* **2005**, 52 (3), 119-127.
4. Contribution of domestic effluents to hydrocarbon levels of dry weather flows in combined sewers. J. Gasperi, V. Rocher, S. Azimi, S. Garnaud, G. Varrault, R. Moilleron, G. Chebbo. *Urban Water Journal* **2006**, 3 (4), 225-233.
5. Spatial variability of PAH load of urban wet weather pollution in combined sewers. J. Gasperi, R. Moilleron, G. Chebbo. *Water Science and Technology* **2006**, 54 (6), 185-194.
6. Review on the hydrocarbon fate within combined sewers: case of the “Le Marais” urban catchment (1994 – 2005). J. Gasperi, V. Rocher, R. Moilleron, G. Chebbo. *Polycyclic Aromatic Compounds* **2007**, 27 (2), 123-141.
7. Priority pollutants in wastewaters and combined sewer overflows. J. Gasperi, S. Garnaud, V. Rocher, R. Moilleron. *Science of the Total Environment* **2008**, 407 (1), 263-272.
8. Settling velocity of particulate pollutants from combined sewer wet weather discharges. MC. Gromaire, M. Kafi, J. Gasperi, M. Saad, R. Moilleron, G. Chebbo. *Water and Science Technology* **2008**, 58 (12), 2453-2465.
9. Spatial variability of the characteristics of conveyed wet weather pollutant loads in Paris. M. Kafi, J. Gasperi, R. Moilleron, M. C. Gromaire, G. Chebbo. *Water Research* **2008**, 42 (3), 539-549.
10. Spatial variability of the pollutant load conveyed by dry weather flows within the Parisian combined sewers. J. Gasperi, M. Kafi, C. Lorgeoux, R. Moilleron, M. C. Gromaire, G. Chebbo. *Urban Water Journal* **2008**, 5 (4), 305–314.
11. Priority pollutants in surface water and settleable particles within a heavily urbanized area: case of Paris (France). J. Gasperi, S. Garnaud, V. Rocher, R. Moilleron. *Science of the Total Environment* **2009**, 407 (8), 2900-2908.
12. Settling velocity grading of particle bound PAHs: Case of wet weather flows within combined sewer systems. J. Gasperi, C. Lorgeoux, R. Moilleron, G. Chebbo. *Journal of Environmental Engineering* **2009**, 135 (11), 1155-1160.
13. Alkylphenol ethoxylates and bisphenol A in surface water within a heavily urbanized area such as Paris. M. Cladière, J. Gasperi, S. Gilbert, C. Lorgeoux, B. Tassin. *Water Pollution X* **2010**, 131-142.
14. Contributions of wastewater, runoff and sewer deposit erosion to wet weather pollutant loads in combined sewer systems. J. Gasperi, M.C Gromaire, M. Kafi, R. Moilleron, G. Chebbo. *Water Research* **2010**, 44 (20), 5875-5886.

15. Fate and spatial variations of polybrominated diphenyl ethers in the deposition within a heavily urbanized area: case of Paris (France). B. Muresan, C. Lorgeoux, J. Gasperi, R. Moilleron. *Water Science and Technology* **2010**, 62 (4), 822-828.
16. Occurrence and removal of priority pollutants by lamella clarification and biofiltration. J. Gasperi, V. Rocher, S. Gilbert, S. Azimi. *Water Research* **2010**, 44 (10), 3065-3076.
17. Priority substances in combined sewer overflows - Case of the Parisian sewer network. J. Gasperi, S. Garnaud, V. Rocher, R. Moilleron. *Water Science and Technology* **2011**, 63 (5), 853-858.
18. Research of trace metals as markers of entry pathways in combined sewers. C. Gounou, G. Varrault, K. Amedzro, J. Gasperi, R. Moilleron, S. Garnaud, G. Chebbo. *Water Science and Technology* **2011**, 63 (4), 633-640.
19. Priority pollutants in urban stormwater - Case of combined sewers. J. Gasperi, S. Zgheib, M. Cladière, V. Rocher, R. Moilleron, G. Chebbo. *Water Research, special issue on urban stormwater* **2012**, 46, 6693-6703.
20. Municipal wastewater treatment by biofiltration: comparisons of various treatment layouts. Part 1: assessment of carbon and nitrogen removals. V. Rocher, C. Paffoni, A. Goncalves, S. Guérin, S. Azimi, J. Gasperi, R. Moilleron, A. Pauss. *Water Science and Technology* **2012**, 65 (9), 1705-1712.
21. Removal of alkylphenols and polybromodiphenylethers by a biofiltration treatment plant during dry and wet-weather periods. S. Gilbert, J. Gasperi, V. Rocher, C. Lorgeoux, G. Chebbo. *Water Science and Technology* **2012**, 65 (9), 1591-1598.
22. Meta-analysis of environmental contamination of endocrine disrupting compounds: case of alkylphenols. A. Bergé, M. Cladière, J. Gasperi, A. Coursimault, B. Tassin, R. Moilleron. *Environmental Science and Pollution Research* **2012**, 19 (9), 3798-819.
23. Treatment of combined sewer overflows by ballasted flocculation: removal study of a large broad spectrum of pollutants. J. Gasperi, B. Laborie, V. Rocher. *Chemical Journal Engineering* **2012**, 211-212, 293-301.
24. Alkylphenolic compounds and bisphenol A contamination within a heavily urbanized area: case study of Paris. M. Cladière, J. Gasperi, C. Lorgeoux, C. Bonhomme, V. Rocher, B. Tassin. *Environmental Science and Pollution Research* **2013**, 20 (5), 2973-2983.

Articles soumis dans des revues internationales

25. Meta-analysis of environmental contamination by phthalates. A. Bergé, M. Cladière, J. Gasperi, A. Coursimault, B. Tassin, R. Moilleron. *Environmental Science and Pollution Research, soumis*.

II. Articles publiés dans des revues nationales

1. Hydrocarbures et métaux lourds associés aux sédiments de stations de relevage du réseau d'assainissement parisien. V. Rocher, J. Gasperi, S. Azimi, T. Célaudon, R. Moilleron, G. Chebbo. *La Houille Blanche* **2004**, 2, 22-30.
2. Variabilité spatiale de la pollution en HAP dans le réseau d'assainissement parisien lors d'événements pluvieux. J. Gasperi, R. Moilleron, G. Chebbo. *La Houille Blanche* **2005**, 5, 35-40.

3. Contribution des différentes sources aux flux de polluants de temps de pluie. M. Kafi-Benyahia, J. Gasperi, MC. Gromaire, R. Moilleron, G. Chebbo. *Techniques Sciences et Méthodes* **2006**, 11, 107-121.
4. Identification des sources de micropolluants en milieu urbain : Intérêt des hydrocarbures aliphatiques. J. Gasperi, V. Rocher, R. Moilleron, G. Chebbo. *Techniques Sciences et Méthodes* **2006**, 11, 97-105.
5. Variabilité spatiale des caractéristiques des polluants de temps sec dans le réseau d'assainissement unitaire Parisien. J. Gasperi, M. Kafi-Benyahia, C. Lorgeoux, R. Moilleron, MC. Gromaire, G. Chebbo. *Techniques Sciences et Méthodes* **2006**, 11, 23-34.
6. Variabilité spatiale des caractéristiques des polluants de temps de pluie transitant dans le réseau d'assainissement unitaire Parisien. J. Gasperi, M. Kafi-Benyahia, C. Lorgeoux, R. Moilleron, MC. Gromaire, G. Chebbo. *Techniques Sciences et Méthodes* **2006**, 11, 35-49.
7. Vitesse de sédimentation des polluants particuliers des effluents unitaires de temps de pluie. MC. Gromaire, M. Kafi-Benyahia, J. Gasperi, M. Saad, R. Moilleron, G. Chebbo. *Techniques Sciences et Méthodes* **2006**, 11, 51-61.
8. Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques introduits dans le réseau d'assainissement via les effluents domestiques. J. Gasperi, V. Rocher, S. Azimi, R. Moilleron, G. Varrault, S. Garnaud, G. Chebbo. *Techniques Sciences et Méthodes* **2007**, 4, 77-88.
9. Pollution en hydrocarbures transitant par temps sec et par temps de pluie dans le réseau d'assainissement unitaire parisien. J. Gasperi, R. Moilleron, G. Chebbo. *La Houille Blanche* **2007**, 4, 85-91.
10. Polluants prioritaires dans les eaux usées et les effluents unitaires de temps de pluie. J. Gasperi, S. Garnaud, V. Rocher, R. Moilleron. *Techniques Sciences et Méthodes* **2008**, 11, 49-72.
11. Polluants prioritaires dans les eaux de surface : qu'en est-il de la Seine à Paris. J. Gasperi, S. Garnaud, V. Rocher, R. Moilleron. *Techniques Sciences et Méthodes* **2010**, 11, 41-62.
12. Bisphénol A : premiers résultats sur le bassin de la Seine. M. Cladière, J. Gasperi, C. Lorgeoux, C. Bonhomme, V. Rocher, M. Troupel, B. Tassin. *Techniques Sciences et Méthodes* **2011**, 11, 33-45.
13. Comportement des substances prioritaires sur les ouvrages de traitement des eaux usées : cas de la décantation et de la biofiltration. V. Rocher, J. Gasperi, S. Azimi, S. Gilbert, C. Paffoni. *Techniques Sciences et Méthodes* **2011**, 3, 20-33.
14. Traitement des eaux résiduaires urbaines de temps de pluie au sein de la station d'épuration Seine Centre : Etudes des paramètres globaux, des alkylphénols et des polybromodiphényléthers. S. Gilbert, J. Gasperi, V. Rocher, C. Lorgeoux, G. Chebbo. *Techniques Sciences et Méthodes* **2011**, 4, 63-71.
15. Contaminants dans les eaux résiduaires urbaines et qualité des rejets : approches méthodologiques d'OPUR3. J. Gasperi, F. Lucas, R. Moilleron, G. Varrault, G. Chebbo. *Techniques Sciences et Méthodes* **2012**, 4, 14-20.
16. Occurrence et devenir des phtalates en milieu urbain : étude des émissaires parisiens et de la station d'épuration Seine Centre. A. Bergé, J. Gasperi, V. Rocher, A. Coursimault, R. Moilleron. *Techniques Sciences et Méthodes* **2012**, 4, 21-29.

17. Substances prioritaires dans les rejets urbains de temps de pluie. J. Gasperi, M. Cladière, S. Zgheib, V. Rocher, R. Moilleron, G. Chebbo. *Techniques Sciences et Méthodes* **2012**, 4, 30-43.

Articles soumis dans des revues nationales

18. Traitement des rejets urbains de temps de pluie par clarifloculation : cas de la station Seine Aval. J. Gasperi, B. Laborie, V. Rocher. *Techniques Sciences et Méthodes, soumis*.
19. Contributions des rejets industriels à l'échelle de l'agglomération parisienne : cas des phtalates et des alkylphénols. A. Bergé, L. Gras, G. Chabance, V. Rocher, J. Gasperi, A. Coursimault, R. Moilleron. *Techniques Sciences et Méthodes, soumis*.

III. Communications

III.1 Communications internationales (présentation orale)

1. Contribution of the street cleaning practices to the hydrocarbon loads to combined sewer systems. J. Gasperi, V. Rocher, R. Moilleron, G. Chebbo. *9th Conference on Chemistry and the Environment*, Bordeaux (France), septembre **2004**.
2. Hydrocarbons and heavy metals fixed to the lift station sediment of the Paris combined sewer. J. Gasperi, V. Rocher, T. Celaudon, R. Moilleron, G. Chebbo. *4th Sewer Processes and Network Conference*, Funchal (Portugal), novembre **2004**.
3. Characterization of heavy metal sources in a combined sewer system. C. Gounou, G. Varrault, J. Gasperi, S. Azimi, R. Moilleron, S. Garnaud, V. Rocher, G. Chebbo. *10th International Conference on Urban Drainage*, Copenhagen (Danemark), août **2005**.
4. Spatial variability of PAH load of urban wet weather pollution in combined sewers. J. Gasperi, R. Moilleron, G. Chebbo. *10th International Conference on Urban Drainage*, Copenhagen (Danemark), août **2005**.
5. Observatory of Urban Pollutants in Paris: Hydrocarbons pollution in combined sewers during dry and wet periods. J. Gasperi, R. Moilleron, G. Chebbo. *1st European Chemistry Congress*, Budapest (Hongrie), août **2006**.
6. Priority pollutants within heavily urbanized area: what about receiving waters and settleable sediments? J. Gasperi, S. Garnaud, V. Rocher, R. Moilleron. *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburg (Ecosse), août **2008**.
7. Efficiency of chemically aided sedimentation for bacterial removal from wastewater. F. Lucas, L. Betelli, J. Gasperi, V. Rocher. *Congrès SME09*, Einsiedeln (Suisse), janvier **2009**.
8. Polybrominated diphenyl ethers cycling in the Paris Region, France. B Muresan, C Lorgeoux, J. Gasperi, R Moilleron. *International Conference on Xenobiotics in the Urban Water Cycle*, Paphos (Chypre), mars **2009**.
9. Priority pollutants in wastewaters and combined sewer overflows. J. Gasperi, S. Garnaud, V. Rocher, R. Moilleron. *International Conference on Xenobiotics in the Urban Water Cycle*, Paphos (Chypre), mars **2009**.
10. The fate and behaviour of priority pollutants in end-of-pipe wastewater treatment plants. M Revitt, J. Gasperi, L. Scholes, E. Donner. *International Conference on Xenobiotics in the Urban Water Cycle*, Paphos (Chypre), mars **2009**.

11. Alkylphenols and bisphenol A in surface water within a heavily urbanized area such as Paris. M. Cladière, J. Gasperi, S. Gilbert, C. Lorgeoux, B. Tassin. *Water Pollution X*, Bucarest (Roumanie), juin **2010**.
12. Are wastewater treatment plants suitable to treat stormwater pollution? Case-study of an adjustable trickling filter plant. S. Gilbert, J. Gasperi, V. Rocher, C. Lorgeoux, G. Chebbo. *7th IWA specialist conference on assessment and control of micropollutants/hazardous substances in water*, Sydney (Australie), juillet **2011**.
13. Combined sewer overflows and EU Water Framework Directive. J. Gasperi, M. Cladière, V. Rocher, R. Moilleron. SWITCH meeting, *The Future of Urban Water: Solutions for Livable and Resilient Cities*, Paris (France), janvier **2011**.
14. INOGEV project – an original French approach in micropollutant characterization assessment in urban wet weather effluents and atmospheric deposits. C. Sebastian, R. Moilleron, V. Ruban, S. Barraud, C. Lorgeoux, M. Saad, C. Cren, L. Wiest, S. Percot, D. Demare, M-C. Gromaire, J. Gasperi, M. Millet, D. Maro, G. Chebbo. *12th International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre (Brésil), septembre **2011**.
15. Phthalate and alkylphenol removal within wastewater treatment plants using physicochemical lamellar clarification and biofiltration. A. Bergé, J. Gasperi, V. Rocher, A. Coursimault, R. Moilleron. *11th International Conference on Modeling, Monitoring and Management of Water Pollution XI*, juillet **2012**.
16. Treatment of combined sewer overflows by ballasted flocculation: removal study of a large broad of pollutants. J. Gasperi, B. Laborie, V. Rocher. *11th Urban Environment Symposium, Urban Futures for a Sustainable World*, septembre **2012**.
17. Organic pollutants in urban sewer systems and fate in wastewater treatment plants. R Moilleron, J. Gasperi, V Rocher, G. Chebbo. *Japan Society to promote Science, Workshop on Water and Urban Environment*, Lyon, juin **2012**.
18. Priority pollutants in urban sewer system: contributions of “OPUR” research programme: J. Gasperi, R. Moilleron, G. Chebbo. *9th Urban Drainage Modelling*, septembre **2012**.
19. Assessing the impact of global change on micropollutants in aquatic ecosystems: Modelling the fate of nonylphenolic compounds in the Seine River. M Cladière, C. Bonhomme, L. Vilmin, J. Gasperi, N. Flipo, F. Habets, B. Tassin. *14th EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment*, Barcelone (Espagne), juin **2013**.
20. Treatment of combined sewer overflows by ballasted clarification: which pollutants are removed? J. Gasperi, B. Laborien, V. Rocher. *8th International Conference NOVATECH*, Lyon (France), juin **2013**.

III.2 Communications internationales (présentation par affiche)

1. Spatial variability of hydrocarbon loads in dry and wet weather flows in the Parisian combined sewer. J. Gasperi, R. Moilleron, G. Chebbo. *5th International Conference on sewer processes and networks*, Delft (Netherlands), août **2007**.
2. Are wastewater treatment plants suitable to treat stormwater pollution? Case-study of Seine Centre plant. S. Gilbert, J. Gasperi, V. Rocher, C. Lorgeoux, G. Chebbo. *6th Sewer Processes and Network Conference*, Surfers Paradise (Australie), novembre **2010**.
3. Historical trends of PCBs, PAHs, PBDEs and alkylphénols in dated sediments from flood plains of the Seine River (France). C. Lorgeoux, J. Gasperi, S Ayrault, Ir

Lefèvre, P Bonté, C Priadi, L Carbonaro-Lestel, JM Mouchel, , I. Djouarev. R. Moilleron, B. Tassin. *11th European Meeting on Environmental Chemistry*, Portoroz (Slovénie), décembre **2010**.

4. Urban cycle of alkylphenol and bisphenol A: case of Paris. M. Cladière, J. Gasperi, C. Lorgeoux, V. Rocher, B. Tassin. *International Conference on Chemistry and the Environment (ICCE 2011, Zurich (Suisse)*, septembre **2011**.
5. Removal of PBDE and alkylphenol in a trickling filter wastewater treatment plant during dry and wet weather periods. S. Gilbert, J. Gasperi, V. Rocher, C. Lorgeoux, G. Chebbo. *11th European Meeting on Environmental Chemistry*, Portoroz (Slovénie), décembre **2010**.
6. Determination of in-situ biodegradation rate constants of nonylphenolic compounds in the Seine River. M Cladière, C. Bonhomme, L. Vilmin, J. Gasperi, N. Flipo, B. Tassin. *14th EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment*, Barcelone (Espagne), juin **2013**.

III.3 Communications nationales (présentation orale)

1. Hydrocarbures et métaux introduits dans le réseau d'assainissement lors du lavage de la voirie. J. Gasperi, V Rocher, R. Moilleron, S. Azimi, G. Varrault, G. Chebbo. 6^{ème} Congrès International du GRUTTEE, Aix les Bains, septembre **2005**.
2. Variabilité spatiale de la pollution hydrocarbures transitant par temps sec et par temps de pluie dans le réseau d'assainissement parisien. J. Gasperi, R. Moilleron, G. Chebbo. 2^{ème} Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine, Nantes, octobre **2006**.
3. Variabilité spatiale des hydrocarbures des eaux unitaires dans le réseau d'assainissement parisien. J. Gasperi, R. Moilleron, G. Chebbo. 2^{ème} Séminaire OPUR, Paris, février **2006**.
4. Polluants prioritaires dans les eaux usées et les rejets urbains de temps de pluie : cas de Paris (France). J. Gasperi, S. Garnaud, V. Rocher, R. Moilleron. 7^{ème} Congrès International du GRUTTEE, Pau, octobre **2007**.
5. Abattements des substances prioritaires par décantation et par biofiltration. J. Gasperi, V. Rocher, S. Azimi. 8^{ème} Congrès International du GRUTTEE, Nancy, octobre **2009**.
6. Recherche élargie de micropolluants en STEP: retour d'expérience OPUR – SIAAP. J. Gasperi, V. Rocher. Colloque Adebitech, eau et polluants émergents, octobre **2009**.
7. Alkylphénols and bisphénol A dans le bassin de la Seine : premier jeu de données. M. Cladière, J. Gasperi, C. Lorgeoux, B. Tassin. Colloque PIREN-Seine, janvier **2010**.
8. Evolution de la relation « gestionnaires – chercheurs » pour le traitement des eaux pluviales. Exemple de cette évolution au SIVOA à travers deux exemples. P Moncaut, J. Gasperi. Colloque Collaborations entre collectivités et laboratoires de recherche autour de l'hydrologie urbaine - Intérêt, modalités, résultats, Cité des Congrès, novembre **2010**.
9. Archives sédimentaires, empreintes des micropolluants sur le bassin de la Seine sur 80 ans. C. Lorgeoux, S. Ayrault, R. Moilleron, D. Lherm, J. Gasperi, B. Tassin, M. Roy-Barman, MF. Le Cloarec, I. Lefèvre, P. Bonté, L. Carbonaro-Lestel, JM. Mouchel, J. Eurin, F. Tamtam, T. Dinh, M. Chevreuil, D. Boust, A. Vrel. Colloque PIREN-Seine, février **2011**.

10. Contamination de la Seine par les micropolluants organiques : Effet des conditions hydriques et de l'urbanisation. J. Gasperi, E. Moreau-Guigon, P. Labadie, M. Blanchard, MJ. Teil, Khawla Tlili, T. Quoc Dinh, C. Tran, C. Dargnat, F. Tamtam, F. Alliot, A. Desportes, C. Bourges, M. Chevreuril, M. Cladière, C. Lorgeoux, C. Miège, P. Bados, M. Coquery, L. Oziol, M. Bimbot, V. Huteau, S. Karolak, Y. Levi, G. Lavison, P. Candido. Colloque PIREN-Seine, février **2011**.
11. Transfert de micropolluants par le ruissellement et le réseau d'assainissement. JM Mouchel, MJ Teil, M Blanchard, F Alliot, C Bourges, M Cladière, A Desportes, T Dinh, J. Gasperi, S. Karolak, P. Labadie, Y. Levi, C Lorgeoux, C. Miège, E. Moreau-Guigon, L. Oziol, K. Tlili, C. Tran, M. Chevreuril. Colloque PIREN-Seine, février **2011**.
12. Analyse historique de la contamination en polluants persistants (HAP, PCB, alkylphénols et PDBE) sur le bassin de la Seine. C. Lorgeoux, J. Gasperi, R. Moilleron, B. Tassin. Colloque PIREN-Seine, janvier **2011**.
13. Contaminants en sols urbains : une revue. S. Ayrault, S. Barles, H. Blanchoud, E. Barusio, J. Gasperi, I. Lamy, E Moreau-Guigon, C Pelosi. 11èmes Journées d'Etude des Sols, Versailles, mars **2012**.
14. Flux et devenir des alkylphénols et du bisphénol A en Île-de-France. M. Cladière, J. Gasperi, C. Loregoux, C. Bonhomme, V. Rocher, B. Tassin. Colloque PIREN-Seine, février **2012**.
15. Quels contaminants dans les rejets urbains de temps de pluie ? Éclairage particulier sur les micropolluants. C. Becouze, C. Sebastian, J. Gasperi. 5^{ème} journée technique de l'OTHU. Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi des rejets urbains de temps de pluie et de leurs impacts pour une meilleure gestion des ouvrages et une optimisation des pratiques. Lyon, février **2012**.
16. Phtalates et alkylphénols dans les eaux résiduaires urbaines : niveau de concentration et cycle journalier. A. Bergé, J. Gasperi, V. Rocher, A. Coursimault, R. Moilleron. 9ème Congrès International du GRUTTEE, Aix en Provence, septembre **2012**.
17. Première caractérisation des perturbateurs endocriniens dans l'air intérieur et extérieur en France. M. Chevreuril, E. Moreau-Guigon, F. Alliot, MJ. Teil, M. Blanchard, J. Gasperi, C. Mandin. Connaissances récentes sur les effets de perturbateurs endocriniens sur l'environnement et la santé. Colloque PNRPE, décembre **2012**.

IV. Rapports

1. Alkylphénols et hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les eaux du bassin de l'Orge Aval. Quantification et faisabilité du suivi de la contamination par échantillonnage passif. J. Gasperi, C. Lorgeoux, C. Gourlay, E. Kuhn, R. Moilleron. Rapport PIREN-Seine, janvier **2008**, 18 p.
2. Priority pollutant behaviour in stormwater Best Management Practices (BMPs). L. Scholes, M. Revitt, J. Gasperi, E. Donner. Deliverable No. D5.1, Source Control Options for Reducing Emissions of Priority Pollutants (ScorePP), 6th Framework Programme, Sub-Priority 1.1.6.3, Global Change and Ecosystems, Project no. 037036, février **2008**, 61 p.
3. Priority pollutants behaviour in end of pipe wastewater treatment plants. K. Seriki, J. Gasperi, L. Castillo, L. Scholes, E. Eriksson, M. Revitt, J. Meinhold, N. Atanasova. Deliverable No. D5.4, Source Control Options for Reducing Emissions of Priority

- Pollutants (ScorePP), 6th Framework Programme, Sub-Priority 1.1.6.3, Global Change and Ecosystems, Project no. 037036, novembre **2008**, 91 p.
4. Contamination de l'Orge et de la Seine par des micropolluants organiques : PBDE, phtalates, alkylphénols et HAP sous différentes conditions hydrologiques. MJ. Teil, F. Alliot, M. Blanchard, C. Bourges, C. Dagnat, A. Desportes, J. Gasperi, P. Labadie, C. Lorgeoux, R. Moilleron, E. Moreau-Guigon, K. Tlili, M. Chevreuil. Rapport PIREN-Seine, janvier **2009**, 18 p.
 5. La micropollution organique dans le bassin de la Seine. M. Chevreuil, H. Blanchard, C. Dagnat, J. Gasperi, C. Gourlay, C. Lorgeoux, R. Moilleron, E. Moreau, D. Ollivon, MJ. Teil, JM. Mouchel. Fascicule PIREN n°9, juin **2009**, 66 p.
 6. Alkylphénols et bisphénol A dans le bassin de la Seine : Évolution des concentrations et des flux de Marnay à Poses. M. Cladière, J. Gasperi, C. Lorgeoux, B. Tassin. Rapport PIREN-Seine, janvier **2010**, 12 p.
 7. Archives sédimentaires, témoignages de l'histoire du développement du bassin. S. Ayrault, I. Lefèvre, P. Bonté, C. Priadi, L. Lestel, JM. Mouchel, C. Lorgeoux, I. Djouarev, J. Gasperi, R. Moilleron, B. Tassin. Rapport PIREN-Seine, janvier **2010**, 65 p.
 8. Transfert de composés perturbateurs endocriniens par le réseau d'assainissement et le réseau hydrographique du bassin versant de l'Orge. MJ. Teil, F. Alliot, M. Blanchard, C. Bourges, M. Cladière, A. Desportes, J. Gasperi, P. Labadie, C. Lorgeoux, E. Moreau-Guigon, K. Tlili, M. Chevreuil. Rapport PIREN-Seine, janvier **2010**, 10 p.
 9. Archives sédimentaires, empreintes des micropolluants sur le bassin de la Seine sur 80 ans. C. Lorgeoux, S. Ayrault, R. Moilleron, D. Lherm, J. Gasperi, B. Tassin, M. Roy-Barman, MF. Le Cloarec, I. Lefèvre, P. Bonté, L. Lestel, JM. Mouchel, J. Eurin, F. Tamtam, T. Dinh, M. Chevreuil, D. Boust, A. Vrel. Rapport PIREN-Seine, synthèse 2007-2010, février **2011**, 34 p.
 10. Contamination de la Seine par les micropolluants organiques : Effet des conditions hydriques et de l'urbanisation. J. Gasperi, E. Moreau-Guigon, P. Labadie, M. Blanchard, MJ. Teil, K. Tlili, T. Quoc Dinh, C. Tran, C. Dagnat, F. Tamtam, F. Alliot, A. Desportes, C. Bourges, M. Chevreuil, M. Cladière, C. Lorgeoux, C. Miège, P. Bados, M. Coquery, L. Oziol, M. Bimbot, V. Huteau, S. Karolak, Y. Levi, G. Lavison, P. Candido. Rapport PIREN-Seine, synthèse 2007-2010, février **2011**, 22 p.
 11. Diffusion de perturbateurs endocriniens par le compartiment atmosphérique et les amendements agricoles, contamination des sols et transferts hydriques : exemple des PCB, HAP, PBDE, alkylphénols, phtalates et du BPA. E. Moreau-Guigon, P. Labadie, J. Gasperi, M. Blanchard, M. Cladière, MJ. Teil, K. Tlili, A. Desportes, C. Bourges, F. Alliot, C. Lorgeoux, M. Chevreuil. Rapport PIREN-Seine, synthèse 2007-2010, février **2011**, 34 p.
 12. Evaluation et impacts des transferts de micropolluants par les réseaux de drainage urbains. JM Mouchel, MJ. Teil, M. Blanchard, F. Alliot, C. Bourges, M. Cladière, A. Desportes, T. Dinh, J. Gasperi, S. Karolak, P. Labadie, Y. Levi, C. Lorgeoux, C. Miège, E. Moreau-Guigon, L. Oziol, K. Tlili, C. Tran, M. Chevreuil. Rapport PIREN-Seine, synthèse 2007-2010, février **2011**, 22 p.
 13. Flux d'alkylphénols et bisphénol A en Île-de-France. M Cladière, J. Gasperi, C. Lorgeoux, C. Bonhomme, V. Rocher, B. Tassin. Rapport PIREN-Seine, février **2012**, 11 p.

14. Rapport d'avancement sur les flux de contaminants aux exutoires des bassins versants urbains. J. Gasperi, C. Mirande, MC. Gromaire, V. Ruban, C. Cren, L. Wiest, C. Sebastian, M. Millet. Livrable ANR INOGEV, mars **2012**, 27 p.
15. Contamination de l'air par les contaminants organiques, bioindication et conséquences sur la contamination des sols. E. Moreau-Guigon, J. Gasperi, F. Alliot, M. Cladière, M. Blanchard, MJ. Teil, C. Bourges, A. Desportes., R. Moilleron, M. Chevreuil. Rapport PIREN-Seine, février **2013**, 11 p.
16. Simulation du devenir des alkylphénols dans la Seine. M. Cladière, C. Bonhomme, L., L. Vilmin, J. Gasperi, N. Flipo, M. Poulin, B. Tassin. Rapport PIREN-Seine, février **2013**, 35 p.

17.

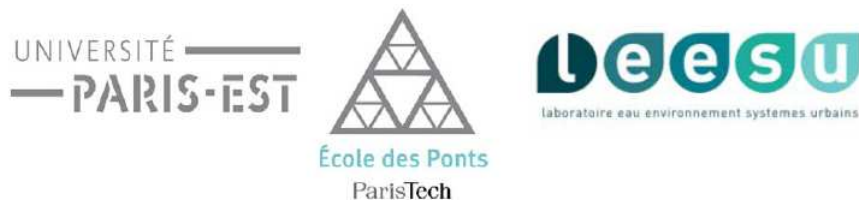
SYNTHESE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Année	Publications		Communications (orale)		Rapports
	Internationales	Nationales	Internationales	Nationales	
2013	1 + (1)	(2)	2	2	2
2012	5	3	4	5	2
2011	2	3	3	3	4
2010	4	1	1	3	3
2009	2	-	4	2	2
2008	4	1	1	-	3
2007	1	2	-	1	-
2006	2	5	1	2	-
2005	2	1	2	1	-
2004	1	1	2	-	-
Total	24 + (1)	17 + (2)	20	21	16

Entre parenthèses, publications soumises

ANNEXES

Annexe 1 : attestation d'encadrement de Solène Gilbert et de Romain Mailler



Je soussigné, Ghassan CHEBBO, Directeur de recherche 1^{ère} classe du MEDDE, directeur des thèses de Solène Gilbert (soutenue le 22 novembre 2011) et Romain Mailler (démarrée le 1 octobre 2012), certifie que ces thèses sont co-dirigées par Johnny Gasperi, Maître de conférences à l'UPEC. J'estime que les pourcentages d'encadrement qui doivent être attribués à Johnny Gasperi sont les suivants :

- Thèse de Solène Gilbert : 80 %
- Thèse de Romain Mailler : 80 %

Pour faire valoir ce que de droit

Fait à champs sur Mame, le 21 février 2013,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'G. Chebbo', with a long horizontal stroke extending to the right.

Ghassan CHEBBO

Annexe 2 : attestation d'encadrement de Mathieu Cladière



Bruno Tassin
Directeur
+33 (1) 64 15 36 40
Bruno.tassin@enpc.fr

Champs sur Marne, le 11 janvier 2013

Objet : attestation d'encadrement de Mathieu Cladière

Je soussigné, Bruno Tassin, directeur de la thèse de Mathieu Cladière, soutenue le 13 décembre 2012, confirme que Johnny Gasperi a co-dirigé ce travail.

J'estime le pourcentage d'encadrement qui doit être attribué à Johnny Gasperi à 80 %.

Fait à Paris, pour servir et valoir ce que de droit

Bruno Tassin
Directeur du Leesu
Directeur de recherche du MEDDE

Annexe 3 : attestation d'encadrement d'Alexandre Bergé



Objet : attestation d'encadrement d'Alexandre Bergé

Créteil, le 6 décembre 2012

Je soussigné, Professeur Régis Moilleron, confirme que Johnny Gasperi a participé à l'encadrement de la thèse d'Alexandre Bergé, soutenue le 16 novembre 2012, à hauteur de 20 %.

LEESU
Université Paris-Est Créteil
UFR de Sciences et Technologie
61, avenue du Général de Gaulle
94010 CRETEIL Cedex
Tél. : 01 45 17 16 23 - Fax : 01 45 17 16 27

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Régis Moilleron', with a horizontal line underneath.