



OPUR : Observatoire d'hydrologie urbaine en Île de France

Bloc « Diffusion des connaissances »

DIAGNOSTIC AMONT
ETAT DE L'ART SUR LES SOURCES,
CONCENTRATIONS ET FLUX DE
MICROPOLLUANTS

Nicolas Clercin

Mehrazin Omrani

Régis Moilleron

Marie-Christine Gromaire

Ghassan Chebbo



Table des matières

I. Introduction	7
II. Contexte urbain	8
III. Objectifs de l'étude.....	10
FICHE n°1 – Alkylphénols	11
FICHE n°2 – Benzène, Toluène, Ethyl-benzène et Xylènes.....	15
FICHE n°3 – Biocides	19
FICHE n°4 – Composés Organo-Halogénés Volatils.....	22
FICHE n°5 – Eléments Traces Métalliques	24
FICHE n°6 – Arsenic.....	28
FICHE n°7 – Mercure.....	30
FICHE n°8 – Titane	32
FICHE n°9 – Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.....	34
FICHE n°10 – Naphtalène	37
FICHE n°11 – Tributylétains.....	39
FICHE n°12 – Polybromodiphényléthers.....	41
FICHE n°13 – Polychlorobiphényles	44
FICHE n°14 – Pesticides	46
FICHE n°15 – Hexabromocyclododécane.....	49
FICHE n°16 – Di-2-éthylhexyl-phtalate	51
FICHE n°17 – Acide sulfonique de perfluorooctane	54
Conclusion	56
Références citées.....	59
Annexe – Méthode de calcul de flux	65
Bilan des flux à l'échelle de l'année pour une substance	65
Calcul de flux d'une substance à l'échelle annuelle (FMAS).....	65
Calcul de flux M_{ER}	65
Calcul du flux M_{EUD}	66
Calcul de la contribution des EUND	67

Liste des tables

Tableau 1 - Liste des 45 substances étudiées.....	7
Tableau 2 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des AP.....	12
Tableau 3 - Concentrations d'AP (µg/L) dans les eaux urbaines.	13
Tableau 4 - Flux d'Alkylphénols, sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	14
Tableau 5 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des BTEX.....	16
Tableau 6 - Concentrations de BTEX (µg/L) dans les eaux urbaines.....	17
Tableau 7 - Flux des BTEX sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	18
Tableau 8 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des biocides.....	20
Tableau 9 - Concentrations de biocides (ng/L) dans les eaux urbaines.	21
Tableau 10 - Flux de biocides sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	21
Tableau 11 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des COHV.....	22
Tableau 12 - Concentrations des COHV (µg/L) dans les eaux urbaines.....	23
Tableau 13 - Flux de COHV sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	23
Tableau 14 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des ETM.....	24
Tableau 15 - Concentrations des ETM (µg/L) dans les eaux urbaines.....	26
Tableau 16 - Flux de ETM sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	27
Tableau 17 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques de l'arsenic.	28
Tableau 18 - Concentrations d'arsenic (µg/L) dans les eaux urbaines.....	29
Tableau 19 - Flux d'arsenic sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	29
Tableau 20 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques du mercure.	30
Tableau 21 - Concentrations de mercure (µg/L) dans les eaux urbaines.....	31
Tableau 22 - Flux de mercure sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	31
Tableau 23 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques du titane.....	32
Tableau 24 - Concentrations en titane (µg/L) dans les eaux urbaines.....	33
Tableau 25 - Flux de titane sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	33
Tableau 26 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des HAP.	35
Tableau 27 - Concentrations de HAP (ng/L) dans les eaux urbaines.....	36
Tableau 28 - Flux des HAP sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	36
Tableau 29 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques du NAPH.	37
Tableau 30 - Concentrations de naphthalène (µg/L) dans les eaux urbaines.....	38
Tableau 31 - Flux de naphthalène sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	38
Tableau 32 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des TBT.....	39
Tableau 33 - Concentrations de TBT (ng/L) dans les eaux urbaines.....	40
Tableau 34 - Flux de TBT sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	40
Tableau 35 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des PBDE.	41
Tableau 36 - Concentrations des PBDE (ng/L) dans les eaux urbaines.....	43
Tableau 37 - Flux du BDE#209 sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	43
Tableau 38 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des PCB.....	44
Tableau 39 - Concentrations des PCB (ng/L) dans les eaux urbaines.....	45
Tableau 40 - Flux des PCB sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	45
Tableau 41 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des PEST.	47
Tableau 42 - Concentrations des pesticides (ng/L) dans les eaux urbaines.....	48
Tableau 43 - Flux des pesticides sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	48
Tableau 44 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques de HBCDD.....	49
Tableau 45 - Concentrations de HBCDD (µg/L) dans les eaux urbaines.....	50
Tableau 46 - Flux de HBCDD sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	50

Tableau 47 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques du DEHP.....	51
Tableau 48 - Concentrations du DEHP (µg/L) dans les eaux urbaines.....	52
Tableau 49 - Flux de DEHP sur la base de la méthode présentée en Annexe	53
Tableau 50 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques de PFOS.	54
Tableau 51 - Concentrations de PFOS (µg/L) dans les eaux urbaines.	55
Tableau 52 - Flux de PFOS sur la base de la méthode présentée en Annexe.....	55
Tableau 53 - Estimation des flux de substances dans les eaux de ruissellement (ER), eaux domestiques (EUD) et non-domestiques (EUND) au sein de la zone SIAAP 2018-2019.....	57

Liste des figures

Figure 1 - Interactions entre les différentes sources des polluants en milieu urbain.	9
---------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

Acronymes et abréviations utilisés

ANT	Anthracène
AP	Alkylphénols
BaP	Benzo[<i>a</i>]pyrène
BbF	Benzo[<i>b</i>]fluoranthène
BkF	Benzo[<i>k</i>]fluoranthène
BghiP	Benzo[<i>g,h,i</i>]pérylène
BTEX	Benzène, Toluène, Ethyl-benzène, Xylènes
COHV	Composés organo-halogénés volatils
DO	Déversoir d'orage
EP	Eaux pluviales
EPS	Eaux pluviales à l'exutoire de réseau séparatif
ER	Eaux de ruissellement
ETM	Eléments traces métalliques
EU	Eaux usées
EUD	Eaux usées domestiques
EUND	Eaux usées non domestiques
EUR	Eaux usées de réseau
EUTP	Eaux unitaires de temps de pluie
Fluo	Fluoranthène
FMA	Flux moyen annuel
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
IcdP	Indéno[1,2,3- <i>cd</i>]pyrène
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
Koc	Coefficient de partage carbone organique-eau
Kow	Coefficient de partage octanol/eau
K _H	Constante d'Henry
K _d	Coefficient de partage solide-liquide
LD	Limite de détection
LQ	Limite de quantification
M	Masse atomique
MAV	Marne Aval
M _{EUD}	Flux moyen des eaux usées domestiques
M _{EUND}	Flux moyen des eaux usées non domestiques et non domestiques assimilées domestiques
M _{ER}	Flux moyen des eaux de ruissellement
NAPH	Naphtalène
ND	Non détectable
PBDE	Polybromodiphényléthers
PCB	Polychlorobiphényles
PEST	Pesticides
RA	Retombées atmosphériques
Ruissel.	Ruissellement
Résid.	Résidentiel
RAT	Retombées atmosphériques totales
SAV	Seine Aval
SEC	Seine Centre
SEG	Seine Grésillons
SEM	Seine Morée
SEV	Seine Valenton
STEU	Station de traitement des eaux usées
TS	Temps Sec
TP	Temps de pluie
(<i>x</i>)	Valeur <i>x</i> moyenne
[<i>x</i>]	Valeur <i>x</i> médiane

I. Introduction

Cette étude bibliographique, préalable au diagnostic amont de la zone couverte par le SIAAP, est réalisée dans le cadre de l'action RSDE (Action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans les eaux) qui se concentre sur les rejets issus d'installations industrielles françaises (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement - ICPE - soumises à autorisation) et les stations de traitement des eaux usées (STEU). Elle s'appuie essentiellement sur les données acquises en région parisienne dans le cadre des travaux de recherche de l'observatoire OPUR et des projets associés à OPUR.

45 molécules individuelles regroupées par familles chimiques (les organométalliques, les HAP, les PCB, les alkylphénols (AP), les phtalates, etc.) **sont étudiées dans ce rapport, incluant les 42 substances identifiées en quantité significative dans les 6 STEUs de la zone SIAAP** (Tableau 1). Les substances sont présentées en utilisant les codes suivants :

- En rouge : Substances Dangereuses Prioritaires (SDP) au titre de la directive 2013/39/UE¹
- En violet : Substances Dangereuses de la liste I de la directive 2006/11/CE²
- En jaune : Substances Prioritaires (SP) au titre de la directive 2013/39/UE
- En bleu : Polluants Spécifiques de l'Etat Ecologique (PSEE) au titre de l'arrêté du 25/01/2010
- En noir : Substances non classées

Tableau 1 - Liste des 45 substances étudiées.

Famille	Substances
AP	Nonylphénol, NP1OE, NP2OE, OP1OE, OP2OE*, Octylphénol
BTEX	Benzène*, Toluène, Ethylbenzène, Xylène*
Biocides	Cybutryne, Cyperméthrine, Imidaclopride
COHV	Trichlorométhane, Tétrachloroéthylène, Trichloroéthylène
ETM	Nickel, Plomb, Zinc, Arsenic, Chrome, Cuivre, Mercure, Cadmium, Titane
HAP	Benzo[a]pyrène, Benzo[b]fluoranthène, Benzo[k]fluoranthène, Benzo[g,h,i]pérylène, Indéno[1,2,3-cd]pyrène, Anthracène, Fluoranthène, Naphtalène
Organétains	Tributylétain
PBDE	BDE#209
PCB	PCB 101, PCB 138, PCB 153, PCB 180
Pesticides	Diuron, Dichlorvos, Heptachlore
Autres	HBCDD (Hexabromocyclododecane), Di(2-éthylhexyl)phtalate (DEHP), Acide sulfonique de perfluorooctane (PFOS)

*Substance non significative dans les STEUs du SIAAP

Ce rapport est organisé en fiches de synthèse par substance ou famille de substances. Chaque fiche est divisée en **4 parties** correspondant aux objectifs de cette synthèse bibliographique et indiquant les résultats les plus pertinents :

- **Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques**
- **Liste des usages et voies d'introduction dans les eaux urbaines**
- **Concentration dans les eaux urbaines**
- **Flux dans les eaux urbaines de l'agglomération parisienne**

¹ Liste actualisée des substances prioritaires de la Directive-Cadre sur l'Eau, modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE.

² Directive n° 2006/11/CE du 15/02/06 concernant la pollution causée par certaines substances dangereuses déversées dans le milieu aquatique de la Communauté (version codifiée) - JOUE n° L 64 du 4 mars 2006.

II. Contexte urbain

Paris est une métropole qui regroupe sur son territoire l'ensemble des activités que l'on retrouve normalement dans les grandes zones urbaines, à savoir, des industries et de l'artisanat aux activités variées, des commerces, des institutions et des résidences (Figure 1). Tout secteur d'activité émet différents polluants dont les concentrations sont variables en fonction de son activité propre et des conditions hydrologiques locales. Les sources d'émission à l'échelle de l'agglomération parisienne sont donc diversifiées. Dans cette étude, nous nous limiterons aux substances détectées dans les différents types d'eaux urbaines :

A. Les Eaux Pluviales (EP) :

- a. **Les retombées atmosphériques (RA)** : la retombée atmosphérique humide, *i.e.* eaux de pluie avant tout contact avec une surface urbaine et la retombée atmosphérique totale, qui regroupe à la fois les dépôts atmosphériques de temps sec et la retombée atmosphérique humide ;
- b. **Eaux de ruissellement (ER)** : elles sont constituées des eaux météoriques après ruissellement sur les différentes surfaces urbaines (voiries/chaussées, toitures, bâtiments...) ;
- c. **Eaux à l'exutoire de réseau séparatif pluvial (EPS).**

B. Les Eaux Usées³ (EU) :

- a. **Eaux usées domestiques (EUD)** : issues d'une activité domestique, composées des eaux vannes (toilettes) et des eaux grises (eaux ménagères : cuisine, salle de bain, lave-linge, etc.).
- b. **Eaux usées non-domestiques (EUND) et non domestiques assimilées domestiques** : les EUND sont issues d'une activité industrielle, commerciale, artisanale ou hospitalière, rejetées avec ou sans traitement. Les eaux usées non domestiques assimilées domestiques sont les eaux usées d'un immeuble ou d'un établissement résultant d'utilisation de l'eau assimilable à un usage domestique en application de l'article L213-10-2 du Code de l'Environnement. Les utilisations de l'eau assimilables à un usage domestique sont définies par l'annexe 1 de l'arrêté du 21 décembre 2007 (activité de commerces de détail, activité de soins d'hygiène, activités d'hôtellerie, activités des services administratifs, ...).
- c. **Eaux usées à l'exutoire du réseau d'assainissement (EUR = EUD+EUND)** : eaux résiduaires urbaines de temps sec à l'exutoire des réseaux unitaires ou des réseaux séparatifs eaux usées.

C. Les eaux unitaires de temps de pluie (EUTP) :

- a. Eaux à l'exutoires des réseaux unitaires ou surverses unitaires par temps de pluie (mélange d'eaux usées et d'eaux pluviales).

Les différentes sources de contamination des eaux pluviales en milieu urbain sont :

- Les activités anthropiques conduisant à des émissions atmosphériques ou des dépôts de polluants sur les surfaces urbaines : activités industrielles, chauffage urbain, manutention et entreposage, transports. Parmi ces activités anthropiques le transport automobile est une source particulièrement significative : échappement, usure des pièces (pneus, freins), fuites de fluides (huiles, lave-glace, liquide de freins et d'embrayage, dégivreurs, additifs des carburants, etc.) ;
- L'entretien des surfaces (pesticides, biocides, détergents, fondants chimiques, engrais) ;
- Le relargage des matériaux par lessivage des surfaces : les matériaux de construction des bâtiments et des voiries (toitures, façades, grilles, revêtement des chaussées, béton, peintures, etc.), mobilier

³ Eaux brutes, eaux résiduaires ou effluents

urbain, infrastructures de transport (rails, caténaires, glissières de sécurité), carrosserie des automobiles... ;

- Les pratiques illicites (vidanges, rejets sauvages, déchets sur les chaussées, etc.) ;
- Les déjections d'animaux sauvages et domestiques.

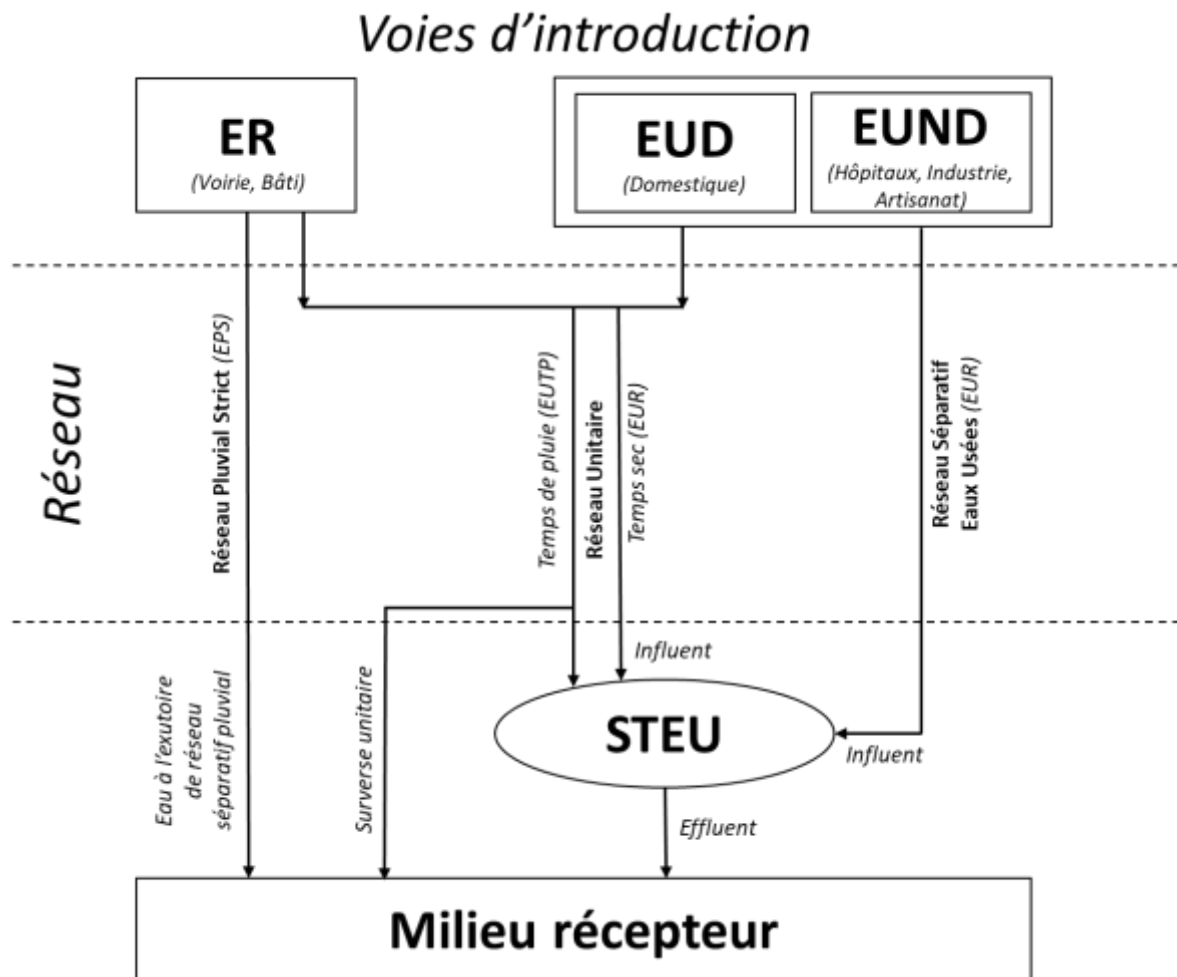


Figure 1 - Interactions entre les différentes sources des polluants en milieu urbain.

Les EU domestiques sont toutes traitées dans les STEU par temps sec.

Les EU non-domestiques et non domestiques assimilées domestiques ne proviennent pas uniquement des effluents d'industries et d'activités artisanales variées, des moyens de production associés ou de dispersion chimique, mais concernent également des hôpitaux et des commerces présents sur ces zones mixtes. Il n'est donc pas surprenant de trouver dans ces eaux une signature chimique liée à la présence humaine.

Le réseau unitaire collecte à la fois les EP et les EU domestiques et non domestiques.

Dans les zones desservies par des systèmes d'assainissement unitaires, par **temps de pluie (TP)**, l'apport des eaux de ruissellement peut conduire à excéder la capacité de ces réseaux d'eau. Ainsi, des déversements unitaires ont lieu par temps de pluie. Ce phénomène résulte en surverse des déversoirs d'orage, soit un mélange d'EU et d'EP dans des proportions variables suivant les caractéristiques des événements pluvieux. Les niveaux de contamination de ces eaux peuvent être supérieurs à ceux mesurés dans les EU et ER à cause de la remise en suspension de dépôts formés par temps sec dans le réseau unitaire.

III. Objectifs de l'étude

Afin d'optimiser la gestion des eaux usées, il est nécessaire d'avoir une meilleure compréhension de l'origine des contaminants dans le réseau d'assainissement. L'objet du présent rapport est de dresser un bilan des connaissances sur 45 substances dont les 42 micropolluants retrouvées à des concentrations significatives (au sens de la note technique d'août 2016) dans les 6 STEUs de la zone de couverture du SIAAP et d'exploiter ces connaissances pour identifier :

- Les principaux usages ;
- Les sources potentielles ;
- Les niveaux de concentration dans les différentes eaux urbaines,
- L'importance relative des flux annuels associés aux eaux domestiques, non domestiques et pluviales sur la zone SIAAP.

Ce rapport s'efforce donc de restituer de façon très synthétique les principaux résultats des campagnes de mesure des micropolluants dans les milieux urbains menées en France, avec une focale particulière sur la région parisienne. Les résultats présentés dans ce rapport aideront ainsi les gestionnaires du SIAAP à orienter leurs choix dans l'élaboration de leur plan d'action en lien avec le diagnostic amont.

FICHE n°1 – Alkylphénols

Fiche d'identité

Les alkylphénols (AP) sont des dérivés du phénol (de type R- ϕ -OH), créés par l'homme, avec un groupement alkyle (R), ramifié ou non, qui peut se situer en position 2, 3 ou 4 sur le noyau phénolique (ϕ). Les molécules d'AP les plus utilisées sont des nonylphénols⁴ (NP) et des octylphénols⁵ (OP). Les NP et OP représentent 95 % des AP utilisés dans l'industrie (Gasperi et al., 2008b). Les 4-NP⁶ représentent 80 % des NP dans les mélanges techniques commerciaux (Bécue and Nguyen, 2005). Les polyéthoxyles d'AP (APE) qui, dans l'environnement, se dégradent en AP, ont de nombreux usages en raison de leurs propriétés tensioactives. Les APE les plus utilisés sont les éthoxylates de nonylphénol⁷ (NPE), et dans une moindre mesure, les éthoxylates d'octylphénols (OPE) ; Les NPE et OPE constituent respectivement 80 % et 20 % des APE (Bergé et al., 2012a). Par convention, chaque NPE est décrit en indiquant la longueur moyenne de sa chaîne de groupes éthoxy contribuant à différentes propriétés physicochimiques et à différents degrés de toxicité (IMAP Group Assessment Report, 2019).

Les Nonylphénols

- Inscrits à la liste des substances dangereuses prioritaires de l'annexe X de la Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE (décision n°2455/2001/CE) ;
- Egalement inscrits à la liste des substances de l'annexe XIV du Règlement REACH, qui régit les substances extrêmement préoccupantes (SVHC) (INERIS and Agence de l'Eau, 2013).

Les Octylphénols

- Inscrits à la liste des substances prioritaires de l'annexe X de la Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE (décision n°2455/2001/CE) ;
- Substances prioritaires de l'Annexe XIV du règlement Reach.

⁴ C9-alkylphénols linéaire ou ramifiée ; 4-(2,4-dimethylheptan-3-yl)phenol

⁵ p-octylphenol; 1-(p-Hydroxyphenyl)octane Phenol, 4-octyl-; p-terc.Oktylfenol

⁶ C9-alkylphénols

⁷ nonylphénol-polyéthoxylés ; NPEO; NPnEO ; Agral 600; Agral 90;Arkopal N-090;Carsonon N-9;Chemax NP series;Conco NI-90;Dowfax 9N20;Emulgen - 913;Glycols, polyethylene, mono(nonylphenyl) ether

Tableau 2 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des AP.

Substance	4-NP	NP ₁ OE	NP ₂ OE	OP	OP ₁ OE ⁸
N° CAS	84852-15-3	27986-36-3 26027-38-3 28679-13-2 104-35-8	27176-93-8	140-66-9	2315-67-5
N° SANDRE	1958	6366 ⁹	6369	1959	6370
Formule	C ₆ H ₄ (OH)C ₉ H ₁₉	C ₁₇ H ₂₈ O ₂	C ₁₉ H ₃₂ O ₃	C ₁₄ H ₂₂ O	C ₁₆ H ₂₆ O ₂
M (g/mol)	220,34	264	308	206,33	250,38
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	6	3,02	3,33	8,7	-
Log K _{ow}	5,12	4,88	4,75	4,5	4,97
Log K _{oc}	5,15	4,81	4,69	3,87	3,08
Log K _d	3,26	3,16	2,65	-	-
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	11,02	-	-	0,7	-
NQE- MA (µg/L)	0,3	-	-	0,1	-
NQE-CMA (µg/L)	2,0	-	-	-	-
CE ₅₀ (mg/L)					
- Algues	0,06	-	-	1,1	-
- Invertébrés	0,02	-	-	0,01	-
- Poissons	0,13	-	-	0,17	-

Liste des usages des AP et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Domaine	Application	VI
NP	Industrie	- Principalement utilisés pour la production des NPE - Fabrication de peintures et vernis, colles et gélatines, produits chimiques à usage industriel	EUND, ER, EUD
NPE	Industrie, Domestique	- Fabrication de produits à caractère mouillant, dispersant, émulsifiant, additifs de carburants, plastiques, peintures, encres et liants, textiles, spermicides, pneus et gommes, adhésifs - Papeterie, pharmaceutique - Produits nettoyants	EUND, ER, EUD
OP	Industrie, Domestique	- Fabrication de résines phénoliques (pneus ; 98 % des usages en 2005) et dérivés OPE (2 %) - Crèmes et laits protecteurs solaires	EUND, ER, EUD
OPE	Industrie	- Emulsifiants dans la fabrication de polymères (pneumatiques) - Emulsifiants et agents de dispersion dans la formulation des pesticides - Fabrication des textiles et du cuir - Fabrication de peintures à base aqueuse	EUND, ER, EUD

⁸ Numéro CAS différent si issu du mono-éthoxylate de 140-66-9 (CAS 51437-89-9) ; du mono-éthoxylate de 1806-26-4 (CAS 68987-90-6) ou du mono-éthoxylate de 85771-77-3 (CAS 2315-67-5).

⁹ Codes CAS des isomères présents : n°27986-36-3, n°26027-38-3 et n°28679-13-2. Ce paramètre englobe également le paramètre de code Sandre n°5345 de code CAS n°104-35-8

Tableau 3 - Concentrations d'AP ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	4-NP	NP ₁ EO	NP ₂ EO	OP	Réf.
RA	Paris (n=15)	[0,17]	-	-	[0,008]	Bressy, 2010
ER	Paris/ Bâtiments (n=9) Région parisienne / 4 voiries et parking (n= 4 à 14)	[0,56] [0,12] à [1,76]	- [0,05] à [0,49]	- [0,09] à [0,40]	[0,03] [0,06] à [0,72]	Bressy, 2010 Projet Roulépur (Gasperi et al, 2022)
EPS	Paris/ Résidentiel (n=11) Péri-urbain (n=6) Urbain dense (n=4) Urbain très dense (n=4) Résidentiel – 2 bassins versants (Lyon et Sucy) (n=8 et 12)	[0,47] [0,55] [4,52] [0,58] [0,22]-[0,33]	- - - - [0,09]	- - - - [0,09]	[0,04] [0,06] [0,19] [0,10] [0,04]	Bressy, 2010 Zgheib, 2009 " " Projet INOGEV (Gasperi et al., 2014)
Eaux usées						
EUD	Paris/ EU Domestique (n=14) EU Domestique (n=44) Eaux douche (n=25) Eaux lave-linge (n=25) Lave-vaisselle (n=25) Vaisselle Manuelle (n=30) Lavabo (n=20) Nettoyage des sols (n=25) Eaux vannes (n=3) Eau Domestique** Eaux grises** (n=150) Eaux vannes (n=1) Paris/ Rejets urbains (n=16)	[13,6] [9,04] (1,62) (5,21) (1,49) (0,56) (2,27) (5,05) (0,61) [1,18] (1,33) 9,68 (2,38)	- - - - - - - - - - - - -	- - - - - - - - - - - - -	[0,75] [0,89] (0,26) (0,43) (0,35) (0,30) (0,48) (0,43) (0,57) [0,26] (0,18) 0,17 (0,33)	Bergé, 2012b " Deshayes, 2015 " " " " " " " " " " " Greaud-Hoveman, 2008
EUND	EU industrielles site 1 (n=8) EU industrielles site 2 (n=14) EU industrielles (n=101) Traitement des textiles (n=18) Industrie pharma. (n=17) Industrie aéronautique (n=17) Traitement des ordures (n=9) Nettoyage véhicules (n=3) Industrie cosmétiques (n=2) Traitement de surface (n=7) Métallurgie (n=9) Maintenance transports (n=7) Production eau potable (n=5) Universités (n=17)	[4,50] [6,03] [4,96] [8,68] [3,37] [2,87] [2,03] (3,64) (54,5) [2,44] [1,94] [11,2] [0,98] [8,75]	- - - - - - - - - - - - - -	- - - - - - - - - - - - - -	[0,29] [0,30] [0,40] [0,37] [1,00] [0,03] [0,53] (< LQ) (0,02) [0,52] (< LQ) [0,28] (< LQ) [0,52]	Bergé, 2012b " " " " " " " " " " " " "
EUR	Paris/ Influent SIAAP STEU SAV (n=6) STEU SEC (n=6) STEU MAV (n=6) STEU SEM (n=6) STEU SEV (n=4) STEU SEG (n=6) STEU SEC (n=9) STEU SEC (n=18) Paris/ EU émissaires SIAAP (n=24) Paris/ EU émissaires SIAAP (n=18) Hauts-de-Seine/ STEU (n=15) Paris/ Influent (n=6) EUTS – Clichy (n=4) Site de SEC Seine-Amont (n=5) Seine-Centre (n=5)	(1,99) (0,72) (12,5) (2,96) (0,84) (1,40) (6,81) (1,34) [6,67] [2,43] (2,36) (15,7) [0,62] (0,81)	(3,75) (1,76) (15,03) (5,29) (0,13) (1,94) - - - - - - - (0,97)	(3,75) (1,76) (15,04)* (5,29) [<LQ] (1,94)* - - - - - - - (0,98)	(0,45) (0,13) (1,07) (0,55) (0,19) (0,49) (1,07) (< LQ) [1,47] [<LQ] (0,20) (5,6) [0,05] (0,25)	Cette étude RSDE " " " " " " Bergé, 2012b Deshayes, 2015 Bergé, 2012b Deshayes, 2015 Deshayes, 2015 Martin Ruel et al., 2010 Zgheib, 2009 Gilbert et al., 2012 " "
Eaux unitaires						
EUTP	Paris unitaire - Clichy (n=4) Paris/ unitaire (n=13) Paris/ unitaire (n=13)	[1,07] [<LQ] (0,29)	- - (0,99)	- - (0,29)	[0,62] [0,20] (0,35)	Zgheib, 2009 Gasperi et al., 2008 Gasperi et al., 2012

*Non-significatif ; **reconstituée ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 4 - Flux d'Alkylphénols, sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substances*	M_{ER}/FMA	M_{EUD}/FMA	M_{EUND}/FMA
Nonylphénols			
NP1OE			
NP2OE			
Octylphénols			
OP1OE			
OP2OE			

**code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%*

FICHE n°2 – Benzène, Toluène, Ethyl-benzène et Xylènes


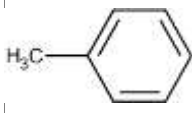
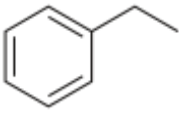
Fiche d'identité

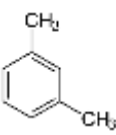
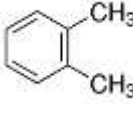
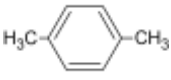
Les BTEX (abréviation pour Benzène, Toluène, Ethyl-benzène et Xylènes) font partie de la famille des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM). Ce sont des hydrocarbures aromatiques monocycliques (avec le benzène comme structure de base) issus des matières fossiles, obtenus par le raffinage de l'essence de pyrolyse et des essences de reformage. Faiblement biocumulables et facilement biodégradables dans l'eau, ils sont très toxiques et écotoxiques (polluants spécifiques de l'état écologique, arrêté du 25/01/2010) mais ne s'accumulent pas dans les sédiments en concentrations importantes (Giroux et al., 2019).. Comme tout hydrocarbure aromatique, les BTEX se forment naturellement lors de la combustion ou pyrolyse des matières organiques (feu de forêt, pétrole brut, houille, volcanisme...).

Les BTEX les plus significatifs retrouvés dans le diagnostic en amont des stations SIAAP sont :

- **Le benzène :**
 - obtenu par récupération dans les raffineries ;
 - deux sources principales sont : l'essence de pyrolyse (*pygas*) et essences de reformage (*reformates*)
 - utilisé pour la production de nombreux produits chimiques (styrène, cumène, cyclohexane...) et la synthèse de polymères, caoutchouc, détergents, solvants, explosifs et médicaments en autres.
 - additif dans les essences sans plomb à concentration <1%.
- **Le toluène :**
 - principalement produit par la conversion catalytique du pétrole, l'aromatization d'hydrocarbures aliphatiques et par les fours de cokerie (SCAL-AIR, 2013) ;
 - très volatile, facilement biodégradable et considéré comme une substance nocive pour l'environnement (arrêté du 2 février 1998) ;
 - insoluble dans l'eau mais se mélange à de nombreux solvants organiques (acétone, chloroforme, éthanol...). Ainsi, il est un excellent solvant pour un grand nombre de substances naturelles ou de synthèse (huiles, graisses, résines...) ;
 - fait partie des substances pertinentes au titre du programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses.
- **L'éthyl-benzène :**
 - composant naturel du pétrole ;
 - constituant de base des produits chimiques et pétrochimiques ;
 - présent dans asphalte et naphta utilisés pour les routes ;
 - comme le toluène, il fait partie des substances pertinentes au titre du programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses.
- **Les xylènes :**
 - trois isomères : le méta-xylène, l'ortho-xylène et le para-xylène, tous dérivés du benzène et produits par l'industrie pétrochimique (SDAGE, 2016) ;
 - en mélange commercial, le m-xylène est toujours prédominant ;
 - méta-xylène et para-xylène sont facilement biodégradables contrairement à l'ortho-xylène ;
 - font partie des substances pertinentes au titre du programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses.

Tableau 5 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des BTEX.

Substance	Benzène	Toluène	Ethylbenzène
N° CAS	71-43-2	108-88-3	100-41-4
N° SANDRE	1114	1278	1497
Formule	C ₆ H ₆	C ₇ H ₈	C ₈ H ₁₀
			
M (g/mol)	78,11	92,15	106,16
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	1820	520	175
Log K _{ow}	2,13	2,69	-
Log K _{oc}	-	2,0-2,2	-
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	558	673	820
Persistance eau douce (t _{1/2} en j)	3-23	30	15
NQE- MA (µg/L)	10	74	-
NQE-CMA (µg/L)	50	-	-
CE ₅₀ (mg/L)	Daphnies 10	Daphnies 11,5	-
	Poissons 5,3	Poissons 5,9	-

Substance	Xylènes		
N° CAS	1330-20-7		
N° SANDRE	1780		
Formule	C ₈ H ₁₀		
	Méta-	Ortho-	Para-
			
M (g/mol)	106,16		
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	151	176	177
Log K _{ow}	2,77-3,12		
Log K _{oc}	1,57		-
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	680		
Persistance eau douce (t _{1/2} en j)	5-150		
NQE- MA (µg/L)	1		
NQE-CMA (µg/L)	-		
CE ₅₀ (mg/L)	-		
	-		

Liste des usages des BTEX et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
Benzène	Multiple	Industrie	- Dans nombreux produits chimiques (styrène, cumène, cyclohexane...) - Synthèse de polymères, caoutchouc, détergents, solvants, explosifs et médicaments en autres.	EUND, ER
Toluène	Multiple	Industrie	- Essences automobile (5-7 % de toluène), essences sans plomb en remplacement du tétra-méthyle de plomb (8,6 %) carburants diesel (> 0,2 % en masse), carburants d'avion (5-20 % par volume) - Synthèse du benzène (32 % d'usage), phénol (7 % d'usage), nitrotoluène, caprolactam, phtalates (2 % d'usage) et d'isocyanate de toluène (11 % d'usage) - Produits issus de la catalyse du toluène (16 % d'usage) - Gommage des tissus (textile) - Régulateur de polymérisation (Baillieul, 2018)	EUND, ER, EUD
	Produits ménagers	Domestique	- Détergents, peintures, insecticides, agents de nettoyage, agents de saveurs et parfums, aspirine, cosmétique (AESN and Aquascope, 2008)	EUD, ER
Ethyl-benzène	Base chimique	Industrie	- Constituant de base de nombreux produits chimiques - Antidétonant dans les essences sans plomb - Présent dans asphalte et naphta	EUND, ER
Xylènes	Multiple	Industrie	- Carburants (<1 % des essences) - Biogaz issus de la décomposition de déchets industriels et municipaux (SDAGE, 2016) - Utilisé comme intermédiaire dans la fabrication de pesticides	EUND, ER

Tableau 6 - Concentrations de BTEX (µg/L) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	Benzène	Toluène	Ethyl-benzène	Xylènes	Réf.
RA	-	-	-	-	-	-
ER	-	-	-	-	-	-
EPS	Paris/ Péri-urbain (n=7) Urbain dense (n=4) Urbain très dense (n=4)	- - -	<LD <LD <LD	<LD <LD <LD	<LD <LD <LD	Zgheib, 2009 " "
Eaux usées						
EUD	France/ Urbain dense	(0,16)	(18,52)	(0,52)	(3,75)	Greaud-Hoveman et al, 2008
EUND	France/ Zone industrielle	(312,3)	(935,7)	(310,9)	(1017,4)	Greaud-Hoveman et al, 2008
EUR	Paris/ Influent SIAAP STEU SAV (n=6) STEU SEC (n=6) STEU MAV (n=6) STEU SEM (n=6) STEU SEV (n=4) STEU SEG (n=6) Paris – EUTS séparatif (n=4) Paris unitaire - Clichy (n=4) Paris/ Influent (n=10)	<LQ <LQ <LQ <LQ <LQ <LQ - -	(2,85) (1,92)* (1,47)* (8,11)* (2,60) (2,90)* [1,15] [1,45]	(2,85)* (1,92)* (1,39)* (10,86)* (3,07)* <LQ <LQ -	<LQ <LQ <LQ (2,45)* (1,15) (1,26)* [1,15] [2,65]	Cette étude RSDE " " " " " " Zgheib, 2009 " Gasperi et al., 2008
Eaux unitaires						
EUTP	Paris unitaire - Clichy (n=4) Paris/ unitaire (n=13)	- -	<LQ [< 1]	[0,23] -	<LQ -	Zgheib, 2009 Gasperi et al., 2008

*Non-significatif ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 7 - Flux des BTEX sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substances*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
Benzène			
Ethylbenzène			
Toluène			
Xylènes			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

FICHE n°3 – Biocides

Fiche d'identité

De par leur toxicité, les biocides sont destinés à détruire les organismes nuisibles à l'homme et ses activités. Leur utilisation peut être dommageable pour la santé humaine et l'environnement. La formulation des biocides comporte généralement une ou plusieurs substances actives associées, pouvant être persistantes dans l'environnement ou s'accumuler dans les tissus organiques. La toxicité des biocides peut aussi s'exprimer chez des organismes non-cibles, notamment avec les substances lipophiles (à fort Kow) qui se bio-accumulent.

Les biocides sont classés selon leur structure chimique (triazines, néonicotinoïdes...) et/ou en fonction de leurs organismes-cibles (insectes, champignons, végétaux...).

- **La Cybutryne¹⁰ (Cyb) :**
 - Puissant biocide de la famille des triazines ;
 - Remplace le tributylétain (ou TBT, interdit depuis 1982¹¹) comme *antifouling* dans les peintures de protection des coques de bateaux ;
 - Substance prioritaire (Directive 2013/39/EU).

- **La Cyperméthrine¹² (Cyp) :**
 - Substance de synthèse de la famille des pyréthriinoïdes ;
 - Rapportée pour la première fois en 1975 ;
 - Constitué de 8 isomères (4 cis et 4 trans) commercialisés dans différents ratios cis/trans ;
 - 4 principaux isomères : alpha-, bêta-, thêta- et zêta-cyperméthrine ;
 - Perturbateur thyroïdien chez les mammifères (AESN, 2018) ;
 - Substance prioritaire (Directive 2013/39/UE).

- **L'Imidaclopride¹³ (Imd) :**
 - Substance active de la famille des néonicotinoïdes ;
 - Utilisée en France depuis 1994 ;
 - Puissant neurotoxique contre les insectes ;
 - Extrêmement toxique pour les oiseaux et les abeilles (Braschi et al., 2021).

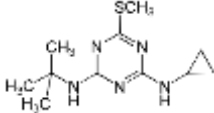
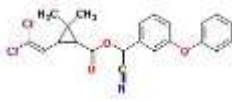
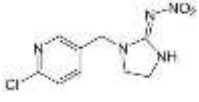
¹⁰ Irgarol 1051 ou 2-methylthio-4-tert-butylamino-6-cyclopropylamino-s-triazine

¹¹ Les bateaux ayant des carènes traitées au TBT sont interdits de mouillage dans les ports européens (directive 98/8/CE).

¹² 3-(2,2-Dichlorovinyl)-2,2-diméthylcyclopropanecarboxylate de alpha-cyano-3-phénoxybenzyle; Cyano(3-phénoxyphényl)méthyl 3-(2,2-dichloroéthényl)-2,2-diméthylcyclopropanecarboxylate; 3-(2,2-Dichlorovinyl)-2,2-diméthylcyclopropanecarboxylate); Agrothrin; Ambush C; Ammo; Antiborer 3767; ARDAP; Arrivo; Avicade;...

¹³ imidacloprid;1-((6-Chloro-3-pyridinyl)méthyl)-n-nitro-2-imidazolidinimine;1-(6-Chloro-3-pyridylmethyl)-N-nitroimidazolidin-2-ylideneamine;1H-Imidazol-2-amine,1-((6-chloro-3-pyridinyl)methyl)-4,5-dihydro-N-nitro;1-(2-chloro-5-pyridylmethyl)-2-(nitroimino)imidazolidine ; 2-Imidazolidinimine, 1-((6-chloro-3-pyridinyl) methyl)-N-nitro- ; ADMIRE ; Admire 2F ; Admire Pro ;...

Tableau 8 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des biocides.

Substance	Cyb	Cyp	Imd
N° CAS	28159-98-0	52315-07-8 ¹⁴	138261-41-3
N° SANDRE	1935	1140	1877
Formule	C ₁₁ H ₁₉ N ₅ S	C ₂₂ H ₁₉ Cl ₂ NO ₃	C ₉ H ₁₀ ClN ₅ O ₂
			
M (g/mol)	253,37	416,3	255,7
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	7	0,004	610
Log K _{ow}	3,95 à 4,07	6,54	0,57
Log K _{oc}	2,40	4,88 à 5,54	2,28 à 2,35
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	29,79	0,03	1,7 x10 ⁻¹⁰
t _{1/2} eau douce (en j)	> 100	0,02	-
Norme Qualité Environ.			
NQE- MA (µg/L)	0,002 5	-	-
NQE-CMA (µg/L)	0,016	0,000 6	0,2
CE ₅₀ (µg/L)	Diatomées 0,6 Algues vertes 1,1 Chironomes 3 000	Invertébrés 0,0013 Poissons 0,4	Algues vertes > 100 000 Insectes 1,02 – 50,6 Poissons > 211 000

Liste des usages des biocides et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
Cyb	Algicide	Construction navale	- Peintures antisalissure (<i>antifouling</i>) des coques de bateau (entre 0,1 à 6 %)	EUND, ER
		Bâtiment	- Peintures et crépis pour la protection des façades ; jusqu'à 250 mg/kg (Burkhardt et al., 2011 ; INERIS, 2012) - Isolation thermique extérieure de bâtiments	ER
Cyp	Insecticide	Agriculture, Viticulture, Elevage, Foresterie	- Protection du bois - Produits assainisseurs d'air - Hygiène vétérinaire (décision ANSES : 31 mai 2010)	EUND, EUD
		Bâtiment	- Lutte anti-vectorielle : fourmis, blattes, acariens, mouches, moustiques, guêpes	ER
Imd	Insecticide	Agriculture	- Traitement foliaire	ER
		Vétérinaire	- Antipuce (chiens et chats)	EUD

¹⁴ Mélange d'isomères de cyperméthrine, alpha-cyperméthrine (CAS 67375-30-8), bêta-cyperméthrine (CAS 65731-84-2), thêta-cyperméthrine (CAS 71697-59-1) and zêta-cyperméthrine (52315-07-8).

Tableau 9 - Concentrations de biocides (ng/L) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	Cyb	Cyp	Imd
RA	Paris/ eau de pluie	[<LD] Paijens et al., 2020a	-	-
ER	-	-	-	-
EPS	Paris/ Zone urbaine Paris/ bassin de rétention, FD (n=3)	[<LD] Gasperi et al., 2014 ; 2017 [<LQ] Paijens et al., 2020b	-	-
Eaux usées				
EUD	-	-	-	-
EUND	-	-	-	-
EUR	Paris/ Influent STEU	[<LD] Paijens et al., 2020a	<100 Guillossou et al., 2019	-
	Paris/ Influent SIAAP	Cette étude, RSDE 2018/2019		
	STEU SAV (n=6)	(22,96)*	(1171)	(45,92)*
	STEU SEC (n=6)	(18,58)*	(230)	(37,17)*
	STEU MAV (n=6)	(25)*	(2210)	(50)*
	STEU SEM (n=6)	(35)	(1670)	(50)
	STEU SEV (n=4)	(15,90)*	(106)	(37,76)*
STEU SEG (n=6)	[<LQ]	(190)	(36,92)*	
	Saint-Philibert (56)/ Influent STEU Kerran (n=6)	(20) AQTA, 2019	(33) AQTA, 2019	(45) AQTA, 2019
Eaux unitaires				
EUTP	Paris/ Rejets unitaires TP, FD	[< 4,4] Paijens et al., 2020b	-	-
	Clichy/ Rejets unitaires TP	[< 1,1] Paijens et al., 2021	-	-

*Non-significatif ; FD : Fraction dissoute ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 10 - Flux de biocides sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substances*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
Cybutrine			
Cyperméthrine			
Imidaclopride			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

FICHE n°4 – Composés Organo-Halogénés Volatils

Fiche d'identité

Les Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV) sont des substances organiques lentement biodégradables et faiblement bioaccumulables. Ils sont peu toxiques pour les organismes aquatiques, nettement plus pour les mammifères. Cancérogènes suspectés (AESN and Aquascop, 2008).

- **Le trichlorométhane (TCM)** appelé également chloroforme est une substance prioritaire selon la DCE qui peut être produite naturellement en présence de chlore et de matière organique (SDAGE, 2016). Le TCM doit être utilisé à une concentration < 1% en poids pour une mise sur le marché à destination du public.
- **Le tétrachloroéthylène (TTCE)** est une substance dans la liste I selon la directive substance dangereuse de 1976. La plupart des composés organiques se dissolvent dans le TTCE.
- **Le trichloroéthylène (TCE)** fait partie de la liste I selon la directive substance dangereuse de 1976 (Greaud-Hoveman et al., 2008). Le TCE peut être produit conjointement lors de la fabrication du TTCE.

Tableau 11 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des COHV.

Substance	TCM	TTCE	TCE
N° CAS	67-66-3	127-18-4	79-01-6
N° SANDRE	1135	1272	1286
Formule	CHCl ₃	C ₂ Cl ₄	C ₂ HCl ₃
M (g/mol)	119,5	165,85	131,39
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	8200 à 8700	150	1070 à 1100
Log K _{ow}	1,97	2,53 à 2,67	2,29 à 2,38
Log K _{oc}	2,27	2,39 à 2,40	1,96 à 2,05
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	299 à 384	1844 à 2114	1030 à 1044
Persistance eau douce (t _{1/2} en j)	-	-	0,75
NQE- MA (µg/L)	2,5	10	10
NQE-CMA (µg/L)	-	-	-
CE ₅₀ (µg/L)	-	-	-

Liste des usages des COHV et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
TCM	Solvant	Industrie	- Fabrication d'HCFC-22 destinés à la réfrigération - Agent de purification des matières plastiques - Réactifs de laboratoire, conservateur	EUND
		Eau	- Sous-produits de désinfection par des procédés au chlore (potabilisation)	EUND
TTCE, TCE	Solvants	Textile	- Nettoyage du coton/laine et traitement des cuirs/peaux	EUND
		Industrie	- Dégraissage des pièces métalliques (AESN and Aquascop, 2008 ; Greaud-Hoveman et al., 2008) - Décapant pour peinture et encre d'imprimerie - Diélectriques ou isolants électriques dans les transformateurs et condensateurs en remplacement des PCB	EUND

Tableau 12 - Concentrations des COHV ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	TCM	TTCE	TCE	Réf.
RA	-	-	-	-	-
ER	-	-	-	-	-
EPS	Paris/ Péri-urbain (n=7)	-	[<LQ]	-	Zgheib, 2009
	Urbain dense (n=4)	-	[<LQ]	-	"
	Urbain très dense (n=4)	-	[0,86]	-	"
Eaux usées					
EUD	France/ Urbain dense	(1,29)	(1,55)	(0,53)	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUND	France/ Zone industrielle	(185,08)	(1398,87)	(64,30)	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUR	Paris/ Influent SIAAP				
	STEU SAV (n=6)	(1,25)	(3,24)	(0,48)	Cette étude, RSDE 2018/2019
	STEU SEC (n=6)	(1,68)	(11,42)	(0,25)*	"
	STEU MAV (n=6)	(2,20)	(1,33)	(0,25)*	"
	STEU SEM (n=6)	(1,80)	(0,89)*	(0,31)*	"
	STEU SEV (n=4)	(1,44)	(0,98)	(0,25)*	"
	STEU SEG (n=6)	(1,39)	(1,80)	(0,25)*	"
	Paris – EUTS séparatif (n=4)	-	[<LQ]	-	Zgheib, 2009
	Paris unitaire - Clichy (n=4)	-	[2,55]	-	"
Saint-Philibert (56)/ Influent STEU Kerran (n=6)	(1,74)	(0,25)	(0,25)	AQTA, 2019	
Eaux unitaires					
EUTP	Paris unitaire - Clichy (n=4)	-	[6,3]	-	Zgheib, 2009
	Paris/ unitaire (n=13)	[1,8]	[3,9]	[1,1]	Gasperi et al., 2008 ; 2011

*Non-significatif ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 13 - Flux de COHV sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substances	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
Tétrachloroéthylène			
Trichloroéthylène			
Trichlorométhane			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

FICHE n°5 – Eléments Traces Métalliques

Fiche d'identité

Le Plomb (Pb), le Chrome (Cr), le Cuivre (Cu), le Nickel (Ni), le Zinc (Zn) et le Cadmium (Cd) sont des métaux ou des métalloïdes¹⁵ traces, connus comme éléments traces métalliques (ETM). Ces 6 ETM sont potentiellement toxiques. En milieu urbain, les sources d'émission prédominantes sont liées aux activités anthropiques et aux matériaux de construction. Le plomb, le nickel, le zinc, le cadmium et leurs composés font partie des contaminants prioritaires pour l'Union Européenne (directive 2013/39/UE) alors que le chrome, le cuivre et leurs composés n'y sont pas cités. De ce fait il n'a pas été fixé de normes de qualité environnementale (NQE) pour ces 3 derniers dans la directive européenne. Néanmoins, l'arrêté du 27 juillet 2018 (modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010) propose une NQE moyenne annuelle pour ces polluants spécifiques de l'état écologique.

Les ETM sont naturellement présents dans le milieu aquatique à faibles concentrations. Certains d'entre eux sont indispensables à la vie à des teneurs inférieures à 1 mg/kg de masse corporelle (oligo-éléments : zinc ou cuivre) mais peuvent s'accumuler dans les organismes vivants à des teneurs élevées qui deviennent toxiques.

Tableau 14 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des ETM.

Substance	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn	Cd
N° CAS	7439-92-1	7440-47-3	7440-50-8	7440-02-0	7440-66-6	7440-43-9
N° SANDRE	1382	1389	1392	1386	1383	1388
M (g/mol)	207,2	51,996	63,55	58,71	65,41	112,41
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	-	-	-	-	-	-
Log K _{ow}	0,73	0,23	-	-	-	-
Log K _{oc}	1,12					
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C						
NQE- MA (µg/L)	1,2	3,4	1,4	4,0	7,8	< 0,25
NQE-CMA (µg/L)	14	-	-	34	-	< 1,5
CE 50 (mg/L)	-	-	-	-	-	-

Plomb

- Abondant dans la croûte terrestre en association avec le zinc, l'argent, le cadmium ou d'autres métaux ;
- Emissions naturelles via l'érosion des sols ou le volcanisme ;
- Source principale : activités humaines (combustibles fossiles, procédés industriels et la combustion des déchets solides), matériaux de construction, émissions automobiles (anciennement) ;
- Majoritairement sous forme particulaire dans l'eau = formation de ligands (complexes insolubles) ;
- Certaines formes du plomb sont classées cancérigènes et d'autres supposées cancérigènes ;
- Diminution importante des niveaux du plomb en milieu urbain obtenue au cours des dernières années suite à l'interdiction de l'essence plombée et l'usage de celui-ci comme additif stabilisateur dans la fabrication de peintures, d'huiles et de lubrifiants en France.

Chrome

- Abondant dans la croûte terrestre, très rarement à l'état natif, sa forme naturelle est la chromite (FeCr₂O₄) (minerai de chromite) ;

¹⁵ Un métalloïde est un élément chimique semi-métallique, c'est-à-dire dont les propriétés physiques et chimiques sont intermédiaires entre celles d'un métal et d'un non-métal (par exemple semi-conducteurs) ; l'arsenic est un métalloïde.

- Métal de transition ubiquitaire avec des sources à la fois naturelles et anthropiques ;
- Forme trivalente très stable mais s'oxyde dans l'eau pour former des complexes hydroxydes : $\text{Cr}(\text{OH})_2^{2+}$, $\text{Cr}(\text{OH})_3$ et $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$;
- Forme hexavalente, classée cancérigène par l'Agence Internationale pour la Recherche sur le Cancer (IARC), a des sources anthropiques (dans certains effluents industriels) ;
- Ses utilisations dans l'industrie des aciers inoxydables, du bois, du textile et du traitement de surface sont les plus courantes ;
- Substance pertinente au titre du programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses.

Cuivre

- Très répandu dans la croûte terrestre à l'état natif ou sous forme de minerais oxydes ou sulfures ;
- Naturellement présent dans le milieu aquatique ;
- Spéciation aqueuse : deux degrés d'oxydation de +1 et de +2 peuvent exister selon la matrice d'eau ;
- Oligo-élément nécessaire à la vie avec des effets toxiques variables selon sa forme chimique et sa concentration ;
- Substances pertinentes au titre du programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses.

Nickel

- Moins répandu dans la croûte terrestre, principalement sous forme de minerais sulfures associés au manganèse, aux oxydes de fer et au cuivre ;
- Existe seulement au degré d'oxydation divalent Ni(II) dans l'eau ;
- Élément nécessaire, à faible concentration, aux fonctions physiologiques de certains organismes ;
- Utilisé dans l'industrie sous de nombreuses formes (carbonyle, chlorure, nitrate, oxyde, sulfure) ;
- Substance toxique et cancérigène.

Zinc

- Assez abondant dans la croûte terrestre, habituellement associé au plomb et au cuivre ;
- Forme principale : le blende (ZnS) ;
- Naturellement émis via les éruptions volcaniques, feux de forêts, aérosols marins et transport par le vent de particules du sol ;
- Existe sous diverses formes : ion hydraté, zinc complexé par les ligands organiques, zinc adsorbé sur la matière solide, oxydes de zinc ;
- Oligo-élément nécessaire au métabolisme des êtres vivants avec une toxicité variable selon sa forme chimique ;
- Multiples usages en milieu urbain ;
- Substances pertinents au titre du programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses.

Cadmium

- Peu répandu de la croûte terrestre, toxique et généralement lié aux minerais de zinc (ou plomb) ou aux gisements de phosphates ;
- Principalement sous forme d'oxyde, de chlorure et de sulfure ;
- Forme des complexes solubles avec l'ion chlorure (Cl^-) qui accroît sa mobilité.
- Libre dans l'eau (Cd^{2+}) à pH neutre ;
- Espèces carbonatées et sulfatées faiblement présentes.

Liste des usages des ETM et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Domaine	Application	VI
Pb	Industrie	- Métallurgie, sidérurgie et chimie (rejets ponctuels) - Trafic routier (batteries) - Bâtiments (peintures, toitures, étanchéité, éléments de décoration, couverture) - Céramiques et cosmétiques importés	EUND, ER EUD
Cr	Industrie	- Chimie, métallurgie - Traitement des cuirs et peaux et textiles - Centres de production d'électricité - Traitement de surface, lessivages routiers - Déchets industriels et domestiques	EUND ER EUD
Cu	Multiple	- Trafic routier (usure des plaquettes de frein) - Transport (caténaies) - Bâtiments (couvertures, gouttières, encadrements de fenêtres, éléments d'étanchéité) - Fongicide	ER
Ni	Industrie	- Combustion de pétrole, incinération des déchets, épandage des boues - Combustion de charbon ou de fuel - Traitement ou la valorisation des déchets	EUND, ER
Zn	Multiple Industrie	- Matériaux de construction (toitures, bardages, gouttières) - Mobilier urbain (glissières de sécurité, panneaux) - Automobile (usure des pneumatiques) - Métallurgie, chimie, papeterie	EUND, ER
Cd	Industrie	- Extraction et fonderie du plomb et du zinc, - Décharges industrielles (métallurgie, sidérurgie, chimie, mines)	EUND
	Domestique	- Apports du traitement de surface - Impuretés dans les matériaux anciens en Zn	EUD, ER

Tableau 15 - Concentrations des ETM ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn	Cd	Réf.
RA	Paris/ RA (n=7)	[2,6]	-	[6,3]	-	[230]	-	Bressy, 2010
	Paris/ RA	(4,0)	(0,4)	(7,7)	(0,9)	(59,5)	(0,2)	Robert-Sainte, 2010
	Nantes/ Eau de pluie, 2012	(1,03)	(0,45)	(3,45)	(1,12)	(16,21)	<LQ	Percot, 2012
	Eau de pluie, 2014	(0,11)	(0,1)	(1,48)	(0,17)	(3,03)	<LQ	Omrani et al., 2017
ER	Paris/ Toitures (11 toits, n= 4 à 20)	[99]- [3259]	-	[21]- [396]	-	[127]- [8045]	[0,3]- [4,1]	Gromaire-Mertz (1998) "
	Résidentiel, BV du Marais	[425]	-	[56]	-	[3199]	[1,8]	Bressy, 2010
	Résidentiel (n=6)	[13]	-	[17]	-	[600]	-	"
	Bâtiment Résid. (n=5)	[20]	-	[17]	-	[3000]	-	"
	Voirie Résid. (n=7)	[11]	-	[38]	-	[110]	-	"
	Voiries et parking (4 sites, n=9 à 19)	[6] à [55]	[4] à [44]	[17] à [249]	[3] à [23]	[53] à [601]	[0,08] à à [0,3]	Projet Roulépur (Gromaire et al. 2022)
EPS	Paris/ Résidentiel (n=8)	[30]	[5]	[51]	[4]	[285]	[0,2]	Projet INOGEV (Gromaire et al. 2021)
	Péri-urbain (n=7)	[13]	<LD	[30]	<LD	[180]	<LD	Zgheib, 2009
	Urbain dense (n=6)	[62,5]	[25,5]	[105]	<LD	[280]	<LD	"
	Urbain très dense (n=3)	[25]	<LD	[53]	<LD	[310]	<LD	"
	Lyon/ Industriel	(12,3)	(7,8)	(32)	(9,6)	(314)	(0,49)	Becouze-Lareure, 2019
	Lyon/ Industriel (n=5)	[11]	[7]	[32]	[7]	[223]	[0,3]	Projet INOGEV (Gromaire et al. 2021)
	Nantes/ Résidentiel (n=14)	[11]	[2]	[18]	[4]	[119]	[0,1]	

Eaux usées								
EUD	France/ Rejets urbains mixtes (n=167)	(6,22)	(109,9)	(22,9)	(52,8)	(85,6)	(6,4)	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUND	France/ Rejets industriels mixtes (n=3082)	(191)	(364)	(332)	(592)	(1611)	(134)	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUR	Paris/ Influent SIAAP							Cette étude RSDE
	STEU SAV (n=6)	(10,1)	(2,5)*	(69,2)	(2,96)	(154,4)	(0,5)*	"
	STEU SEC (n=6)	(8,2)	(2,5)*	(56)	(2,5)*	(107)	(0,5)*	"
	STEU MAV (n=6)	(10,9)	(4,6)	(122,3)	(5,7)	(241,2)	(0,29)	"
	STEU SEM (n=6)	(5,6)	(3,8)*	(91,8)	(3,1)*	(147,2)	(0,18)	"
	STEU SEV (n=4)	(7,8)	(3,2)	(45,2)	(2,5)*	(139,2)	(0,5)*	"
	STEU SEG (n=6)	(10,1)	(3,6)	(69)	(2,5)*	(176,8)	(0,17)	"
	Paris/ Influent STEU (n=10)	[17]	[< 10]	[51]	[<LQ]	[361]	[1]	Gasperi et al., 2008
	Paris/ Zone indust. (n=13)	(11)	(15)	(55)	(35)	(148)	(0,5)	Baumont et al., 2014
	Paris/ Zone urbaine (n=12)	(9)	(9)	(24)	(24)	(92)	(0,1)	"
Eaux unitaires								
EUTP	Paris/ unitaire (n=13)	[110]	[16]	[110]	-	[897]	-	Gasperi et al., 2012
	Paris/ unitaire (n=13)	[39]	-	[68]	-	[682]	-	Gasperi et al., 2011
	Paris/ Marais	[211]	-	[117]	-	-	[1,5]	Gasperi et al., 2006
	Paris OPUR2	[98]	-	[130]	-	[1120]	[1,2]	"
	Paris/ unitaire (n=13)	[188]	-	[175]	-	[1540]	[2,0]	Kafi et al., 2008

*Non-significatif ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 16 - Flux de ETM sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substances*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
Plomb			
Chrome			
Cuivre			
Nickel			
Zinc			
Cadmium			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

FICHE n°6 – Arsenic

Fiche d'identité

Naturellement présent dans l'environnement en faibles concentrations dues aux feux de forêt, aux activités volcaniques et au processus naturel d'altération de la roche mère, l'arsenic est un métalloïde ayant une forte affinité pour le soufre. En fonction de la nature du sol ou du substrat rencontré, les eaux pluviales peuvent être enrichies en arsenic à des concentrations supérieures aux valeurs guide pour les milieux aquatiques. Des concentrations dans les eaux souterraines de quelques $\mu\text{g/L}$ à quelques dizaines de $\mu\text{g/L}$ sont assez fréquentes (Blum et al. 2006). Son origine principale demeure cependant l'activité humaine (en cause pour 2/3 de l'arsenic atmosphérique) (AESN and Aquascop, 2008). L'arsenic est généralement associé à l'oxygène, au chlore et au soufre, notamment dans l'eau où il est majoritairement sous forme inorganique. Il est considéré peu toxique lorsque combiné avec du carbone ou de l'hydrogène. L'arsenic natif (0) est rare et As (-3) n'est rencontré que dans les milieux très réducteurs où sa formation serait catalysée par une activité microbiologique. L'arsenic fait partie des substances pertinentes au titre du programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses. La valence III est considérée comme plus toxique (effets cancérogènes et reprotoxiques) que de la valence V et ses formes organiques complexées (AESN and Aquascop, 2008).

- Principales formes de minerais :
 - Le mispickel (FeAsS), le plus abondant ;
 - Le réalgar (As_2S_2) ;
 - L'orpiment (As_2S_3) et ;
 - Le loellingite (As_2Fe).
- Deux degrés d'oxydation très toxiques même à faible dose :
 - +3 (As(III) arsénites) ;
 - +5 (As(V) arséniates).

Tableau 17 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques de l'arsenic.

Substance	As
N° CAS	7440-38-2
N° SANDRE	1369
M (g/mol)	74,92
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	insoluble
Log K_{ow}	0,68
Log K_{oc}	1,12
K_H ($\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$) à 20°C	-
Persistance eau douce ($t_{1/2}$ en j)	-
NQE- MA ($\mu\text{g/L}$)	0,83
NQE-CMA ($\mu\text{g/L}$)	-
CE ₅₀ ($\mu\text{g/L}$)	-

Liste des usages de l'arsenic et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
Arsenic	Multiple	Industrie : - Métallurgie - Verrerie - Chimie - Mine - Electronique - Papeterie	- Fabrication des pesticides et biocides - Alliages (Pons-Branchu et al., 2015) - Agent décolorant (Laperche et al., 2003) - Pigments/colorants (Dictor et al., 2004) - Extraction/exploitation de minerais (Michon, 2011) - Toners, cellules photovoltaïques, transistors, lasers - Magazines, journaux (Michon, 2011) - Batteries électriques (alliage Pb-Sb-As) (AESN and Aquascop, 2008)	EUND
		Agriculture, Sylviculture, Viticulture	- Produits phytosanitaires, pesticides, biocides, herbicides, raticides, fongicides et insecticides (Rollin and Quiot, 2006) - Fabrication de plombs de chasse - Traitement du bois (avec restrictions) - Tannerie	EUND, ER

Tableau 18 - Concentrations d'arsenic ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	As	Références
RA	Lyon, Paris, Nantes (n=24) Nantes/ Zone résidentielle	<1 0,14	Gasperi et al., 2014 Omrani et al., 2017
ER	Région parisienne / ruissellement de 4 voiries et parkings (n=57)	[0,6] à [5]	Gasperi et al. 2022
EPS	Région parisienne/Résidentiel (n=8) Nantes/Résidentiel (n=15) Lyon/ Bassin versant industriel	(1,47) (4,78) [1,2]	Gasperi et al., 2014 ; 2017 " Sebastian, 2013 ; Gasperi et al., 2014
Eaux usées			
EUD	France/ Rejets domestiques divers (n=28)	(4,3)	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUND	France/ Rejets industriels divers (n=730 sites)	(20,19)	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUR	Paris/ Influent SIAAP STEU SAV (n=6) STEU SEC (n=6) STEU MAV (n=6) STEU SEM (n=6) STEU SEV (n=4) STEU SEG (n=6) Saint-Philibert (56)/ Influent STEU Kerran (n=6)	(2,5)* (2,5)* (1,83) (1,25)* (2,5)* (1,25)* (3,040)	Cette étude RSDE " " " " " AQTA, 2019
Eaux unitaires			
EUTP	-	-	-

*Non-significatif ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 19 - Flux d'arsenic sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substance*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
Arsenic			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

FICHE n°7 – Mercure

Fiche d'identité

Le mercure, substance dangereuse prioritaire selon la DCE, est un élément chalcophile rare de la croûte terrestre, qui se présente surtout associé aux composés organiques et inorganiques sous forme de sulfure de mercure (cinabre), de chlorure de mercure et de méthyl mercure. Ses origines naturelles proviennent des volcans, de l'érosion des sols, des roches ainsi que du dégazage océanique. Le mercure se combine avec d'autres métaux comme l'étain, le cuivre, l'or et l'argent pour former des alliages de mercure connus sous le nom d'amalgames (Pham, 2015). Le mercure existe sous trois états d'oxydation : 0, +I et +II. Il est très rare et peu soluble à l'état élémentaire (Hg^0), alors qu'il peut former des composés solubles sous deux états de valence de +1 (mercureux, instable du fait de la dismutation) et +2 (mercurique) (Pham, 2015). Les espèces Hg^{2+} ne sont pas prédominantes en solution aqueuse. Le méthyl- et l'éthyl-mercure sont volatils et solubles dans l'eau. En milieu aquatique, cette transformation en mercure organique est catalysée par l'activité bactérienne ; processus favorisé par une faible oxygénation du milieu et une forte teneur en matières organiques. Le mercure est toxique pour l'homme et l'environnement, notamment ses dérivés méthylés (formes les plus toxiques), d'où les nombreuses réglementations nationales et européennes visant l'interdiction ou les restrictions d'usage du mercure depuis les années 90 en Europe :

- Interdiction d'utilisation du mercure dans les équipements électriques et électroniques (EEE) mis sur le marché de l'Union (Directive 2011/65/UE).
- Restriction REACH (2011) pour l'utilisation dans les instruments de mesure à usage industriel.
- Critères spécifiques aux conditions de stockage du mercure métallique considéré comme un déchet (directive 2011/97/UE du 5/12/2011 modifiant la directive 1999/31/CE).
- Convention de Minamata (octobre 2013) : Cessation de l'extraction minière du mercure.
- Substitution des cellules à mercure en France (ONEMA and INERIS, 2016).

Tableau 20 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques du mercure.

Substance	Hg
N° CAS	7439-97-6
N° SANDRE	1387
M (g/mol)	200,59
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	0,057
Log K_{ow}	0,62
Log K_{oc}	1,12
K_H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	729,36
Persistance eau douce ($t_{1/2}$ en j)	-
NQE- MA (µg/L)	0,05
NQE-CMA (µg/L)	-
CE ₅₀ (µg/L)	-

Liste des usages du mercure et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
Mercure	Multiple	Industrie	- Industries minières, métallurgie et raffinerie - Cimenterie - Pigments en papeterie - Feux d'artifice et explosifs - Chimie et travaux de laboratoire - Fabrication d'instruments de mesure - Batteries, transformateurs, et piles : 0,025 % à 1 % Hg - Cosmétique : shampoings, crèmes (max. 0,003 % de Hg)	EUND, ER EUD EUD
		Médecine, Pharmacie	- Antiseptiques, purgatifs, fongicides - Verres de contact et de collyre pour les yeux - Amalgames dentaires : 30-50 % de Hg	EUD
		Laboratoire d'analyse des eaux usées	- Sulfate mercurique pour la détermination de la demande chimique en oxygène	EUND

Tableau 21 - Concentrations de mercure ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	Hg	Références
RA	-	-	-
ER	-	-	-
EPS	-	-	-
Eaux usées			
EUD	Rejets urbains (n=167)	(0,86)	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUND	France/ Rejets industriels divers	(7,45)	Greaud-Hoveman et al., 2008
	France/ EU usine textile (n=1)	0,3	Leichtnam and de Franceschi, 2021
EUR	Paris/ Influent SIAAP		Cette étude RSDE
	STEU SAV (n=6)	<LQ	"
	STEU SEC (n=6)	(0,209)	"
	STEU MAV (n=6)	(0,285)	"
	STEU SEM (n=6)	(0,147)*	"
	STEU SEV (n=4)	<LQ	"
	STEU SEG (n=6)	<LQ	"
	Saint-Philibert (56)/ Influent STEU Kerran (n=6)	(0,125)	AQTA, 2019
Paris/ EUTS (n=10)	[0,12]	Gasperi et al., 2008	
Paris/ zone urbaine	(0,4)	Leichtnam and de Franceschi, 2021	
Paris/ zones indus. et urbains (n=13)	(0,31)	Baumont et al., 2014	
Paris/ zone urbaine (n=12)	(0,27)	"	
Eaux unitaires			
EUTP	Paris/ unitaire (n=13)	[0,10]	Gasperi et al., 2011

*Non-significatif ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 22 - Flux de mercure sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substance*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
Mercure			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

FICHE n°8 – Titane

Fiche d'identité

Le titane est naturellement présent principalement dans les roches ignées et dans les sédiments produits par l'érosion de ces roches sous forme de minéraux stables comme le rutile (TiO₂), l'ilménite (FeTiO₃) et le sphène (CaTi(SiO₃)) (Bourdoiseau and Delolme, 2016). Du fait de ses propriétés opacifiantes, blanchissantes, brillantes, réfléchissantes, autonettoyantes, antibuée et sa haute résistance aux rayons UV, le titane sous forme métallique ou sous forme de poudre micrométrique et nanométrique de TiO₂ ont de vastes applications depuis le début des années 90 (Weir *et al.*, 2012 ; Bourdoiseau and Delolme, 2016 ; Waghmode et al., 2019). Le titane est une substance non classée.

Tableau 23 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques du titane.

Substance	Ti
N° CAS	7440-32-6
N° SANDRE	1373
M (g/mol)	47,9
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	-
Log K _{ow}	0,23
Log K _{oc}	1,12
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	-
Persistance eau douce (t _{1/2} en j)	-
NQE- MA (µg/L)	-
NQE-CMA (µg/L)	-
CE ₅₀ (mg/L)	Invertébrés 4,6

Liste des usages du titane et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
Titane	Multiple	Industrie	- Incinération de déchets contenant du titane - Industries aéronautique et automobile - Industries du dentifrice, cosmétique (Weir et al, 2012) - Alimentaire et textile (Weir et al, 2012)	EUND
		Bâtiment, Construction	- Matériaux de construction - Peintures, pigments - Toitures en zinc (Duzgoren-Aydin et al., 2006) - Matériaux des chaussées (béton bitumineux)	ER
		Transports	- Marquages au sol (peintures) - Usure des garnitures de frein et des pneus des véhicules	ER
		Produits de consommation domestique	- Dentifrices, cosmétiques - Médicaments	EUD
		Médecine, Pharmacie	- Implants, prothèses chirurgicales - Nanomédecine	EUND, EUD
		Traitement des eaux usées	- Extraction en phase solide de métaux - Elimination du diazinon (Waghmode et al., 2019) - Décoloration des eaux usées - Elimination des composés xénobiotiques	EUND

Tableau 24 - Concentrations en titane (µg/L) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	Ti	Références
RA	Région parisienne/ Trappes	[0,6]	Projet TVGEP
	Région parisienne/ Sucys	[0,6]	Projet INOGEV
ER	France/ Toitures métalliques et gouttières		
	- zinc neuf	(2,5)	
	- anthra-zinc	(1,5)	
	- zinc ancien	(3,5)	
	- plomb neuf	(0,6)	
	- plomb ancien	(2,0)	Robert-Sainte, 2009
	- acier galvanisé	(1,5)	
	- acier galvanisé pré-peint	(0,8)	
	- acier inoxydable	(0,6)	
	- aluminium	(0,5)	
	- cuivre neuf	(1,8)	
	- cuivre ancien	(1,2)	
	France / toitures végétalisées	[52]	Projet TVGEP
	France / toiture terrasse nue	[0,7]	"
	Ile-de-France/ Ruissellement de voiries et parkings (4 sites)	[129] à [768]	Gasperi et al 2022
	Etranger/Bâtiment		
	- Peintures contenant du TiO ₂	<14	Al-Kattan et al., 2013
	- Nouvelle façade	<600	Kägi et al., 2008
	- Vieille façade	< 10 000	Kägi et al., 2010
EPS	Paris, Nantes, Lyon	(27,8)	Gasperi et al., 2017
	Région parisienne / Zone résidentielle	[25]	"
Eaux usées			
EUD	-	-	-
EUND	-	-	-
EUR	Paris/ Influent SIAAP		
	STEU SAV (n=6)	(11,65)	Cette étude, RSDE 2018/2019
	STEU SEC (n=6)	[<LQ]	"
	STEU MAV (n=6)	(17,40)	"
	STEU SEM (n=6)	(8,79)*	"
	STEU SEV (n=4)	(10,97)	"
	STEU SEG (n=6)	(13,31)	"
	Saint-Philibert (56)/ Influent STEU Kerran (n=6)	(21,27)	AQTA, 2019
Eaux unitaires			
EUTP	-	-	-

*Non-significatif ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 25 - Flux de titane sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substance*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
Titane			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

FICHE n°9 – Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Fiche d'identité

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) constituent une vaste famille de composés organiques formés d'un ou plusieurs systèmes cycliques d'atomes de carbone et d'hydrogène. Le nombre d'HAP susceptibles d'exister est donc théoriquement infini ainsi que leurs propriétés physico-chimiques. Jusqu'à trois cycles aromatiques, les HAP sont considérés légers et lourds avec plus de trois cycles. Ils peuvent être ainsi saturés (alcane) ou insaturés (alcènes, alcynes) (Gasperi, 2013). Hydrophobes, les HAP sont peu voire non biodégradables et considérés comme polluants organiques persistants (POPs). Leur toxicité augmente d'une manière directe avec leur poids moléculaire (cancérogènes avérés ou suspectés, effets perturbateurs endocriniens suspectés, etc.).

Constituants naturels des produits organiques fossiles (pétrole, houille), les HAP proviennent à la fois de sources naturelles (feux de forêt et éruptions volcaniques) et anthropiques générés par de la pyrolyse ou combustion incomplète de la matière organique (bois, chauffage, pétrole, charbon, ordures ménagères, carburants de moteurs à essence et diesel) à haute température dans des conditions de déficit en oxygène (AESN and Aquascope, 2008 ; Zgheib, 2009 ; Gasperi, 2013).

Selon leur origine, ils sont regroupés en trois catégories :

- **HAP pyrolytiques** : formés par combustion incomplète de matière organique (naturelle ou anthropique) ;
- **HAP pétrogéniques** : formés à partir des produits pétroliers ou dérivés (sous-produit de la distillation du goudron de houille). Cette source est responsable d'émissions plus localisées chroniques (activité portuaire, raffinerie, lessivage des infrastructures routières) ou accidentelle (marée noire) ;
- **HAP diagénétiques (ou biogéniques)** : transformés par les organismes vivants ;

Les HAP pyrolytiques et pétrogéniques constituent la majorité des émissions de HAP dans l'environnement.

- **L'anthracène¹⁶ (ANT)**, pétrogénique, fut reclassé substance dangereuse prioritaire par la directive 2008/105/CE (objectif de suppression final en 2028) ;
- **Le fluoranthène¹⁷ (FTH)**, d'origine pétrogénique et pyrolytique, est classé comme substance prioritaire ;
- **Le benzo (a) pyrène¹⁸ (BaP), le Benzo (b) fluoranthène¹⁹ (BbF), le Benzo (k) fluoranthène²⁰ (BkF), le Benzo (g,h,i) perylène²¹ (BghiP) et le Indéno (1,2,3-cd) pyrène²² (IcdP)** sont tous pyrolytiques et classés dangereux prioritaires de la DCE (AESN and Aquascope, 2008). Ces 5 HAP ne sont pas produits volontairement par l'homme, si ce n'est en très petites quantités pour les besoins de la recherche. Ces 5 composés ont peu ou pas d'utilisation connue (SDAGE, 2016).

¹⁶ Anthracene ; Paranaphthalène ; AI3-00155 ; Bis-alkylamino anthracene ; EC 204-371-1 ; Green oil ; NSC 7958 ; Tetra olive N2G

¹⁷ 1,2-(1,8-Naphthalenediyl)benzene ; 1,2-Benzacenaphthene ; Benzene, 1,2-(1,8-naphthylene) ; Benzo(jk)fluorene ; Idryl ; RCRA waste number U120 ; UNII-360UOL779Z

¹⁸ Benzo(def)chrysène ; 3,4-Benzopyrene ; 3,4-Benz(a)pyrene ; 3,4-Benzpyren ; 3,4-Benzpyrene ; 3,4-BP ; 6,7-Benzopyrene

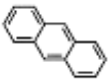
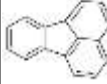
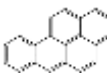
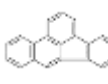
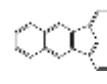
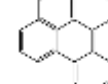
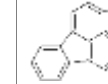
¹⁹ Benz(e)acephénanthrylène ; Benzo(e)fluoranthene ; 2,3-Benzfluoranthene ; 3,4-Benzfluoranthene ; 2,3-Benzfluoranthrene ; 3,4-Benzfluoranthrene ; 2,3-Benzofluoranthene ; 4,5-Benzofluoranthene ; 3,4-Benz(e)acephenanthrylene ; UNII-FJO154KG1X

²⁰ Dibenzo(b,jk)fluorène ; 8,9-Benzofluoranthène ; 11,12-Benzofluoranthène ; 2,3,1',8'-Binaphthlene ; UNII-U0P6LY48VF VF

²¹ 1,12-Benzoperylène ; benzo(ghi)perylene ; UNII-5ZME2E2Q9L

²² o-Phénylènepyrène ; 2,3-Phénylènepyrène ; 1,10-(1,2-Phenylene)pyrene ; 1,10-(ortho-Phenylene)pyrene ; Indeno[1,2,3-cd]pyrene ; IP ; RCRA Waste Number U137 ; UNII-T4SWX8IOU2

Tableau 26 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des HAP.

Substance	ANT	FTH	BaP	BbF	BkF	BghiP	IcdP
N° CAS	120-12-7	206-44-0	50-32-8	205-99-2	207-08-9	191-24-2	193-39-5
N° SANDRE	1458	1191	1115	1116	1117	1118	1204
Formule	C ₁₄ H ₁₀	C ₁₆ H ₁₀	C ₂₀ H ₁₂	C ₂₀ H ₁₂	C ₂₀ H ₁₂	C ₂₂ H ₁₂	C ₂₂ H ₁₂
							
M (g/mol)	178,24	202,26	252,31	252,31	252,31	276,34	276,34
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	0,04	0,26	0,0038	-	0,0008	0,0003	5e-05 à 0,062
Log K _{ow}	4,54	5,33	6,07	6,57	6,84	7,23	6,60
Log K _{oc}	4,47	5,16	6,69	Infini	6,81	7,38	7,52
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	5,04	1,5	-	-	0,08	0,027	0,029
NQE- MA (µg/L)	0,1	0,006 3	0,000 17	-	-	-	-
NQE-CMA (µg/L)	0,1	0,12	0,27	0,017	0,017	0,000 82	-
CE 50 (mg/L)							
- Algues	0,003 9	0,01	0,005 0	-	-	-	-
- Invertébrés	0,012 0	0,01	0,005 0	1	<0,001	0,002	-
- Poissons	0,001 3	0,04	0,005 6	-	-	-	-

Liste des usages des HAP et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
ANT	Multiple	Industrie	- Fabrication de l'antraquinone (= intermédiaire pour la fabrication de peintures, de pigments et colorants) - Fabrication de biocides	EUND, ER, EUD
FTH		Eau potable	- Revêtement intérieur pour la protection des structures en acier servant au stockage et à la distribution d'eau potable	EUND, ER, EUD
		Pharmacie	- Synthèse d'agents antiviraux, antiseptiques et antiparasitaires - Traceur des incinérations des ordures ménagères	
Toutes		Transport, Industrie, Domestique	- Combustion incomplète de la matière organique (moteurs thermiques, chauffage, cuisson)	EUND, ER, EUD

Tableau 27 - Concentrations de HAP (ng/L) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	ANT	FTH	BaP	BbF	BkF	BghiP	IcdP	Réf.
RA	Paris/ RA (n=15)	²³ Σ13HAP : [260]				Σ6HAP : [140]			Bressy, 2010
ER	Paris/ voirie. (n=12)	[23]-[91]	[92]-[577]	[42]-[226]	[37]-[170]	[37]-[170]	[60]-[371]	[51]-[209]	Projet Roulépur (Gromaire et al. 2022)
	Paris/ voirie (n=2)	Σ13HAP : 3 300-40 000				Σ6HAP : 1 400-18 000			Bressy, 2010
	Paris/ Zone résid. (n=11)	Σ13HAP : [1 100]				Σ6HAP : [580]			"
EPS	Paris/ Pluvial strict (n=16)	[23]	[134]	[66]	[134]	[52]	[100]	[80]	Zgheib, 2009
	Périurbain (n=8)	[16]	[96]	[66]	[123]	[51]	[74]	[73]	"
	Urbain dense (n= 4)	[43]	[384]	[140]	[291]	[107]	[238]	[148]	"
	Urbain très dense (n =4)	[46]	[320]	[114]	[247]	[88]	[184]	[128]	"
	Lyon/ Zone industrielle	[9]	[79]	[15]	[53]	[25]	[43]	[38]	Sebastian, 2013
	Paris/ Zone résidentielle (n=8)	[30]	[229]	[103]	[224]	[96]	[86]	[78]	Projet INOGEV (Gromaire et al. 2021)
	Nantes/ Zone résid. (n=7)	[5]	[114]	[49]	[111]	[37]	[44]	[31]	
	Lyon/ Zone industrielle (n=4)	[15]	[106]	[15]	[70]	[33]	[40]	[38]	
Eaux usées									
EUD	France/ rejets domestiques	(10)	(20)	(50)	(50)	(250)	(50)	(50)	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUND	France/rejets industriels variés	(460)	-	(190)	(940)	(220)	(580)	(1090)	
EUR	Paris unitaire -Clichy (n=3)	[13]	[37]	[22]	[24]	[14]	[17]	[17]	Zgheib, 2009
	Paris/ EUTS-séparatif (n=3)	[14]	[66]	[22]	[42]	[22]	[10]	[18]	"
	Paris/ Influent SIAAP								
	STEU SAV (n=6)	(47)	(306)	(241)	(367)	(154)	(444)	(2267)	Cette étude RSDE
	STEU SEC (n=6)	[<LQ]	(75)	(21)	(40)	(20)	(50)	(282)	"
	STEU MAV (n=6)	[<LQ]	(44)*	(30)	(34)*	(17)*	(21)*	(102)*	"
	STEU SEM (n=6)	[<LQ]	(32)*	(24)	(21)*	(9)*	(20)*	(71)*	"
	STEU SEV (n=4)	(18)	(71)	(31)	(46)	(5)	(32)	(57)	"
	STEU SEG (n=6)	[<LQ]	(49)	(22)	(17)*	(10)*	(14)	(49)*	"
	Saint-Philibert (56)/ Influent STEU Kerran (n=6)	(23)	(51)	(37)	(35)	-	(43)	(22)	AQTA, 2019
Eaux unitaires									
EUTP	Paris unitaire - Clichy (n=4)	[20]	[310]	[120]	[230]	[80]	[120]	[120]	Zgheib, 2009
	Paris/ unitaire (n=13)	[<20]	[140]	[60]	[80]	[40]	[50]	[40]	Gasperi et al., 2011
	Paris/ unitaire (n=13)	[<20]	-	[60]	[60]	[80]	[50]	[40]	Gasperi et al., 2008
	Lyon/ résidentiel (n =7)	[43]	[91]	-	[50]	[24]	-	-	Becouze-Lareure, 2010
	Paris/ Zone urbaine	Σ6HAPs : 570 à 1180							Blanchard et al., 2007
	Nantes/ Zone résidentielle	Σ15HAPs : [110]							Lampréa et Ruban 2011
Nantes / Gohards	Σ15HAPs : [860]							"	

*Non-significatif ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 28 - Flux des HAP sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substances*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
Anthracène			
Benzo (a) pyrène			
Benzo (b) fluoranthène			
Benzo (g,h,i) pérylène			
Benzo (k) fluoranthène			
Fluoranthène			
Indéno (1,2,3-cd) pyrène			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

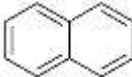
²³ Σ13HAP : Fluorène, Phénanthrène, ANT, Fluo, Pyrène, Benzo(a)anthracène, Chrysène, BbF, BkF, BaP, IcdP, Σ6HAP : Dibenzo(ah)anthracène, BghiP, Fluo, BaP, BbF, BkF, BghiP et IcdP

FICHE n°10 – Naphtalène

Fiche d'identité

Le naphtalène (NAPH) est un hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP) pétrogénique à deux cycles benzéniques, un constituant du goudron de houille (11 %) et du pétrole brut (1,3 %) et de ses dérivés (HCSP, 2012 ; SDAGE, 2016). Le naphtalène, semi-volatil, est principalement utilisé comme intermédiaire dans la fabrication d'anhydride phtalique servant à produire des phtalates, des plastifiants, des résines synthétiques et des teintures. Longtemps utilisé comme antimite domestique, son utilisation comme biocide et insecticide est désormais interdite depuis juillet 2009. Sa présence dans l'environnement est essentiellement liée à une pyrolyse incomplète. Le naphtalène fait partie de la liste des substances prioritaires dans le domaine de l'eau (Directive n° 2013/39/UE) et est classé en tant que substance cancérogène de catégorie 3 par l'Union Européenne et dans le groupe 2B par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) (Afsset, 2009).

Tableau 29 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques du NAPH.

Substance	Naphtalène
N° CAS	91-20-3
N° SANDRE	1517
Formule	C ₁₀ H ₈ 
M (g/mol)	128,18
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	31,8
Log K _{ow}	3,7
Log K _{oc}	3,1
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	44,86
Persistance eau douce (t _{1/2} en j)	-
NQE- MA (µg/L)	2
NQE-CMA (µg/L)	130
CE ₅₀ (mg/L)	Algues 2,82 Invertébrés 1,0 Poissons 1,6

Liste des usages du naphtalène et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
NAPH	Multiple	Industrie	<ul style="list-style-type: none"> - Intermédiaire de synthèse des répulsifs, produits pharmaceutiques, désinfectants, désodorisants, antiseptique, microbicide, parfums de synthèse, etc. - Fabrication de produits destinés au traitement du bois (créosote) - Intermédiaire chimique dans la production des tensio-actifs (sulfonates de naphtalène et dérivés utilisés comme dispersants ou agents mouillants en peinture, teinture) - Fabrication de poudre sans fumée - Fuites d'hydrocarbures - Combustion de la matière organiques (échappement de véhicules, feu de bois, ...) 	EUND, ER

Tableau 30 - Concentrations de naphtalène (µg/L) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	NAPH	Références
RA	Région parisienne / Sucy	[0,06]	Projet INOGEV
ER	Région parisienne / ruissellement de voiries et parking (4 sites)	[0,01] à [0,07]	Projet Roulépur
EPS	Paris/ Zone urbaine dense (n=4)	[0,13]	Zgheib, 2009
	Paris/ Zone urbaine très dense (n=4)	[0,12]	“
	Région parisienne / résidentiel (n=8)	[0,10]	Projet INOGEV
	Lyon/ Zone industrielle	[0,145]	Sebastian, 2013
	Nantes/ zone résidentielle	[0,15]	Projet INOGEV
Eaux usées			
EUD	France/ Rejets domestiques (n=39)	(0,19)	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUND	France/ Rejets industriels variés (n=723)	(88,1)	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUR	Paris/ Influent SIAAP		
	STEU SAV (n=6)	(0,226)	Cette étude RSDE
	STEU SEC (n=6)	<LQ]	“
	STEU MAV (n=6)	(0,044)*	“
	STEU SEM (n=6)	(0,214)*	“
	STEU SEV (n=4)	(0,130)	“
	STEU SEG (n=6)	(0,039)*	“
	Paris/ EUTS (n=10)	<LQ	Gasperi et al., 2008
	Paris unitaire -Clichy (n=3)	[0,059]	Zgheib, 2009
	Paris/ EUTS-séparatif (n=3)	[0,103]	“
Saint-Philibert (56)/ Influent STEU Kerran (n=6)	(59,0)	AQTA, 2019	
Eaux unitaires			
EUTP	Paris unitaire -Clichy (n=4)	[0,060]	Zgheib, 2009
	Paris/ unitaire (n=13)	<LQ	Gasperi et al., 2008

*Non-significatif ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 31 - Flux de naphtalène sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substance*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
Naphtalène			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

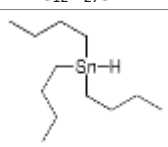
FICHE n°11 – Tributylétains

Fiche d'identité

Les tributylétains (TBT)²⁴ ont une toxicité aiguë pour les végétaux, les invertébrés et les poissons, posant ainsi un sérieux problème dans les milieux aquatiques (Yvon, 2008). Les produits de dégradation du TBT dans l'environnement sont le dibutylétain (DBT) et le monobutylétain (MBT). Ces substances, également toxiques, ont toutefois une toxicité moindre comparée au TBT (Greaud-Hoveman *et al.*, 2008). Cette substance est un puissant perturbateur endocrinien pour les gastéropodes aquatiques.

- **TBT :**
 - Substance active de la famille des organoétains ;
 - Soluble dans l'eau ;
 - Dégradation par photolyse ;
 - Forte adsorption sur matières en suspension ;
 - Accumulation importante dans sédiments (>mg/kg) ;
 - Persistance > 10 ans sous condition anoxique ;
 - Bioaccumulation chez les invertébrés filtreurs ;
 - Usage interdit depuis 2003 ;
 - Ajouté à la liste prioritaire des substances dangereuses depuis 2013.

Tableau 32 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des TBT.

Substance	TBT
N° CAS	36643-28-4
N° SANDRE	2879
Formule	C ₁₂ H ₂₇ Sn ⁺
	
M (g/mol)	291,04
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	18
Log K _{ow}	3,8
Log K _{oc}	3,57
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	-
Persistance eau douce (t _{1/2} en j)	360-775
NQE- MA (µg/L)	0,0002
NQE-CMA (µg/L)	0,0015
CE ₅₀ (µg/L)	Algues 5
	Invertébrés 0,03
	Poissons 0,69

²⁴ Stannane, tri-n-butyl-, hydride;Stannane, tributyl-;Tin, tri-n-butyl-, hydride;Tri-n-butylstannane hydride;Tributylstannane;Tributylstannic hydride;Tributyltin;Tributyltin hydride

Liste des usages des TBT et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
TBT	Biocide	Construction navale	- Peintures antisalissure (<i>antifouling</i>) des coques de bateau ²⁵	ER
	Fongicide	Industrie	- Fabrique de textiles/de cuir (Zgheib, 2009) - Papeterie - Traitement du bois ² - Brasseries	EUND, EUD
		Hôpitaux	- Produits pharmaceutiques	EUND, EUD, ER

Tableau 33 - Concentrations de TBT (ng/L) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	TBT	Références
RA	-	-	-
ER	Paris / voiries et parking (4 sites, n=2)	<LQ	Projet Roulépur
EPS	Paris/ Péri-urbain (n=6)	[<LQ]	Zgheib, 2009
	Paris/ Urbain dense (n=4)	(60)	"
	Paris/ Péri-urbain dense (n=4)	[<LD]	"
Eaux usées			
EUD	-	-	-
EUND	Paris/ Rejets industriels variés	(4 340)	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUR	Paris/ Influent SIAAP		
	STEU SAV (n=6)	(12)	Cette étude RSDE
	STEU SEC (n=6)	[<LD]	"
	STEU MAV (n=6)	[<LD]	"
	STEU SEM (n=6)	[<LD]	"
	STEU SEV (n=4)	[<LD]	"
	STEU SEG (n=6)	[<LD]	"
	Paris/ EUTS (n=10)	[<5]	Gasperi et al., 2008
	Paris unitaire - Clichy (n=4)	[<LD]	Zgheib, 2009
	Paris/ EUTS-séparatif (n=3)	[83]	"
Saint-Philibert (56)/ Influent STEU Kerran (n=6)	[<LD]	AQTA, 2019	
Eaux unitaires			
EUTP	Paris unitaire - Clichy (n=4)	[30]	Zgheib, 2009
	Paris/ unitaire (n=13)	[< 5]	Gasperi et al., 2008 ; 2011

*Non-significatif ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 34 - Flux de TBT sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substance*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
Tributylétain cation			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

²⁵ La convention « Anti-fouling Systems on Ships » (AFS), convention de l'Organisation Maritime Internationale (OMI) sur le contrôle des systèmes antisalissures nuisibles sur les navires, adoptée en 2001, est entrée en vigueur en septembre 2008. L'interdiction sur les composés organostanniques sur les navires a été ratifiée par le Règlement CE/782/2003 du Parlement européen.

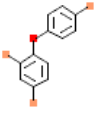
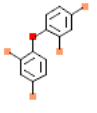
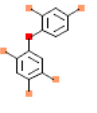
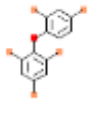
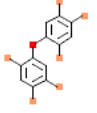
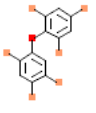
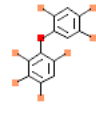
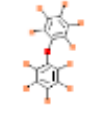
FICHE n°12 – Polybromodiphényléthers

Fiche d'identité

Les polybromodiphényléthers²⁶ (PBDE) sont une famille de 209 isomères synthétisés industriellement, constitués de deux cycles benzéniques pontés par une fonction éther. Chaque cycle benzénique peut comporter jusqu'à cinq atomes de brome (Br). Bien qu'un seul type de molécule ne soit synthétisé à la fois, il est toutefois possible d'obtenir un mélange de molécules ayant des degrés de bromation différents (tétra-, penta-, octo- et, déca-BDE) (AESN and Aquascop, 2008 ; Gasperi, 2013 ; Lamprea-Bretaudeau and Gromaire, 2018). Les PBDE sont des perturbateurs endocriniens potentiels, révélés cancérogènes (Muresan et al., 2010). Ces molécules sont peu volatiles, peu solubles, stables, persistantes, lipophiles et classées comme dangereuses prioritaires (DCE 2006). Cependant, il est à noter que les PBDE moins bromés sont légèrement plus solubles dans l'eau (Lamprea-Bretaudeau and Gromaire, 2018). Leurs valeurs des constantes d'Henry tendent à diminuer avec le nombre d'atomes de brome (Tittlemier et al., 2002).

Les PBDE présentent en général un très fort potentiel d'adsorption aux particules, sols, sédiments et boues (log K_{ow} élevés) (Gilbert-Pawlik, 2012 ; Lamprea-Bretaudeau and Gromaire, 2018). Les 5 PBDE de #28, #47, #99, #100 et #209 sont plus fréquemment détectés dans la littérature comparée aux autres PBDE (#153, #154, et #183), ce qui est en accord avec les mélanges commerciaux penta-, octa- et déca-mix (Gasperi et al., 2017). Olofsson et al. (2010) ont détecté uniquement les BDE#47 et BDE#99 en phase dissoute. Tous ces BDE sont des substances dangereuses prioritaires (SDP, Tableau 1) hormis #183 et #209 qui ne sont pas classés.

Tableau 35 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des PBDE.

Substance	BDE-28	BDE-47	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154	BDE-183	BDE-209
N° CAS	41318-75-6	5436-43-1	60348-60-9	189084-64-8	68631-49-2	207122-15-4	207122-16-5	1163-19-5
N° SANDRE	2920	2919	2916	2915	2912	2911	2910	1815
Formule	C ₁₂ H ₇ Br ₃ O	C ₁₂ H ₆ Br ₄ O	C ₁₂ H ₅ Br ₅ O	C ₁₂ H ₅ Br ₅ O	C ₁₂ H ₄ Br ₆ O	C ₁₂ H ₄ Br ₆ O	C ₁₂ H ₃ Br ₇ O	C ₁₂ Br ₁₀ O
								
M (g/mol)	406,89	485,79	564,7	564,7	643,6	643,6	722,5	959,2
Solubilité eau (mg/L) ²⁷	0,0001 à 0,0133						-	-
Log K_{ow}	4,28 -5,94	6,01 à 6,81	7,32 à 7,25	6,53 à 7,24	7,9 à 8	7,82 à 9,4	8,27	6,27
K_H (Pa.m ³ /mol) ²	-	-	-	-	-	-	-	0,04
NQE- MA (µg/L)	0,000 5						-	-
NQE-CMA (µg/L)	0,014						-	-
CE ₅₀ (mg/L)					Algues 0,07			
					Daphnies 0,014			

²⁶ diphényléthers bromés, éthers diphényliques polybromés

²⁷ à 20°C

Seuls trois types de PBDE sont commercialisés pour leurs propriétés ignifuges (AESN and Aquascope, 2008) :

- **Le penta-BDE**, mélange commercial des congénères BDE #47, #99, #100, #153 et #154, fait partie de la liste des substances dangereuses prioritaires (EU, 2001) ;
- **L'octa-BDE**, mélange commercial de plusieurs congénères BDE y compris #153, #154, #183 et #209, est classé sur la liste des substances prioritaires. Les concentrations de penta- et d'octa-BDE sont limitées à 0,1 % en masse (Directive 2003/11/CE).
- **Le déca-BDE**, congénère entièrement bromé #209 et le plus utilisé des trois types de PBDE commerciaux, est inscrit depuis le 28 avril 2017 sur la liste des polluants organiques persistants. En tant que constituant d'un mélange, sa concentration ne peut être supérieure à 0,1 % en poids.

Liste des usages des PBDE et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
Penta-BDE	Retardateur de flammes	Chimie	- Résines époxy, résines phénoliques, résines polyesters insaturées, polychlorure de vinyle - Peintures et laques, caoutchouc - Câbles et fils (ECB 2000, INERIS 2005b)	EUND
		Textile	- Revêtements de bobinages et de tissus, moules et semelles de chaussure (Stockholm 2007).	EUND, EUD
Octa-BDE	Produit ignifuge	Industrie, Domestique	- Résines d'acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS) dans les équipements de bureautique et les appareils électroménagers domestiques (INERIS, 2006b)	EUND, EUD
Déca-BDE	Retardateur de flammes Équipements électriques et électroniques Agent ignifuge	Chimie	- Plastiques et polymères haute-densité : isolants, câbles, fils, boîtiers électriques... (ECB, 2007 ; Gilbert-Pawlik, 2012 ; Lampréa-Bretauudeau et Gromaire 2012)	EUND, EUD
		Textile	- Rembourrage de meubles, canevas de tapis	EUD

Tableau 36 - Concentrations des PBDE (ng/L) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	#28	#47	#99	#100	#153	#154	#183	#209	Réf.
RA	Paris/ Centre-ville, FD (n=8)	Σ8 PBDE : (6)								Muresan et al., 2010
	Paris/ Urbain dense (n=25)	Σ8 PBDE : (38)								Tlili et al., 2012
ER	Paris / voiries et parking (4 sites, n= 2)	[0,03] - [0,11]	[0,13]- [0,27]	[0,25] - [0,47]	[0,07] - [0,08]	[0,05]- [0,07]	[0,04]- [0,06]	-	[9]- [32]	Projet Roulépur (Gromaire et al., 2022)
EPS	Paris/ Zone urbaine, Fraction dissoute (n=13)	Σ8 PBDE : (95)								Muresan et al., 2010
	Paris/ Résid. (n=12)	[0,04]	[0,8]	[0,7]	[0,4]	[0,1]	[0,0]	[0,2]	[42]	Projet INOGEV (Gromaire et al., 2021)
	Nantes/ Résid. (n=7)	[0,1]	[0,8]	[0,6]	[0,2]	[0,2]	[0,0]	[0,4]	[501]	
Lyon/ Indust. (n=2)	[0,3]	[6,4]	[2,2]	[2,0]	[0,6]	[0,0]	[2,2]	[151]		
Eaux usées										
EUD	France/ Rejets domestiques (n=7)	Σ8 PBDE : [3]								Greaud-Hoveman et al., 2008
EUND	France/ Rejets industriels (n=229)	Σ8 PBDE : (180)								Greaud-Hoveman et al., 2008
EUR	France/ Zone urbaine (n=8)	(2600)	(920)	(390)	(390)	(<LQ)	(<LQ)	< 50	(300)	Martin-Ruel et al., 2010
	Paris/ Influent SIAAP									Cette étude " " " " " "
	STEU SAV (n=6)	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	(284)	(284)	
	STEU SEC (n=6)	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	*	(72)	
	STEU MAV (n=6)	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	(72)*	(505)	
	STEU SEM (n=6)	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	(505)	(631)	
	STEU SEV (n=4)	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	*	(188)	
	STEU SEG (n=6)	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	(631)	(63)	
Saint-Philibert (56)/ Influent STEU Kerran (n=6)	-	-	-	-	-	-	[<LQ] (63)*	[<LQ]	AQTA, 2019	
Eaux unitaires										
EUTP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Non-significatif ; [médiante] ; (moyenne)

Tableau 37 - Flux du BDE#209 sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substance*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
BDE#209			

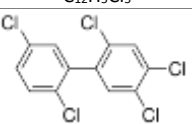
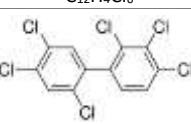
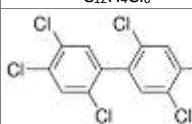
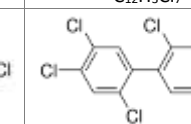
*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

FICHE n°13 – Polychlorobiphényles

Fiche d'identité

Les PolyChloroBiphényles (PCB) sont des composés aromatiques chlorés synthétisés, composés de 2 noyaux phényles, chacun pouvant comporter jusqu'à 5 atomes de chlore en substitution des atomes d'hydrogène (DRIEE, 2013). Il existe donc 10 degrés de chloration différents qui donnent théoriquement 209 congénères (Dargnat et Fisson, 2010). Chaque PCB est ainsi usuellement défini par un numéro entre 1 et 209. Cependant en réalité, la teneur en chlore du mélange de congénères formés varie entre 21 et 68 %, permettant la synthèse d'environ 150 congénères différents (AESN and Aquascope, 2008). Les formulations les plus courantes avaient pour nom commercial "Pyralène" et "Aroclor" (AESN and Aquascope, 2008). Les PCB « indicateurs » (PCBi) représentent la somme des 7 congénères ($\Sigma 7$) les plus fréquemment rencontrés dans l'environnement, à savoir les PCB #28, #52, #101, #118, #138, #153 et #180. Cette somme est parfois réduite à 6 congénères ($\Sigma 6$), avec PCB #118 alors exclu car son action toxique est similaire à celui des dioxines. Tous les PCB hormis le #52 sont classés comme substances dangereuses prioritaires mais font aussi partie des substances pertinentes au titre du programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques (Greaud-Hoveman et al., 2008). Les PCB sont en général hautement bioaccumulables dans la chaîne alimentaire, et ses congénères fortement chlorés sont difficilement biodégradables (AESN and Aquascope, 2008). En France, depuis l'arrêté du 8 juillet 1975, l'usage des PCB est soit interdit, soit toléré dans certains systèmes clos permettant leur récupération. Mais leur totale interdiction est arrivée en 1987²⁸ au niveau national. Leur mise sur le marché est interdite depuis 1987 et tous les équipements en contenant devront avoir disparu en 2010 (AESN and Aquascope, 2008 ; DRIEE, 2013).

Tableau 38 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des PCB.

Substance	#101	#138	#153	#180								
N° CAS	37680-73-2	35065-28-2	35065-27-1	35065-29-3								
N° SANDRE	7431 ($\Sigma 7$) ²⁹ ou 6157 ($\Sigma 6$) ³⁰											
Formule	C ₁₂ H ₅ Cl ₅ 	C ₁₂ H ₄ Cl ₆ 	C ₁₂ H ₄ Cl ₆ 	C ₁₂ H ₃ Cl ₇ 								
M (g/mol)	326,43	360,9	360,9	395,3								
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	0,007 à 5,9											
Log K _{ow}	5,68 à 6,8	7,26 à 7,44	6,34 à 7,23	7,70 à 7,72								
Log K _{oc}	5,22	-	-	-								
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	9,0 x 10 ⁻⁰⁵	2,1 x 10 ⁻⁰⁵	2,3 x 10 ⁻⁰⁵	1,0 x 10 ⁻⁰⁵								
Persistence eau douce (t _{1/2} en j)	-	-	-	-								
NQE- MA (mg/L)	Néant											
NQE-CMA (mg/L)	Néant											
CE ₅₀ (mg/L)	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;">Algues</td> <td style="width: 25%;">0,09 (#28) à >35,78 (#153)</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Crustacés</td> <td>0,002</td> <td></td> </tr> </table>					Algues	0,09 (#28) à >35,78 (#153)			Crustacés	0,002	
	Algues	0,09 (#28) à >35,78 (#153)										
	Crustacés	0,002										

²⁸ Arrêté 8 juillet 1975 Restrictions d'usages ; décret 2 février 1987 Interdiction de mise sur le marché ; directive 96/59/CE élimination des PCB et polychloroterphényles

²⁹ $\Sigma 7$ congénères = 28+52+101+118+138+153+180

³⁰ $\Sigma 6$ congénères = 28+52+101+138+153+180

Liste des usages des PCB et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
PCB	Multiple	Industrie	- Transformateurs électriques et condensateurs - Lubrifiants et ignifugeants - Huiles de coupe - Peintures et encres	EUND

Tableau 39 - Concentrations des PCB (ng/L) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	#101	#138	#153	#180	Réf.
RA	Paris/ RA total (n=2)	[1]	[0,3]	[0,3]	[0,3]	Zgheib, 2009
	Paris/RA total, 1999-2000	(5,8)	(2,1)	(3,6)	(3,0)	Blanchard et al., 2004
	Paris/ Urbain, 1999-2003 (n=22) Paris/ RA total, 2011 (n=15)	¹ Σ7 PCB : (3,7) ¹ Σ7 PCB : [6,3]				Blanchard et al., 2007 Bressy, 2010
ER	Paris/ Ruissell. Bâtiments (n=9)	¹ Σ7 PCB : [6,4]				Bressy, 2010
	Paris/ Ruissell. Voirie (n=2)	¹ Σ7 PCB : (15)				"
	Paris/ Zone urbaine (n=11 ; 1 ha)	¹ Σ7 PCB : [5,2]				"
EPS	Paris/ Pluvial strict (n=16)	[33]	[48]	[48]	[37]	Zgheib, 2009
	Paris/ Péri-urbain (n=8)	[16]	[66]	[66]	[15]	"
	Paris/ Urbain dense (n=4)	[36]	[41]	[41]	[37]	"
	Paris/ Urbain très dense (n=4)	[59]	[86]	[87]	[86]	"
	Paris/ Urbain dense (n=6)	(29)	(41)	(42)	(37)	"
Eaux usées						
EUD	France/ Rejets urbains	(20)	(6)	(3)	-	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUND	France/ Rejets industriels	(130)	(190)	(220)	(190)	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUR	Paris/ Urbain 1999-2003	¹ Σ7 PCB : (20,5)				Blanchard et al., 2007
	Paris/ STEU SAV, 1999-2000	¹ Σ7 PCB : (22)				Blanchard et al., 2004
	Paris unitaire -Clichy (n=4)	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	Zgheib, 2009
	Paris/ EUTS-séparatif (n=4)	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	"
	Paris/ Influent SIAAP					
	STEU SAV (n=6)	(16)*	(16)	(16)	(16)	Cette étude RSDE
	STEU SEC (n=6)	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	"
	STEU MAV (n=6)	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	"
	STEU SEM (n=6)	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	"
	STEU SEV (n=4)	[<LQ]	[<LQ]	(0,03)*	[<LQ]	"
STEU SEG (n=6)	(2)*	(2)*	(2)*	(2)	"	
	Saint-Philibert (56)/ Influent STEU (n=6)	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	AQTA, 2019
Eaux unitaires						
EUTP	Paris unitaire - Clichy (n=4)	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	[<LQ]	Zgheib, 2009
	Paris/ Zone urbaine 1999-2003	¹ Σ7 PCB : (53)				Blanchard et al., 2007

*Non-significatif ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 40 - Flux des PCB sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substances*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
PCB 101			
PCB 138			
PCB 153			
PCB 180			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

FICHE n°14 – Pesticides

Fiche d'identité

Les pesticides regroupent les produits phytopharmaceutiques (herbicides, fongicides, etc.) et les produits biocides (désinfectants ménagers, peintures antisalissure, etc.). Ils sont majoritairement hydrophiles ($\log K_{ow} < 4$) et hautement toxiques pour la santé humaine. Les conséquences associées à une exposition prolongée aux pesticides sont l'augmentation de l'incidence du cancer, des perturbations endocriniennes, des malformations congénitales et des mutations génétiques.

- **Le diuron³¹** :
 - Substance active de la famille des urées substituées ;
 - Herbicide le plus utilisé, faible solubilité mais forte persistance (Adnadevic et al., 2019) ;
 - Faible tendance à l'adsorption sur les particules (faible $\log K_{ow}$) ;
 - Lente dégradation dans l'eau via l'hydrolyse et la photolyse ;
 - Produits de dégradation cancérigènes sur la liste de l'UE des perturbateurs endocriniens à prédominance dangereuse (Cruz-Alcalde et al., 2018) ;
 - Produits phytopharmaceutiques contenant du diuron interdits en France depuis 2002 ;
- **Le dichlorvos³² (DDVP)** :
 - Substance active utilisée depuis 1955 (Oridupa et al., 2020) ;
 - Pesticide organophosphoré très toxique pour les humains et les mammifères ;
 - Classifié comme très dangereux par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) ;
 - Retiré de la liste des insecticides approuvés de l'UE (Sahithya et al., 2017 ; Cruz-Alcalde et al., 2018 ; Bustos et al., 2019) ;
 - Accumulation dans les plans d'eau après lessivage des sols agricoles (haute solubilité et faible hydrolyse) ;
 - Substance interdite en France depuis 2008 (JO du 28 mars 2008) ;
 - Retiré du marché depuis décembre 2012³³ ;
 - Introduit depuis 2013 dans la liste des substances prioritaires.
- **L'heptachlore³⁴ (HEP) et l'époxyde d'heptachlore** :
 - Substances actives de la famille des organochlorés (insecticides) ;
 - Sur liste de l'annexe X des polluants prioritaires fixée par la DCE (2000/60/CE, objectif de suppression de rejet 2021) ;
 - En 2013, ajout à la liste des substances dangereuses prioritaires (objectif de suppression final en 2033) ;
 - L'heptachlore est insoluble dans l'eau ;
 - Synthétisé pour la première fois en 1946 ; retiré du marché en 1992 ;
 - Classé dans les pesticides ne pouvant plus être utilisés pour la production agricole ;
 - Très persistant dans le sol, où il est principalement transformé en son époxyde.

³¹ N-(3,4-dichlorophenyl)-N,N-dimethyl-urea; 1,1-Dimethyl-3-(3,4-dichlorophenyl)urea;1-(3,4-dichlorophenyl)-3,3-dimethylurea;1-(3,4-dichlorophenyl)-3,3-dimethyluree;3-(3,4-Dichlor-phenyl)-1,1-dimethyl-harnstoff;3-(3,4-Dichlorophenol)-1,1-dimethylurea;3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea;AF 101;Cekiuron;Crisuron;Dailon;DCMU;Di-On;Diater;...

³² 2,2-dichlorovinyl dimethyl phosphate ; O-2,2-dichlorovinyl-O,O-dimethyl phosphate; Phosphoric acid, 2,2-dichloroethenyl dimethyl ester;(2,2-Dichloro-vinyl)-dimethyl-fosfaat; (2,2-Dichloro-vinyl)-dimethyl-phosphat (German);(2,2-Dichloro-vinyl)-dimethyl-phosphat;(2,2-Dichloro-vinyl)dimetil-fosfato;2,2-Dichloroethenol dimethyl phosphate;2,2-Dichloroethenyl dimethyl phosphate;2,2-Dichloroethenyl phosphoric acid dimethyl ester;2,2-Dichlorovinyl alcohol dimethyl phosphate;Apavap;Astrobot;Atgard;...

³³ 12 Décision n° 2012/254/UE du 10/05/2012 concernant la non-inscription du dichlorvos pour le type de produits 18 à l'annexe I, I A ou I B de la directive 98/8/CE du Parlement européen et du Conseil concernant la mise sur le marché des produits biocides.

³⁴ 1,4,5,6,7,8,8-heptachloro-3a,4,7,7a-tetrahydro-4,7-méthanoindène; 3,4,5,6,8,8a-Heptachlorodicyclopentadiène; methano-1H-indene; 1,4,5,6,7,10,10-Heptachloro-4,7,8,9-tetrahydro-4,7-méthylèneindène; 1,4,5,6,7,8,8-Heptachlor-3a,4,7,7,7a-tetrahydro-4,7-endo-méthanoindène; 3,4,5,6,7,8,8-Heptachlorodicyclopentadiène;3-CHLOROCHLORDENE;...

Tableau 41 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques des PEST.

Substance	Diuron	DDVP	HEP
N° CAS	330-54-1	62-73-7	76-44-8
N° SANDRE	1177	1170	1197
Formule	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O	C ₄ H ₇ Cl ₂ O ₄ P	C ₁₀ H ₅ Cl ₇
M (g/mol)	233,1	220,9	373,34
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	35	18000	0,18
Log K _{ow}	2,8	1,9	6,1
Log K _{oc}	2,5 à 3,0	1,7	4,4 à 4,7
K _H (Pa.m ³ /mol)	35	0,03	29,79
Persistance eau douce (t _{1/2} en j)	90	1,3	0,73
NQE- MA ³⁵ (µg/L)	0,2	0,0006	2x10 ⁻⁷
NQE-CMA (µg/L)	1,8	0,0007	3x10 ⁻⁴
CE ₅₀ (µg/L)	Cyanobactéries 30,9 Algues vertes 19 Daphnies 1400	Algues 1,4x10 ⁵ Invertébrés 0,07 Poissons 170	Algues 28 Crevettes 0,03 Poissons 0,86

Liste des usages des pesticides et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
Diuron	Herbicide	Espaces urbains	- Désherbage des routes et voies ferrées, jardins publics et privés	ER, EUD
	Biocide	Construction navale	- Peintures antisalissure (<i>antifouling</i>) des coques de bateau	ER
		Bâtiment	- Protection des toits et façades	EUND, ER
DDVP	Pesticide	Agriculture Elevage	- Acaricide dans stockage des céréales (ANSES, 2018) - Antiparasite chez le bétail et animaux domestiques (Cruz-Alcalde et al., 2018)	ER
HEP	Insecticide	Bâtiment, Domestique	- Protection du bois et lutte contre les termites (ANSES, 2018)	ER

³⁵ NQE dans les eaux douces de surface et eaux côtières et de transition selon les normes générales de l'arrêté du 2013

Tableau 42 - Concentrations des pesticides (ng/L) dans les eaux urbaines.

Eaux	Lieu/Site	Diuron	DDVP	HEP	Réf.
Eaux pluviales					
RA	Paris (n=3), 2011	< 20]	-	-	Zgheib, 2009
	Nantes (n=4), 2007/2008	< 20]	-	-	Lamprea, 2009
	Paris, eau de pluie, FD	[0,98]	-	-	Pajjens et al., 2020
	Strasbourg/zone urbaine	< LQ à 1 025	-	-	Scheyer et al. 2007
ER	Nantes/ toitures** (n=6), 2007/2008	< LQ	-	-	Lamprea, 2009
	Paris/ Zone résidentielle (n=3)	(60)	-	-	Bressy, 2010
EPS	Paris/Urbain dense (n=6)	(513)	-	-	Zgheib et al., 2011
	Paris/ Bassin de rétention des eaux pluviales, FD	[32]	-	-	Pajjens et al., 2020
	Paris/ Nantes/ Lyon (n=4 à 6)	[447] / [527] / [6]	-	-	Projet INOGEV (Gromaire et al. 2021)
Eaux usées					
EUD	France/ Rejets urbains (n=74)	(1 320)	-	-	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUND	France/ Rejets industriels (n=245)	(8 850)	-	-	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUR	Paris/ Influent Seine centre (FD)	(18,4)	-	-	Pajjens et al., 2020
	Saint-Philibert (56)/ Influent STEU Kerran (n=6)	(43)	-	-	AQTA, 2019
	Clichy/ Unitaire TS (n=4)	[60]	-	-	Zgheib, 2009
	Paris/ Influent SIAAP				
	STEU SAV (n=6)	(101)	(57)	(143)	Cette étude RSDE
	STEU SEC (n=6)	<LQ]	(43)	(40)	"
	STEU MAV (n=6)	(73)	<LQ]	<LQ]	"
	STEU SEM (n=6)	(67)*	(160)	(190)	"
	STEU SEV (n=4)	(76)	(100)	<LD]	"
STEU SEG (n=6)	(32)	(36)*	<LQ]	"	
Eaux unitaires					
EUTP	Paris/ unitaire (n=13)	[1 400]	-	-	Gasperi et al., 2011
	Paris/ (FD)	[200]	-	-	Pajjens et al., 2020
	Paris/Clichy	[100]	-	-	Pajjens et al., 2021

*Non-significatif ; ** toitures bitume, tuile, tôle en zinc et ardoise ; FD : Fraction dissoute ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 43 - Flux des pesticides sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substances*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
Dichlorvos			
Diuron			
Heptachlore			

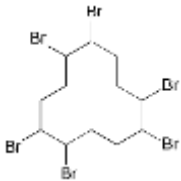
*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

FICHE n°15 – Hexabromocyclododécane

Fiche d'identité

L'hexabromocyclododécane (HBCDD ou HBCD) est un groupe de substances comportant plusieurs isomères, dont les principales sont les isomères α -, β - et γ -HBCD, avec γ -HBCD étant l'isomère majoritaire. L'HBCDD est un produit ignifuge bromé, utilisé pour ralentir l'inflammation et la propagation du feu. Ce sont des molécules lipophiles et toxiques pour les animaux et l'être humain. Depuis 2013, l'HBCDD est intégré à la liste des substances prioritaires et il fait partie de l'annexe A de la Convention de Stockholm comme Polluant Organique Persistant.

Tableau 44 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques de HBCDD.

Substance	HBCDD
N° CAS	25637-99-4
N° SANDRE	7128 (Σ α , β , γ)
Formule	$C_{12}H_{18}Br_6$
	
M (g/mol)	641,7
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	0,003
logK _{ow}	5,62
logK _{oc}	4,66
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	0,75
Persistance eau douce (t _{1/2} en j)	-
NQE- MA (µg/L)	0,001 6
NQE-CMA (µg/L)	0,5
CE ₅₀ (mg/L)	Algues > 0,002 5
	Daphnies > 0,003 2
	Poissons > 0,006 8

Liste des usages des HBCDD et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
HBCDD	Ignifuge	Industrie	- Additif dans matériaux textiles, tissus de rembourrage, tapissage automobile (Munsch et al., 2015) - Equipements électriques et électroniques (INERIS, 2011) - Fabrication des polystyrènes expansés (EPS) ou extrudés (XPS) : concentrations d'environ 0,6% (EPS) et 3,9% (XPS)	EUND

Tableau 45 - Concentrations de HBCDD ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	HBCDD	Réf.
RA	-	-	-
ER	Paris / voiries et parking (4 sites, n= 2 à 4)	[0,001] - [0,01]	Projet Roulépur (Gromaire et al 2022)
EPS	-	-	-
Eaux usées			
EUD	-	-	-
EUND	-	-	-
EUR	Paris/ Influent SIAAP		
	STEU SAV (n=6)	(0,046)*	Cette étude RSDE
	STEU SEC (n=6)	(0,197)	“
	STEU MAV (n=6)	[<LQ]	“
	STEU SEM (n=6)	(0,100)	“
	STEU SEV (n=4)	(0,032)*	“
	STEU SEG (n=6)	(0,036)*	“
	Saint-Philibert (56)/ Influent STEU Kerran (n=6)	(0,038)	AQTA, 2019
Eaux unitaires			
EUTP	-	-	-

*Non-significatif ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 46 - Flux de HBCDD sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substance*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
HBCDD			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

FICHE n°16 – Di-2-éthylhexyl-phtalate

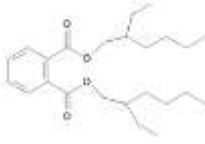
Fiche d'identité

Les phtalates (esters de l'acide phtalique) sont des substances de synthèse entrant notamment dans la composition des matières plastiques (AESN and Aquascop, 2008). Le DEHP (di-2-éthylhexyl-phtalate) appelé aussi DOP (di-sec-octyl phtalate) est un ester ramifié et un des phtalates le plus utilisé. Parmi les autres composés fréquents, on retrouve le DINP (di-isononyl phtalate), le DMP (di-méthyl-phtalate), le DEP (Di-éthyl phtalate), le DnBP (di-n-butyl phtalate) et le BBP (butyl-benzyl phtalate). Le DEHP figure dans la liste des substances dangereuses prioritaires de la DCE, directive 2013/39/UE54 (AESN and Aquascop, 2008).

En accord avec les divers règlements qui limitent ou interdisent son usage en Europe, la production de DEHP est en très forte décroissance (ONEMA and INERIS, 2016) :

- Interdit dans tous les jouets et les articles de puériculture (directives européennes 2005/84/EC et 2009/48/EC) ;
- Prohibée dans les cosmétiques (décision 2003/819/CE) ;
- Usage restreint dans les emballages alimentaires (règlements (EC) No 1935/2004 et (EU) 10/2011).

Tableau 47 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques du DEHP.

Substance	DEHP
N° CAS	117-81-7
N° SANDRE	6616
Formule	C ₂₄ H ₃₈ O ₄
	
M (g/mol)	390,6
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	0,003
Log K _{ow}	7,5
Log K _{oc}	5,22
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	4,43
Persistance eau douce (t _{1/2} en j)	-
NQE- MA (µg/L)	1,3
NQE-CMA (µg/L)	-
CE ₅₀ (mg/L)	-

Liste des usages des DEHP et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
DEHP	Plastifiant des poly-chlorures de vinyle (PVC souples)	Industrie	- Adhésifs, emballages, rideaux de douche, bottes, peintures, gommes, encres, lubrifiants, fluides diélectriques, traitement de surface (AESN and Aquascop, 2008 ; Gasperi, 2013)	EUND
		Hospitalier	- Ustensiles plastiques et PVC (Teil et al., 2006)	EUND
		Domestique	Matériaux et revêtements de sol en PVC (ONEMA and INERIS, 2016)	EUD
		Bâtiment	- Matériaux polymériques (PVC, PEHD)	ER
		Transports	- Carrosserie automobile, pneumatiques, échappement	ER

Tableau 48 - Concentrations du DEHP (µg/L) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	DEHP	Références
RA	Paris/ Eau de pluie	0,42	Teil et al., 2006
	Paris/ Retombées totales (n=1)	5	Zgheib, 2009
ER	Paris / voirie et parking (4 sites, n= 4 à 13)	[5] - [47]	Projet Roulépur (Gromaire et al. 2022)
EPS	Région parisienne (n=14, 3 sites) – pluvial strict	[22]	Zgheib et al., 2009
	Péri-urbain (n=6)	[13]	“
	Urbain dense (n=4)	[28]	“
	Urbain très dense (n=4)	[27]	“
Eaux usées			
EUD	Rejets urbains (n=37)	(55,13)	Greaud-Hoveman et al., 2008
EUND	Rejets industriels	(236,69)	Greaud-Hoveman et al., 2008
	Rejets de STEP	(35,45)	Greaud-Hoveman et al., 2008
	Industrie textile	282	INERIS, 2007
	Industrie de blanchisserie	470	“
	Industrie de la pâte à papier	61	“
	Industrie de la teinture	41	“
	Industrie du cuir	68	“
	Peinture	1300	“
Industrie de la chimie	280	“	
EUR	Emissaires SIAAP (n=24)	[63,0]	Bergé, 2012b
	Paris/ Influent SIAAP		
	STEU SAV (n=6)	(60,7)	Cette étude RSDE
	STEU SEC (n=6)	(24,7)	“
	STEU MAV (n=6)	(115,4)	“
	STEU SEM (n=6)	(90,6)	“
	STEU SEV (n=4)	(7,1)	“
	STEU SEG (n=6)	(18,4)	“
	Saint-Philibert (56)/ Influent STEU Kerran (n=6)	(25,67)	AQTA, 2019
	Paris/ Influent	(52,15)	Bergé et al., 2012
Paris/ Influent	55,0	INERIS, 2007	
Paris/ EUTS (n=10)	[27]	Gasperi et al., 2008	
Eaux unitaires			
EUTP	Paris/ unitaire - Clichy (n=4)	[10,6]	Zgheib, 2009
	Paris/ unitaire (n=13)	[22]	Gasperi et al., 2011

*Non-significatif ; [médiane] ; (moyenne)

Concentrations du DEHP ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux urbaines (suite).

Eaux usées		DEHP	
EUD	<u>Paris/</u>		
	EU Domestique (n=14)	[35,1]	Bergé, 2012
	EU Domestique (n=44)	[40,7]	“
	Eaux douche (n=25)	[16,6]	Deshayes, 2015
	Eaux lave-linge (n=25)	[102]	“
	Lave-vaisselle (n=25)	[6,21]	“
	Vaisselle Manuelle (n=30)	[8,33]	“
	Lavabo (n=20)	[6,73]	“
	Nettoyage des sols (n=25)	[53,0]	“
	Eaux vannes (n=3)	(1,08)	“
Fosse toutes eaux (n=1)	8,34	“	
Eaux grises**	26,5	“	
EUND	EU industrielles site 1 (n=8)	[28,3]	Bergé, 2012
	EU industrielles site 2 (n=14)	[106]	“
	Traitement des textiles (n=18)	[134]	“
	Industrie pharma. (n=17)	[13,3]	“
	Industrie aéronautique (n=17)	[11,7]	“
	Traitement des ordures (n=9)	[2,58]	“
	Nettoyage véhicules (n=3)	(11,1)	“
	Industrie cosmétiques (n=2)	(45,6)	“
	Traitement de surface (n=7)	[1,12]	“
	Métallurgie (n=9)	[1,90]	“
	Maintenance transports (n=7)	[58,9]	“
	Production eau potable (n=5)	[2,02]	“
	Universités (n=17)	[21,1]	“
EU industrielles (n=101)	[20,72]	“	
EUR	STEU SEC (n=9)	(42,9)	Bergé, 2012
	STEU SEC (n=18)	(12,1)	Deshayes, 2015
	EU émissaires SIAAP (n=24)	[63,0]	Bergé, 2012
	EU émissaires SIAAP (n=18)	[21,2]	Deshayes, 2015
	EU Hauts-de-Seine (n=15)	[26,7]	“
	EUR – Clichy (n=4)	[13]	Zgheib, 2009

** reconstituée ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 49 - Flux de DEHP sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substance*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
DEHP			


*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

FICHE n°17 – Acide sulfonique de perfluorooctane

Fiche d'identité

L'acide sulfonique de perfluorooctane (PFOS) et ses dérivés regroupent de nombreuses molécules, faisant partie de la famille des composés per- et polyfluoroalkylés (PFAS), qui sont des hydrocarbures artificiellement fluorés avec un large éventail d'utilisations industrielles, agricoles et domestiques. Les PFAS sont persistants dans l'environnement et les PFOS sont les premiers alkylperfluorés dont la présence dans l'environnement a été rapportée, faisant ainsi d'eux les PFAS les plus étudiés (Cervený et al., 2016). Aujourd'hui, d'autres composés PFAS posent problème, comme les acides carboxyliques perfluorés (PFCA) ou certains fluorotélomères (ONEMA and INERIS, 2016). Les PFOS peuvent être formés comme produits de dégradation des PFAS (Cervený et al., 2016). Les PFOS sont intégrés en 2013 à la liste des substances dangereuses prioritaires (directive 2013/39/UE³⁶, objectif de suppression en 2033) (SDAGE, 2016). En 2009, les PFOS et ses dérivés ont été ajoutés à l'annexe B de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (UNEP-POPS-COP.4-SC-4-17)³⁷. Depuis, l'utilisation des produits contenant des PFOS a été considérablement restreinte par l'Union Européenne³⁸ (Munoz et al., 2015 ; Munsch et al., 2015).

Tableau 50 - Caractéristiques générales, physico-chimiques et éco-toxicologiques de PFOS.

Substance	PFOS
N° CAS	1763-23-1
N° SANDRE	6560
Formule	C ₈ HF ₁₇ O ₃ S 
M (g/mol)	500,15
Solubilité eau à 20°C (mg/L)	519
Log K _{ow}	4,88
Log K _{oc}	1,43
K _H (Pa.m ³ /mol) à 20°C	0,000 32
Persistance eau douce (t _{1/2} en j)	-
NQE- MA (µg/L)	0,000 65
NQE-CMA (µg/L)	36
CE ₅₀ (mg/L)	Algues 180 Daphnies 112 Poissons 9,5

³⁶ Directive n° 2013/39/UE du 12/08/13 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau - JOUE n° L 226 du 24 août 2013

³⁷ The new POPs under the Stockholm Convention, <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/TheNewPOPs/tabid/2511/Default.aspx>, accessed October 2017

³⁸ Directive 2006/122/ECOF

Liste des usages des PFOS et PFAS et voies d'introduction (VI) dans les eaux urbaines.

Substance	Usage	Domaine	Application	VI
PFOS	Multiple	Industrie	- Composants des mousses extinctrices/protection incendie - Système hydraulique des aéronefs (SDAGE, 2016) - Peintures et détergents - Emballages d'aliments (Pasquini et al., 2014)	EUND
		Textile	- Imperméabilisation pour les cuirs et textiles (SDAGE, 2016)	EUND
PFAS	Multiple	Industrie	- Galvanoplastie (SDAGE, 2016) - Photolithographie	EUND
PFOS+PFAS	Insecticide	Domestique	- Appâts pour fourmis et blattes	EUD

Tableau 51 - Concentrations de PFOS ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux urbaines.

Eaux pluviales	Lieu/Site	PFOS	Réf.
RA	-	-	-
ER	Paris / voiries et parking (4 sites)	[0,0003] - [0,003]	Projet Roulépur (Gromaire et al 2022)
EPS	-	-	-
Eaux usées			
EUD	-	-	-
EUND	-	-	-
EUR	Paris/ Influent SIAAP		
	STEU SAV (n=6)	(0,046)*	Cette étude RSDE
	STEU SEC (n=6)	(0,037)*	“
	STEU MAV (n=6)	[<LQ]	“
	STEU SEM (n=6)	[<LQ]	“
	STEU SEV (n=4)	(0,039)	“
	STEU SEG (n=6)	(0,036)*	“
	Saint-Philibert (56)/ Influent STEU Kerran (n=6)	(0,041)	AQTA, 2019
Eaux unitaires			
EUTP	-	-	-

*Non-significatif ; [médiane] ; (moyenne)

Tableau 52 - Flux de PFOS sur la base de la méthode présentée en Annexe

Substance*	M _{ER} /FMA	M _{EUD} /FMA	M _{EUND} /FMA
PFOS			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

Conclusion

A partir de la revue bibliographique et des données mesurées lors du diagnostic amont 2018-2019, il a été possible d'estimer les principaux flux de micropolluants-cible au sein de la zone d'action du SIAAP (Tableau 53). Pour chaque substance, on distingue trois voies d'introduction dans le réseau d'assainissement : les eaux de ruissellement (ER), les eaux d'origine domestiques (EUD) et les eaux usées d'origine non domestiques (EUND).

Les flux annuels de substances (FMAS) dans les eaux de ruissellement (ER, méthode de calcul en Annexe) présentés dans ce rapport ont été calculés à partir de données bibliographiques plutôt représentatives des zones résidentielles. Pour tenir compte que les concentrations dans les eaux de ruissellement à l'échelle de la zone du SIAAP sont plutôt supérieures à celles observées pour des zones résidentielles, seules les valeurs de concentration maximale et relatives à la région parisienne ont été utilisées pour ces calculs. Une sous-estimation potentielle des flux ER n'est pas à exclure malgré l'utilisation des concentrations maximales mesurées sur ces zones résidentielles. Si la valeur de concentration est inférieure à la limite de quantification (LQ) alors une demi-valeur de LQ est utilisée. De plus, l'état actuel des connaissances ne permet pas de dissocier la part de ruissellement issue du bâti ni celle provenant des chaussées. Par ailleurs, il s'avère que peu de campagnes ont été effectuées par temps de pluie (5% des campagnes) lors du diagnostic amont 2018-2019. La majorité des calculs de FMA (SIAAP) est basée sur des campagnes de mesure par temps sec, générant ainsi potentiellement un autre biais pour l'estimation des flux annuels à l'entrée des stations d'épuration. Lors de prochains diagnostics, il est suggéré d'augmenter la fréquence d'échantillonnage par temps de pluie afin de pouvoir d'une part, quantifier de manière directe les flux dans les eaux de ruissellement et d'autre part, affiner les calculs des flux annuels à l'entrée des stations d'épuration. Les substances pour lesquelles la contribution estimée des ER est supérieure à 25% des FMAS sont le chrome, le plomb, le tributylétain, les PCB (138, 153, 180) et le diuron.

Les calculs de flux correspondant aux eaux domestiques (EUD, méthode de calcul en Annexe) sont basés sur l'hypothèse que seuls les dimanches reflètent l'essentiel de l'activité domestique. Parmi les 36 campagnes de mesure (6 x 6 STEU), seulement 3 ont été réalisées un dimanche pour les stations SAV (24/06/2018), MAV (28/10/2018) et SEM (11/11/2018). Cette hypothèse reste approximative car les hôpitaux, certaines industries et les métiers de bouche fonctionnent aussi le dimanche. A l'avenir, il est donc suggéré de réaliser des campagnes de mesure à l'exutoire de bassins-versants résidentiels afin de quantifier de manière directe les flux générés par l'activité domestique. Les flux des eaux domestiques supérieurs à 25% des FMAS concernent les substances suivantes : tous les alkylphénols, le DEHP, le HBCDD, le PFOS, les biocides (cybutrine, cyperméthrine et imidaclopride), les BTEX, les COHV, trois HAP (anthracène, fluoranthène et naphthalène), tous les métaux, le TBT, le BDE#209, les PCB et deux pesticides (dichlorvos et heptachlore).

Quant aux eaux non-domestiques (EUND), le calcul des flux est réalisé de manière indirecte par différence entre les FMAS et la somme des ER et des EUD préalablement obtenus. Cette méthode indique que les substances suivantes ont des flux dans les eaux non domestiques supérieurs à 25% des FMAS : deux alkyl-phénols (NP1OE, NP2OE), DEHP et HBCDD, la cybutrine, deux BTEX (éthylbenzène, toluène), le tétrachloroéthylène, tous les HAP (hors anthracène), le cadmium et tous le BDE#209 (Tableau 53).

Tableau 53 - Estimation des flux de substances dans les eaux de ruissellement (ER), eaux domestiques (EUD) et non-domestiques (EUND) au sein de la zone SIAAP 2018-2019.

Familles	Substances*	M _{ER} /FMAS	M _{EUD} /FMAS	M _{EUND} /FMAS
Alkylphénols	Nonylphénols			
Alkylphénols	NP1OE			
Alkylphénols	NP2OE			
Alkylphénols	Octylphénols			
Alkylphénols	OP1OE			
Alkylphénols	OP2OE			
Autres	DEHP			
Autres	HBCDD			
Autres	PFOS			
Biocides	Cybutrine			
Biocides	Cyperméthrine			
Biocides	Imidaclopride			
BTEX	Benzène			
BTEX	Ethylbenzène			
BTEX	Toluène			
BTEX	Xylènes			
COHV	Tétrachloroéthylène			
COHV	Trichloroéthylène			
COHV	Trichlorométhane			
HAP	Anthracène			
HAP	Benzo (a) pyrène			
HAP	Benzo (b) fluoranthène			
HAP	Benzo (g,h,i) pérylène			
HAP	Benzo (k) fluoranthène			
HAP	Fluoranthène			
HAP	Indéno (1,2,3-cd) pyrène			
HAP	Naphtalène			
Métaux	Arsenic			
Métaux	Cadmium			
Métaux	Chrome			
Métaux	Cuivre			
Métaux	Mercuré			
Métaux	Nickel			
Métaux	Plomb			
Métaux	Titane			
Métaux	Zinc			
Organétains	Tributylétain cation			
PBDE	BDE 209 (famille PBDE)			
PCB	PCB 101			
PCB	PCB 138			
PCB	PCB 153			
PCB	PCB 180			
Pesticides	Dichlorvos			
Pesticides	Diuron			
Pesticides	Heptachlore			

*code couleur : blanc, nd ; bleu <25% ; vert 26-50% ; orange 51-75% ; noir >75%

Aux vues des connaissances scientifiques actuelles sur les usages de chaque substance ou famille de substances étudiées dans ce rapport, il est possible de distinguer plusieurs cas de figure quant aux résultats de l'estimation des flux générés (par les différentes voies d'introduction dans le réseau d'assainissement) au regard de la méthode utilisée.

1. **Flux en accord avec les usages identifiés par l'étude bibliographique** : pour les alkylphénols (nonyl- et octylphénols), le DEHP (Bergé, 2012b), deux BTEX (Ethylbenzène et Toluène), le tétrachloroéthylène, le naphthalène, le chrome et le diuron (Paijens, 2019) ;
2. **Résultats à confirmer par l'acquisition de plus de données sur EUD et/ou ER** : pour les alkylphénols éthoxylés (NP1OE, NP2OE, OP1OE, OP2OE), le HBCDD et le PFOS ;
3. **Résultats à confirmer par l'acquisition de données spécifiques des ER** : pour deux biocides (Cyperméthrine, Imidaclopride), le Benzène, deux COHV (trichloroéthylène, trichlorométhane), le mercure et deux pesticides (dichlorvos et heptachlore) ;
4. **Contribution inattendue pour les EUND liée à une sous-estimation possible de la contribution des ER** : pour tous les HAP hors naphthalène.
5. **Contribution inattendue pour les EUD** : pour de nombreux métaux (Ni, Pb, Ti, Zn), le tributylétain et les PCB ;
6. **Contributions inattendues pour les EUD et EUND** : pour le BDE#209 ;
7. **Résultats surprenants et en désaccord avec les usages identifiés** : pour les xylènes, trois métaux (As, Cd, Cu) et la cybutrine (Paijens, 2019 qui indique des flux comparables (ER = EUD)).

Références citées

Adnađević, B. K., Jovanovic, J. D., Petkovic, S. D., & Rankovic, D. P. (2019). Removal of Diuron from Waste Waters by Hydrodynamic Cavitation. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 93(13), 2650-2655.

AESN, 2018. Guide pratique des micropolluants dans les eaux du bassin Seine-Normandie.

AESN, Aquascop, 2008. Guide pratique des substances toxiques dans les eaux douces et littorales du Bassin Seine-Normandie. Agence de l'eau Seine-Normandie (ANSES), Nanterre.

Afsset, 2009. AVIS de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail Relatif à la proposition de valeur guide de qualité de l'air intérieur pour le naphthalène.

Al-Kattan, A., Wichser, A., Vonbank, R., Brunner, S., Ulrich, A., Zuin, S., & Nowack, B. (2013). Release of TiO₂ from paints containing pigment-TiO₂ or nano-TiO₂ by weathering. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15(12), 2186-2193.

ANSES (2018). Expositions à des produits phytopharmaceutiques à base de substances actives non autorisées en France métropolitaine et dans les départements et régions et collectivités d'outremer. Rapport d'étude de toxicovigilance. 46pp.

AQTA, 2019. Recherche de la présence de micropolluants dans les eaux brutes, les eaux traitées et les boues de la station de St Philibert - Kerran.

Baillieul, M., 2018. Capteurs infrarouges de polluants aquatiques: synthèse, optimisation et qualification (Doctoral dissertation, Université Rennes 1).

Baumont, S., Camard, J.P., Lefranc, A., Franconi, A., 2014. Réutilisation des eaux usées épurées: risques sanitaires et faisabilité en île-de-france. ORS Ile-de-France.

Becouze-Lareure, C. 2010. Caractérisation et estimation des flux de substances prioritaires dans les rejets urbains par temps de pluie sur deux bassins versants expérimentaux (Doctoral dissertation, Lyon, INSA).

Becouze-Lareure, C., Dembélé, A., Coquery, M., Cren-Olivé, C., Bertrand-Krajewski, J.-L., 2019. Assessment of 34 dissolved and particulate organic and metallic micropollutants discharged at the outlet of two contrasted urban catchments. *Sci. Total Environ.* 651, 1810–1818. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.042>

Becue, A., & Nguyen, R. (2005). Etude de l'analyse des alkylphénols. Rapport technique, Inéris.

Bergé, A., Cladière, M., Gasperi, J., Coursimault, A., Tassin, B., Moilleron, R., 2012a. Meta-analysis of environmental contamination of endocrine disrupting compounds: case of alkylphenols. *Environmental Science and Pollution Research* 2012, 19(9), 3798-819.

Bergé, A., 2012b. 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 en Sciences de l'Univers et Environnement, Université Paris-Est, 294 p.

Bergé, A., Gasperi, J., Rocher, V., Coursimault, A., Moilleron, R., 2012c. Phthalate and alkylphenol removal within wastewater treatment plants using physicochemical lamellar clarification and biofiltration. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 164, 357-368.

Bergé, A., Gasperi, J., Rocher, V., Gras, L., Coursimault, A., Moilleron, R., 2014. Phthalates and alkylphenols in industrial and domestic effluents: Case of Paris conurbation (France). *Sci. Total Environ.* 488–489, 26–35.

Blanchard, M., Teil, M.-J., Guigon, E., Larcher-Tiphagne, K., Ollivon, D., Garban, B., Chevreuil, M., 2007. Persistent toxic substance inputs to the river Seine basin (France) via atmospheric deposition and urban sludge application. *Sci. Total Environ.* 375, 232–243. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.12.012>

Blanchard, M., Teil, M.J., Ollivon, D., Legenti, L., Chevreuil, M., 2004. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorobiphenyls in wastewaters and sewage sludges from the Paris area (France). *Environ. Res.* 95, 184–197. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2003.07.003>

Blum, A., Wendland, F., Kunkel, R., Coestiers, M., Van Camp, M., Walraevens, K., Gorova, R., Berthold, G., Fritsche, G., Wolter, R., Hinsby, K., Marandi, A., Simonffy, Z., Kadunas, K., Arustiene, A., Griffioen, J., Witczac, S., Hookey, J., Gustafsson, J. (2006) – Natural background levels. State of the art and review of existing methodology. In BRIDGE deliverable D10 “Impact of hydrogeological conditions on pollutant behaviour in groundwater and related ecosystems”

Bourdoiseau, J., & Delolme, C. 2016. Le titane dans les sédiments de l'assainissement pluvial urbain: sources, concentrations, mobilités. *Déchets Sciences et Techniques*, 71, 35-48.

Braschi, I., Blasioli, S., Lavrnić, S., Buscaroli, E., Di Prodi, K., Solimando, D., & Toscano, A. 2021. Removal and fate of pesticides in a farm constructed wetland for agricultural drainage water treatment under Mediterranean conditions (Italy). *Environmental Science and Pollution Research*, 1-17.

Bressy, A., 2010. Flux de micropolluants dans les eaux de ruissellement urbaines. Effets de différents modes de gestion des eaux pluviales. Thèse de Doctorat. Université Paris-Est.

Burkhardt M, Zuleeg S, Vonbank R, Schmid P, Hean S, Lamani X, Bester K, Boller M. 2011. Leaching of additives from construction materials to urban storm water runoff. *Water Science and Technology* 63, 1974-1982.

Bustos, N., Cruz-Alcalde, A., Iriel, A., Cirelli, A. F., & Sans, C. 2019. Sunlight and UVC-254 irradiation induced photodegradation of organophosphorus pesticide dichlorvos in aqueous matrices. *Science of the total environment*, 649, 592-600.

Carrier, M., Besson, M., Guillard, C., & Gonze, E. 2009. Removal of herbicide diuron and thermal degradation products under Catalytic Wet Air Oxidation conditions. *Applied Catalysis B: Environmental*, 91(1-2), 275-283.

Cervený, D., Grabic, R., Fedorova, G., Grabicova, K., Turek, J., Kodes, V., Golovko, O., Zlabek, V., Randak, T., 2016. Perfluoroalkyl substances in aquatic environment-comparison of fish and passive sampling approaches. *Environ. Res.* 144, 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.11.010>

Cruz-Alcalde, A., Sans, C., & Esplugas, S. (2018). Priority pesticide dichlorvos removal from water by ozonation process: reactivity, transformation products and associated toxicity. *Separation and Purification Technology*, 192, 123-129.

Dargnat, C., & Fisson, C. (2010). Les PolyChloroBiphényles (PCB) dans le bassin de la Seine et son estuaire. Etude réalisée par le GIP Seine-Aval, 134p.

Deshayes, S., 2015. Identification des sources de phtalates et d'alkylphénols (polluants émergents) en milieu urbain et compréhension des processus d'élimination. Thèse en Sciences et Techniques de l'Environnement, Université Paris-Est, 252 p.

Dictor, M.C., Baranger, P., Chéry, L., Michel, K., Barbier, J., Clozel, B., Brosselin, P., 2004. Synthèse des travaux de R&D en France (1999-2004) sur la thématique Arsenic. Rapport Final, BRGM.

DRIEE, 2013. Etat de la contamination des eaux superficielles par les substances dangereuses en région Ile-de-France.

Duzgoren-Aydin, N. S., Wong, C., Aydin, A., Song, Z., You, M., & Li, X. D. 2006. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Guangzhou, SE China. *Environmental geochemistry and health*, 28(4), 375-391.

Flanagan, K., 2018. Evaluation de la rétention et du devenir d'un panel diversifié de micropolluants dans un ouvrage de biofiltration des eaux de ruissellement de voirie.

- Gasperi, J., Mirande-Bret, C., Chebbo, G., Moilleron, R., Saad, M., et al.. 2013. Micropolluants dans les eaux pluviales urbaines : concentrations, flux et contributions atmosphériques. Résultats des campagnes de mesure sur trois bassins versants, ANR INOGEV : Innovations pour une Gestion durable de l'Eau en Ville, Tâche 3, Rapport de sous-tâche. [Rapport de recherche] ANR Ville Durable. (hal-01712953)
- Gasperi, J., Garnaud, S., Rocher, V., & Moilleron, R. 2011. Priority substances in combined sewer overflows: case study of the Paris sewer network. *Water Science and Technology*, 63(5), 853-858.
- Gasperi, J., Garnaud, S., Rocher, V., Moilleron, R., 2008. Priority pollutants in wastewater and combined sewer overflow. *Sci. Total Environ.* 407, 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.08.015>
- Gasperi, J., Kafi-Benyahia, M., Lorgeoux, C., Moilleron, R., Gromaire, M.C., Chebbo, G., 2006. Variabilité spatiale des caractéristiques des polluants transitant par temps sec dans le réseau d'assainissement unitaire parisien. *TSM. Techniques sciences méthodes, génie urbain génie rural*, (11), 23-34.
- Gasperi, J., Lorgeoux, C., Gourlay, C., Kuhn, E., Moilleron, R., 2008. 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.
- Gasperi, J., Sebastian, C., Ruban, V., Delamain, M., Percot, S., Wiest, L., Gromaire, M.C., 2014. Micropollutants in urban stormwater: occurrence, concentrations, and atmospheric contributions for a wide range of contaminants in three French catchments. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(8), 5267-5281.
- Gasperi, J., Sebastian, C., Ruban, V., Delamain, M., Percot, S., Wiest, L., ... & Gromaire, M. C. 2017. Contamination des eaux pluviales par les micropolluants: avancées du projet INOGEV. *Techniques Sciences Méthodes*, (7/8), pp-51.
- Gasperi, J., Zgheib, S., Cladière, M., Rocher, V., Moilleron, R., Chebbo, G., 2012. Priority pollutants in urban stormwater: Part 2–Case of combined sewers. *Water Research*, 46(20), 6693-6703.
- Gasperi J., Le Roux J., Deshayes S., Ayrault S., Bordier L., Boudhamane L., Budzinski H., Caupos E., Caubriere N., Flanagan K., Guillon M., Huynh N., Labadie P., Meffray L., Neveu P., Partibane C., Paupardin P., Saad M., Varnede L., Gromaire M.C. (2022). Micropollutants in urban runoff from traffic areas: target and non-target screening on four contrasted sites. *Water* 14(3), 394; <https://doi.org/10.3390/w14030394>
- 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 Sci. Technol.* 65, 1591–1598. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.055>
- Gilbert-Pawlik, S., 2012. Devenir des Polybromodiphényléthers et des alkylphénols dans les filières de traitement des eaux usées (Doctoral dissertation, Ecole des Ponts ParisTech).
- Giroux, I., d'Auteuil-Potvin, F., Doussantousse, É., 2019. Présence de pesticides dans l'eau au Québec: portrait et tendances dans les zones de maïs et de soya 2015 à 2017. Direction générale du suivi de l'état de l'environnement du Ministère de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques.
- Graud-Hoveman, L., Barré, H., Houeix, N., Lepot, B., Lehnhoff, C., Schneider, M., ... & Morin, A. 2008. Les substances dangereuses pour le milieu aquatique dans les rejets industriels et urbains. Bilan de l'action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau par les installations classées et autres installations. Report no: DRC-07-82615-13836C, INERIS: 613p.
- Gromaire-Mertz, M. C.. 1998. La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire. Caractéristiques et origines. Thèse de doctorat, Sciences et techniques de l'Environnement, Ecole nationale des Ponts et Chaussées: 502 p. + annexes.
- Gromaire, M.-C.; Gasperi, J.; Sebastian, Ch.; Ruban, V.; Delamain, M.; Percot, S.; Mirande, C.; Wiest, L.; Caupos, E.; Demare, D.; Saad, M.; Schwartz, J.-J.; Dubois, Ph.; Fratta, C.; Moilleron, R.; Chebbo, G.; Cren, C.; Millet, M.; Barraud, S. (2021), "INOGEV_stormwater_micropollutants", Mendeley Data, V1, doi: 10.17632/gstn37p2xh.1

Gromaire, M.-C.; Gasperi, J.; Deshayes, S.; Ayrault, S.; Labadie, P.; Flanagan, K.; Varnede, L.; Saad, M.; Caupos, E.; Partibane, C.; Boudahmane, L.; Meffray, L.; Demare, D.; Paupardin, J.; Neveu, P. (2022), "Micropollutant screening of road and parking runoff in Paris conurbation", Mendeley Data, V1, doi: 10.17632/m8kcmthfd2.1

Guillosoy, R. (2019). Elimination des micropolluants organiques dans les eaux résiduaires urbaines par adsorption sur charbon actif: compréhension des processus et implications opérationnelles (Doctoral dissertation, Université Paris-Est).

HCSP, 2012. Haut Conseil de la Santé Publique. Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos - Le naphthalène.

IMAP Group Assessment Report, 2019. Nonylphenol and octylphenol ethoxylates and related compounds: Human health tier II assessment.

INERIS, 2007. Regional action of search and reduction discharges of dangerous substances in water by the classified installations and the urban wastewater treatment plants (in French). INERIS, INERIS, Verneuil-en-Halatte, Oise.

INERIS, 2011. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Hexabromo-cyclododécane.

INERIS, 2012. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Cybutryne.

INERIS, Agence de l'Eau, 2013. Nonylphénols Synthèse spécifique au secteur d'activité Agroalimentaire. INERIS - Données technico-économiques sur les substances chimiques en France - Agence de l'Eau.

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(3), 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.08.008>

Kägi, R., Sinnet, B., Zuleeg, S., Hagendorfer, H., Mueller, E., Vonbank, R., ... & Burkhardt, M. 2010. Release of silver nanoparticles from outdoor facades. *Environmental pollution*, 158(9), 2900-2905.

Kägi, R., Ulrich, A., Sinnet, B., Vonbank, R., Wichser, A., Zuleeg, S., ... & Bollner, M. 2008. Synthetic TiO₂ nanoparticle emission from exterior facades into the aquatic environment. *Environmental pollution*, 156(2), 233-239.

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 (Doctoral dissertation, Ecole Centrale de Nantes (ECN)).

Lamprea, K., Ruban, V., 2011. Pollutant concentrations and fluxes in both stormwater and wastewater at the outlet of two urban watersheds in Nantes (France). *Urban Water J.* 8, 219–231. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2011.596211>

Laperche, V., Bodéan, F., Dictor, M.C., Baranger, P., 2003. Guide méthodologique de l'arsenic, appliqué à la gestion des sites et sols pollués. Rapport BRGM RP-52066-FR.

Leichtnam, J.-N., de Franceschi, L., 2021. Recherche des origines du mercure dans les boues de station d'épuration : Mise au point d'une nouvelle méthode. *Déchets Sci. Tech. INSA Lyon* 2000 19 pp3-7.

Martin Ruel, S., Esperanza, M., Choubert, J.-M., 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 Sci. Technol.* 62(12), 2970–2978. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.989>

Michon, C., 2011. Devenir de l'arsenic dans une papeterie : étude de cas (These de doctorat). Vandoeuvre-les-Nancy, INPL.

Munoz, G., Giraudel, J. L., Botta, F., Lestremau, F., Dévier, M. H., Budzinski, H., & Labadie, P. (2015). Spatial distribution and partitioning behavior of selected poly- and perfluoroalkyl substances in freshwater ecosystems: a French nationwide survey. *Science of the Total Environment*, 517, 48-56.

Munsch, C., Olivier, N., Veyrand, B., Marchand, P., 2015. Occurrence of legacy and emerging halogenated organic contaminants in marine shellfish along French coasts. *Chemosphere* 118, 329–335. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.09.106>

Muresan, B., Lorgeoux, C., Gasperi, J., & Moilleron, R. (2010). Fate and spatial variations of polybrominated diphenyl ethers in the deposition within a heavily urbanized area: case of Paris (France). *Water Science and Technology*, 62(4), 822-828.

Öllers, S., Singer, H. P., Fässler, P., & Müller, S. R. 2001. Simultaneous quantification of neutral and acidic pharmaceuticals and pesticides at the low-ng/l level in surface and waste water. *Journal of chromatography A*, 911(2), 225-234.

Omrani, M., Ruban, V., Ruban, G., Lamprea, K., 2017. Assessment of atmospheric trace metal deposition in urban environments using direct and indirect measurement methodology and contributions from wet and dry depositions. *Atmos. Environ.* 168, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.064>

ONEMA, INERIS, 2016. Les substances dangereuses pour le milieu aquatique dans les rejets des stations de traitement des eaux usées urbaines.

Oridupa, O. A. (2020). Knowledge, attitude and perception of related toxicity of pesticide exposure in humans and animals in Ibadan, Nigeria. *Sokoto Journal of Veterinary Sciences*, 18(3), 129-136.

Paijens, C., Bressy, A., Frère, B., & Moilleron, R. 2020a. Biocide emissions from building materials during wet weather: identification of substances, mechanism of release and transfer to the aquatic environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(4), 3768-3791.

Paijens, C., Bressy, A., Frère, B., Tedoldi, D., Mailler, R., Rocher, V., ... & Moilleron, R. 2021. Urban pathways of biocides towards surface waters during dry and wet weathers: Assessment at the Paris conurbation scale. *Journal of Hazardous Materials*, 402, 123765.

Paijens, C., Frere, B., Caupos, E., Moilleron, R., & Bressy, A. 2020b. Determination of 18 biocides in both the dissolved and particulate fractions of urban and surface waters by HPLC-MS/MS. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(5), 1-17.

Pasquini, L., Munoz, J.-F., Pons, M.-N., Yvon, J., Dauchy, X., France, X., Le, N.D., France-Lanord, C., Görner, T., 2014. Occurrence of eight household micropollutants in urban wastewater and their fate in a wastewater treatment plant. Statistical evaluation. *Sci. Total Environ.* 481, 459–468. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.075>

Percot, S. (2012). Contribution des retombées atmosphériques aux flux de polluants issus d'un petit bassin versant urbain: Cas du Pin Sec à Nantes (Doctoral dissertation, Ecole Centrale de Nantes (ECN)).

Pham, O., 2015. La Problématique du Mercure dans les eaux usées de Montréal.

Pons-Branchu, E, Ayrault, S., Roy-Barman, M., Bordier, L., Borst, W., Branchu, P., Dumont, E., 2015. Three centuries of heavy metal pollution in Paris (France) recorded by urban speleothems. *Science of the Total Environment*, 518, 86-96.

Programme MicroMegas, 2020. Rapport de suivis des sites Efficacités de dispositifs centralisés et décentralisés vis-à-vis du traitement des micropolluants.

Robert-Sainte, P., 2010. Contribution des matériaux de couverture à la contamination métallique des eaux de ruissellement (Doctoral dissertation, Université Paris-Est).

Rollin, C., Quiot, F., 2006. *Éléments traces métalliques - Guide méthodologique: recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines*. Rapport d'étude INERIS.

Sahithya, K., Das, D., & Das, N. 2017. Adsorption coupled photocatalytic degradation of dichlorvos using LaNiMnO₆ perovskite nanoparticles supported on polypropylene filter cloth and carboxymethyl cellulose microspheres. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 1(36), 180-191.

Scheyer, A., Morville, S., Mirabel, P., & Millet, M. 2007. Pesticides analysed in rainwater in Alsace region (Eastern France): Comparison between urban and rural sites. *Atmospheric Environment*, 41(34), 7241-7252.

SDAGE, 2016. Du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands [http://www.eau-seine-normandie.fr/sites/public_file/docutheque/2017-03/AESN_SDAGE2016__WEB_.pdf].

Sebastian, C., 2013. Bassin de retenue des eaux pluviales en milieu urbain: performance en matière de piégeage des micropolluants (Doctoral dissertation, Lyon, INSA).

Teil, M.J., Blanchard, M., Chevreuil, M., 2006. Atmospheric fate of phthalate esters in an urban area (Paris-France). *Sci. Total Environ.* 354, 212–223. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.12.083>

Waghmode, M. S., Gunjal, A. B., Mulla, J. A., Patil, N. N., & Nawani, N. N. 2019. Studies on the titanium dioxide nanoparticles: Biosynthesis, applications and remediation. *SN Applied Sciences*, 1(4), 1-9.

Weir, A., Westerhoff, P., Fabricius, L., Hristovski, K., & Von Goetz, N. 2012. Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products. *Environmental science & technology*, 46(4), 2242-2250.

Yvon, Y. 2008. Développement d'une méthode de décontamination active des sédiments portuaires pollués en tributylétain par électromigration (Doctoral dissertation, Université de Pau et des Pays de l'Adour).

Zgheib, S., 2009. Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire (Doctoral dissertation, Ecole des Ponts ParisTech).

Zgheib, S., Moilleron, R., Chebbo, G., 2012. Priority pollutants in urban stormwater: Part 1 – Case of separate storm sewers. *Water Res.* 46, 6683–6692. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.012>

Zgheib, S., Moilleron, R., Saad, M., Chebbo, G., 2011. Partition of pollution between dissolved and particulate phases: What about emerging substances in urban stormwater catchments? *Water Res.* 45, 913–925. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.032>

Annexe – Méthode de calcul de flux

Bilan des flux à l'échelle de l'année pour une substance

Pour chaque substance, on distingue trois voies d'introduction dans le réseau d'assainissement : les eaux de ruissellement (ER), les eaux usées d'origines domestiques (EUD) et les eaux usées d'origines non-domestiques (EUND).

Le bilan annuel des flux par substance est alors calculé pour l'ensemble des six stations du SIAAP en utilisant l'équation suivante :

$$(1) \text{ FMAS} = M_{ER} + M_{EUD} + M_{EUND} \text{ (en kg/an)}$$

avec, FMAS, le flux moyen annuel par substance

Calcul de flux d'une substance à l'échelle annuelle (FMAS)

Les flux moyens annuels (notés FMA dans les tableaux transmis par le SIAAP) calculés selon les recommandations de la note technique du 12 août 2016 introduisent plusieurs biais :

- Pour une substance avec une NQE mais systématiquement détectée à une concentration inférieure à la limite de quantification du laboratoire (LQ_{lab}), le FMA est égal à zéro.
- Lorsque la NQE ou le flux GERE est défini pour la somme des micropolluants d'une famille, le calcul du FMA n'est pas réalisé à l'échelle de la substance mais de la famille : HAP, BTEX, NP/NPE, OP/OPE, PBDE, organoétains et heptachlore.
- Pour ces familles, si la concentration de la substance est inférieure à la LQ_{lab} , la concentration retenue dans les calculs est égale à zéro.

Ainsi, il a été nécessaire de recalculer à la place des FMA des flux annuels par substance (FMAS). Par souci d'harmonisation, lorsque la concentration est inférieure à la LQ_{lab} alors la concentration retenue dans les calculs est égale à LQ_{lab} divisée par 2.

Calcul de flux M_{ER}

Pour les eaux de ruissellement (ER), le calcul de flux M_{ER} est basé sur les concentrations (C_{EPS}) extraites de la synthèse bibliographique, plutôt représentatives de zones résidentielles. Pour tenir compte que les concentrations dans les eaux de ruissellement à l'échelle de la zone du SIAAP sont plutôt supérieures à celles observées pour des zones résidentielles, seules les valeurs de concentration maximale et relatives à la région parisienne ont été utilisées pour ces calculs. Une sous-estimation potentielle des flux ER n'est pas à exclure malgré l'utilisation des concentrations maximales mesurées sur des zones résidentielles.

Lorsque les concentrations rapportées dans la littérature sont inférieures aux LQ, $LQ/2$ a été retenue comme concentrations pour la substance considérée. Certaines substances n'ont jamais été mesurées dans les eaux de ruissellement alors dans ce cas aucun flux (M_{ER}) n'a été calculé.

La formule générale utilisée est exprimée selon l'équation (2) :

$$(2) M_{ER} = C_{EPS} \times \frac{Hp(2018)}{Hp(réf)} \times V_{ER} \div 1\,000\,000 \quad \text{(en kg/an)}$$

avec, C_{EPS} concentration dans le réseau séparatif par temps de pluie ($\mu\text{g/L}$), $H_{p(2018)}$ hauteur de pluie pour 2018 (705 mm/an), $H_{p(\text{réf})}$ hauteur de pluie de référence (650 mm/an) et V_{ER} , le volume d'eau de ruissellement annuel envoyé vers l'ensemble des six stations du SIAAP, estimé par le SIAAP à 80 Mm^3 .

La valeur M_{ER} obtenue est ensuite normalisée par la somme des valeurs de FMAS pour les six stations de la zone SIAAP. La contribution ainsi calculée ne prend pas en compte le volume d'eau de ruissellement rejeté directement dans le milieu récepteur qui lui est estimé à 100 Mm^3 .

Calcul du flux M_{EUD}

Comme il n'existe pas ou très rarement des données sur les concentrations dans les eaux usées d'origines domestiques, l'estimation du flux dans les EUD (M_{EUD}) s'appuie sur un postulat, à savoir les eaux usées du dimanche peuvent être considérées comme représentatives de l'activité domestique en raison d'une activité industrielle réduite. En effet, les eaux usées générées par les restaurants peuvent être assimilées à des eaux usées domestiques. Ainsi, les calculs de flux d'origine domestique sont basés sur les mesures effectuées les dimanches lors des campagnes RSDE SIAAP 2018-2019. Seules trois campagnes ont été isolées de toutes les autres effectuées hors dimanches. Les trois dates retenues sont le 24 juin 2018, le 28 octobre 2018 et 11 novembre 2018, pour les stations SAV, MAV et SEM, respectivement.

Le calcul des flux M_{EUD} suit les étapes suivantes :

$$(3) F_{dim} = C_{dim} \times V_{dim} \div 1\,000\,000$$

avec, F_{dim} flux du dimanche considéré (kg/jour), C_{dim} concentration du dimanche considéré ($\mu\text{g/L}$) et V_{dim} volume d'eau du dimanche considéré (m^3/jour).

Les flux calculés pour les trois stations d'épuration (SAV, MAV et SEM) ont ensuite été normalisés par le nombre d'équivalent habitant du dimanche (Eh_{dim}) pour prendre en compte la variation éventuelle du Eh entre un jour de semaine et le dimanche.

$$(4) \frac{F_{dim}}{Eh} = \frac{F_{dim}}{Eh_{dim}}$$

avec, F_{dim}/Eh , flux du dimanche par équivalent habitant (kg/j/Eh) et Eh_{dim} nombre d'équivalent habitant du dimanche.

Pour calculer le flux annuel d'origine domestique (M_{EUDi}) pour chacune des stations d'épuration ($i =$ indice station), le flux normalisé du dimanche considéré (équation 4) est multiplié par le nombre d'équivalent habitant journalier moyen, puis multiplié par 365 jours (équation 5).

$$(5) M_{EUDi} = \left(\frac{F_{dim_i}}{Eh_{dim_i}} \right) \times EH_i \times 365$$

avec, EH_i , nombre d'équivalent habitant journalier moyen (2018) pour la station i considérée.

Puis, le flux annuel M_{EUDi} est normalisé par le flux moyen annuel par substance de la station i considérée ($FMAS_i$). Enfin, la valeur moyenne ($M_{EUDi}/FMAS_i$) est calculée pour l'ensemble des stations

considérées. Le nombre de stations considérées pour le calcul de la valeur moyenne varie entre 2 et 3 car, pour certaines d'entre elles, les résultats obtenus pour certains dimanches ont été jugés aberrants.

$$(6) \frac{M_{EUD}}{FMAS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{M_{EUDI}}{FMAS_i}$$

avec, $\frac{M_{EUD}}{FMAS}$ représente l'estimation de la contribution des eaux domestiques aux flux totaux pour une substance donnée.

Calcul de la contribution des EUND

Le calcul de la contribution des EUND est réalisé de manière indirecte en utilisant la relation suivante:

$$(7) \frac{M_{EUND}}{FMAS} = 1 - \left(\frac{M_{ER}}{FMAS} + \frac{M_{EUD}}{FMAS} \right)$$

La contribution des EUND n'a pas pu être calculée pour les substances pour lesquelles aucune donnée de concentration dans les eaux de ruissellement n'est disponible dans la littérature.