

Transfert de composés perturbateurs endocriniens par le réseau d'assainissement et le réseau hydrographique à l'exutoire du bassin versant de l'Orge

Marie-Jeanne Teil^{1*}, Fabrice Alliot¹, Martine Blanchard¹, Catherine Bourges¹, Mathieu Cladière³, Annie Desportes¹, Johnny Gasperi³, Pierre Labadie², Catherine Lorgeoux³, Elodie Moreau-Guigon¹, Khawla Tlili¹, Marc Chevreuil¹.

¹ Laboratoire Hydrologie et Environnement, Ecole Pratique des Hautes Etudes-UMR 7619 Sisyphe, Université Paris VI, Tour 56-46, case courrier 105, 4 place Jussieu 75252 Paris Cedex 05.

² CNRS, UMR 7619 Sisyphe, Université Paris VI, Tour 56-46, case courrier 105, 4 place Jussieu 75252 Paris, UMR Sisyphe / EPHE, UPMC Tour 46/56 4^{ème} ét., 4 place Jussieu 75005 Paris.

³ LEESU : Université Paris-Est, UMR-MA102 -AgroParisTech, 61 avenue du Gal de Gaulle, 94010 Créteil Cedex, France

Correspondant : marie-jeanne.teil@upmc.fr

1. Objectifs scientifiques

Ce travail s'inscrit dans la problématique générale de caractérisation des apports et de l'impact de familles de molécules à effets perturbateurs endocriniens (PBDE, PCB, phtalates et alkylphénols) sur la qualité et le fonctionnement des écosystèmes. Ces composés constituent des indicateurs de l'impact des activités anthropiques sur la qualité des cours d'eau. Ces derniers ont en effet leur tête de bassin couverte par des zones d'agriculture intensive et à la contamination initiale résultant des activités agricoles et de la pollution de fond par les apports atmosphériques et le ruissellement s'ajoute celle des agglomérations traversées via des réseaux d'assainissement séparatifs.

La première phase de recherche du PIREN concernant l'Orge a permis de mettre en évidence que 90% des prélèvements contenaient des xéno-estrogènes lorsqu'ils étaient recherchés à l'aide du test biologique YES (yeast estrogen screen) ou du test MELN (acronyme ?). Aucun effet perturbateur thyroïdien significatif n'avait pu être mesuré dans les eaux mais un essai réalisé sur les MES avait montré un effet agoniste. Les sites analysés (tous urbains) présentaient des gardons avec de profonds dysfonctionnements endocriniens. A chaque site, on avait observé des poissons intersexués, c'est-à-dire dont les organes reproducteurs reçoivent des signaux divergents conduisant à la différenciation des cellules sexuelles primordiales, en gamètes mâles et en gamètes femelles. D'autres mécanismes fondamentaux du cycle cellulaire des organes reproducteurs étaient également perturbés puisque de nombreux cas de nécroses cellulaires étaient observés.

L'objectif de notre étude a donc été de réaliser un bilan comparatif des transferts de composés potentiellement perturbateurs endocriniens par les eaux usées (collecteur Athis Mons) et par les eaux de surface (Orge à Viry-Châtillon) à l'échelle du bassin versant de l'Orge au cours d'une année. Pour cela, les flux de polluants véhiculés par les eaux usées et les eaux de surface ont été évalués à partir des divers campagnes d'échnatillonnage réalisées.

2. Méthodologie

Sept campagnes de prélèvements d'eau ont été réalisées de novembre 2008 à novembre 2009, sur l'Orge à Viry-Châtillon en parallèle avec des prélèvements d'eaux usées au niveau du collecteur d'Athis-Mons à l'exutoire du bassin. Plusieurs familles de composés ont été étudiées (Tableau 1):

- Phtalates
- Bisphénol A
- Composés halogénés retardateurs de flamme, polychlorobiphényles (PCB) et polybromodiphényls éthers (PBDE)
- Surfactants non-ioniques, alkylphénols

Le protocole commun de traitement des échantillons pour les PCB, les BDE, les HAP et les phtalates, mis au point en première année d'étude a été utilisé. Pour les alkylphénols et le bisphénol A, le protocole analytique est détaillé dans Cladière *et al.* (2010) (rapport Piren-Seine, 2010).

Tableau 1 : Composés étudiés

phtalates	di-methyl phthalate (DMP), di-ethyl phthalate (DEP), di-iso-butyl phthalate (DiBP), di-n-butyl phthalate (DnBP), butyl-benzyl phthalate (BBP), di-ethyl-hexyl phthalate (DEHP) and di-n-octyl phthalate (DnOP)
PCB	#18 #28 #33 #52 #44 #70 #101 #110 #77 #118 #153 #105 #138 #187 #128 #180 #170 #194 #195 #199 #206 7 norme CEE : Σ #28 + #52+#101+#118+#138+#153+#180 Dioxine-like : Σ #28, #33, #70, #77, #105, #118, #105, #170
PBDE	BDE 28, BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153, BDE 154, BDE 183, BDE 209
Bisphénol A	BPA
alkylphénols	Alkylphénols (AP), Nonylphénols (NP), Nonylphénol monoéthoxylé (NP1EO), Nonylphénol diéthoxylé (NP2EO) Octylphénols (OP), Octylphénol monoéthoxylé (OP1EO), Octylphénol diéthoxylé (OP2EO)

Le Tableau 2 présente les différentes campagnes d'échantillonnages réalisées selon la famille de contaminants.

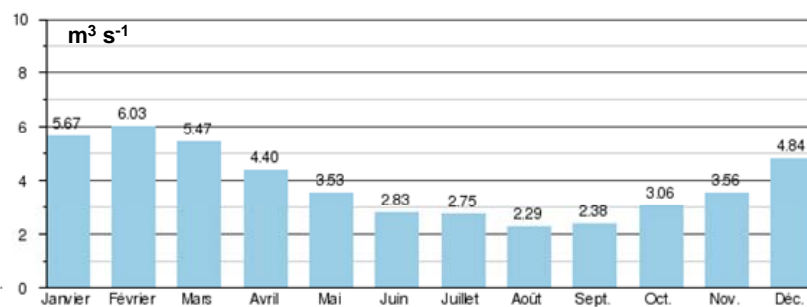
Tableau 2 : Campagnes en 2008/2009 et polluants étudiés

Campagne	Débites Orge	Phtalates	PCB	PBDE	AP/BPA
20/11/2008	Moyennes eaux (2.89 m ³ s ⁻¹)	X			
12/02/2009	Hautes eaux (9.49 m ³ s ⁻¹)	X			
26/03/2009	Moyennes eaux (3.02 m ³ s ⁻¹)	X	X	X	X
23/04/2009	Etiage (2.1 m ³ s ⁻¹)				X
28/05/2009	Etiage (2.42 m ³ s)	X		X	X
02/07/2009	Etiage (1.4 m ³ s)	X		X	X
10/09/2009	Etiage (1.36 m ³ s)	X	X	X	X
15/10/2009	Etiage (1.41 m ³ s ⁻¹)	X	X	X	X

Nos calculs de flux pour l'année 2009 au site de Viry-Châtillon ont été réalisés à partir des données de débit de la station de mesure de Morsang-sur-Orge.

Le débit de l'Orge a été étudié à Morsang-sur-Orge, à peu de distance de son confluent avec la Seine, de 1964 à 2009 (Figure 1). Le bassin versant de la rivière y est de 922 km² sur un total de 952 km² pour l'ensemble du bassin. Le débit moyen interannuel de la rivière à Morsang-sur-Orge est de 3,9 m³ par sec. Pour l'année 2009 nous avons mesuré un débit moyen de 3.09 m³/sec. L'Orge présente des fluctuations saisonnières de débit, avec des hautes eaux d'hiver-printemps portant le débit mensuel moyen à un niveau de 4,45 à 6,02 m³ par sec., de décembre à début mai inclus (avec un maximum en janvier-février) et des basses eaux d'été, de juillet à septembre, avec un minimum mensuel moyen de 2,29 m³ par sec., en août.

Figure 1 : Débit moyen interannuel (en m³/s) mesuré à la station hydrologique de Morsang-sur-Orge - données calculées sur 42 ans



3. Résultats

3.1. Concentrations de perturbateurs endocriniens

Globalement les concentrations ont été de 5 fois à 50 fois plus élevées dans les eaux usées que dans les eaux de surface pour l'ensemble des composés.

Les composés les plus abondants rencontrés dans les eaux usées et les eaux de surface ont été les phtalates (jusqu'à $6 \mu\text{g L}^{-1}$) suivis des NP1EO ($4.3 \pm 2.7 \mu\text{g L}^{-1}$) et des NP ($2.7 \pm 0.9 \mu\text{g L}^{-1}$). Ceci est en accord avec leur production élevée et leurs emplois variés. Le DEHP dont la production s'élevait à 3 millions de tonnes en 2001 a vu cependant sa production chuter du fait de l'emploi de phtalates de poids moléculaire plus élevé, le DiDP et le DiNP (Clara *et al.*, 2010). Les alkylphénols ont une production annuelle estimée à 500 000 tonnes (Ying *et al.*, 2002). Le BPA qui est aussi très largement employé (450 000 tonnes en 2007 selon Vandenberg *et al.*, 2007) est également représenté dans les eaux usées. Sa concentration médiane a été estimée à $1.4 \pm 0.6 \mu\text{g L}^{-1}$.

Les concentrations des PBDE (jusqu'à 60 ng L^{-1} pour le #209 dans les eaux usées) et les PCB (17 ng L^{-1} pour le #52) étaient beaucoup plus faibles dans nos échantillons du fait de la restriction de leurs usages pour les PBDE et de leur interdiction depuis de nombreuses années en ce qui concerne les PCB.

Pour les phtalates, le composé majoritaire a été le DiBP dans l'Orge et le DEHP dans les eaux usées, suivis par le DEP (Figure 2). Les concentrations en DEHP dans l'eau brute de l'Orge, au cours de l'année 2009 (Figure 2), sont restées inférieures à celles de la directive cadre sur l'eau du 16 décembre 2008 (2008/105/CE) concernant les substances retenues comme prioritaires (Tableau 3) avec des normes de qualité environnementale (NQE) en moyenne annuelle admissible (MA) et des NQE en concentration maximale admissible (CMA) pour des concentrations totales dans l'échantillon entier.

Les concentrations des différents phtalates dans l'Orge ont été du même ordre que dans une étude précédente sur la Seine (Teil *et al.*, 2007) et pour d'autres zones anthropisées (Peijnenburg et Struijs, 2006; Brossa *et al.*, 2003).

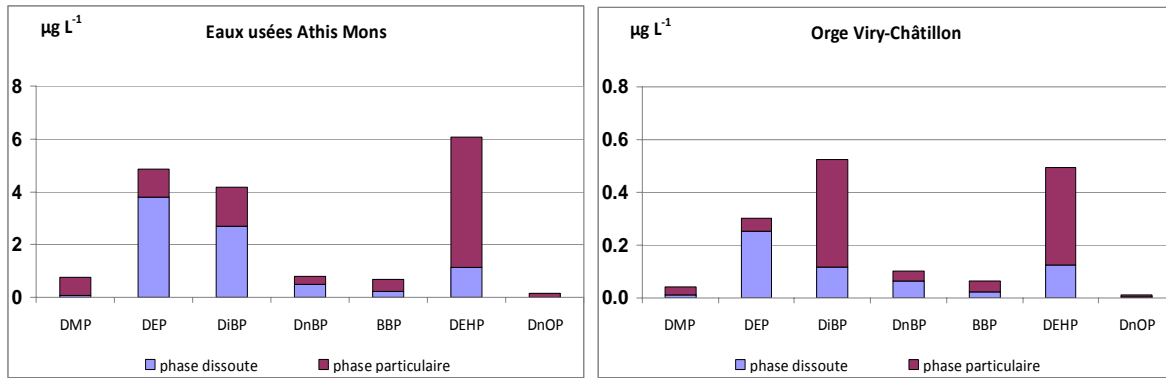


Figure 2 : Concentrations moyennes en phtalates dans la phase soluble et particulaire des eaux usées du collecteur d'Athis-Mons et de l'eau de l'Orge à Viry-Châtillon

Tableau 3 : NQE pour les composés étudiés

composé	NQE MA $\mu\text{g.L}^{-1}$	NQE CMA $\mu\text{g.L}^{-1}$
DEHP	1.3	
BDE (28, 47, 99, 100, 153, 154)	0.0005	
Nonylphénol	0.3	2
Octylphénol	0.1	

En ce qui concerne les PCB, bien que les niveaux restent faibles dans les eaux usées avec un rapport de 5 seulement avec les eaux de surface, on peut noter les valeurs les plus élevées pour les congénères moins chlorés dont une source constante d'apport est attribuée aux incinérateurs. Ces composés sont ensuite éliminés avec une efficacité d'environ 75 % au cours des traitements d'épuration (Blanchard *et al.*, 2001).

Dans les eaux de surface la concentration moyenne (en Somme des congénères) ont été 4 à 5 fois plus faibles que dans notre étude antérieure il y a 15 ans en Seine, reflétant l'abandon de ces composés (Chevreuil *et al.*, 1996).

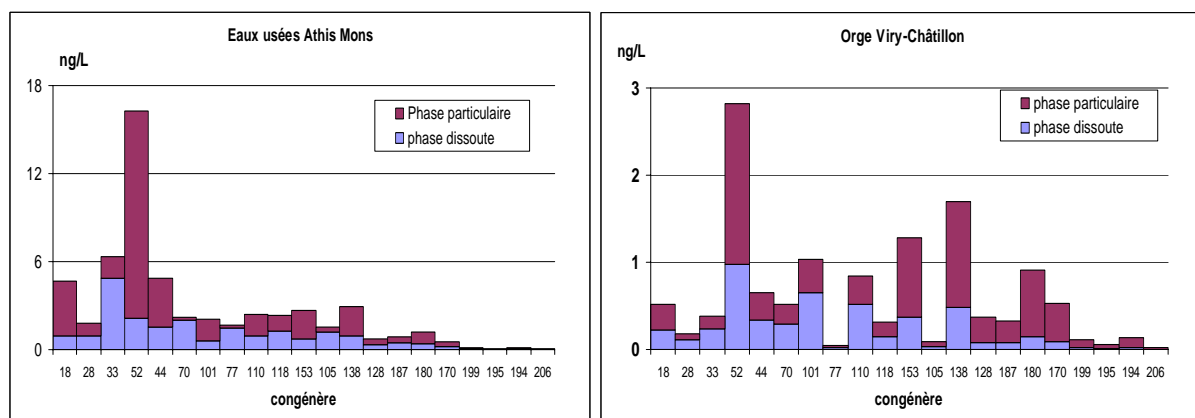


Figure 3 : Concentrations moyennes en PCB dans la phase soluble et particulaire des eaux usées du collecteur d'Athis Mons et de l'eau de l'Orge à Viry-Châtillon

Les profils de composés sont très voisins entre les eaux de surface et les eaux usées avec cependant une proportion plus importante de phase particulaire dans les eaux usées. Les concentrations en PBDE rencontrées dans les eaux de surface (Figure 4) ont été du même ordre de grandeur que celles observées pour d'autres sites anthropisés en Europe (Law *et al.*, 2006). Le congénère 209 est présent à un niveau de concentration de 25 à 66 fois plus élevé que le congénère 47 en relation avec son niveau de production plus élevé ainsi que son interdiction plus récente que les autres composés.

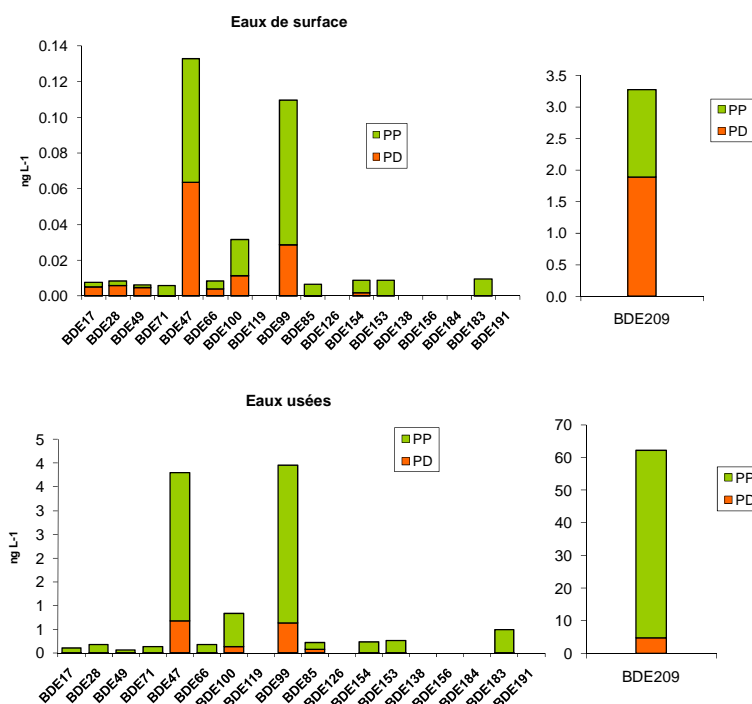


Figure 4 : Concentrations moyennes en PBDE dans la phase soluble et particulaire des eaux usées du collecteur d'Athis Mons et de l'eau de l'Orge à Viry-Châtillon

Les distributions des alkylphénols pour les eaux usées et les eaux de surface sont illustrées sur la Figure 5. Les concentrations médianes en BPA ont été respectivement estimées à $1\,389 \pm 559 \text{ ng.l}^{-1}$ et à $36 \pm 16 \text{ ng.l}^{-1}$ pour les eaux de surface. Ces concentrations apparaissent globalement du même ordre de grandeur que les concentrations reportées par Clara *et al.* (2005) pour les eaux usées ($0.7 - 2.3 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$) ou par Jonker *et al.* (2009) pour les eaux de surface ($2 - 46 \text{ ng.l}^{-1}$). Pour les alkylphénols, les nonylphénols sont prédominants. Quelle que soit la matrice considérée, on observe un rapport de 10 à 1 entre les nonylphénols et les octylphénols. Le niveau observé pour l'Orge est comparable à celui mesuré dans la Seine jusqu'à Poses (Cladière *et al.*, 2010, Rapport Piren 2010) ainsi que dans l'estuaire (Cailleaud *et al.*, 2007). Pour les eaux usées, en dépit de la mise en place d'une réglementation limitant l'usage des AP dans plusieurs secteurs industriels (directive européenne 2003/53/CE), les niveaux de concentrations demeurent importants et pour certaines molécules supérieurs à $1 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ (exemple du NP, NP1EO et NP2EO). Des niveaux similaires ont été également reportés dans la littérature par Clara *et al.* (2005) pour le NP ($1.2 - 4.0 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$), le NP1EO ($4.0 - 7.1 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$) et le NP2EO ($0.6 - 4.6 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$).

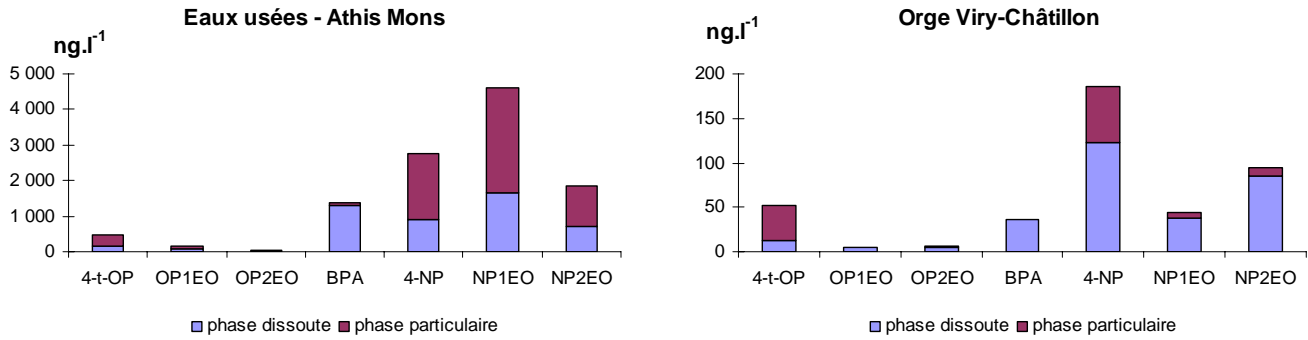


Figure 5 : Concentrations médianes en alkylphénols et bisphénol A dans la phase soluble et particulaire des eaux usées du collecteur d'Athis Mons et de l'eau de l'Orge à Viry-Châtillon

La répartition des différents polluants entre phases dissoute et particulaire, est présentée dans le . Cependant, l'état adsorbé n'est pas nécessairement une protection contre la contamination. Il semble que la matière particulaire joue également un rôle de vecteur de polluants vers les organismes vivants (Brandon *et al* ; 2006).

Tableau 4. En relation avec une teneur en matières organiques plus élevée, la proportion de certains composés en phase particulaire est plus forte dans les eaux usées. Ainsi dans les eaux de surface, les NP et le BPA sont majoritairement dissous alors que dans les eaux usées, seul le BPA reste majoritairement dissous, tandis que les alkylphénols deviennent prépondérants en phase particulaire.

Dans les eaux de surface, la phase dissoute représentant classiquement la partie biodisponible des polluants, directement capable d'effets perturbateurs endocriniens, reste minoritaire. Il faut également mentionner la notion de bioaccessibilité qui intègre en plus, la fraction du contaminant considéré arrivant dans la lumière du tube digestif à l'état lié (liaison chimique ou adsorption) et libérée par l'action des enzymes (Semple *et al.*, 2004). Cependant, l'état adsorbé n'est pas nécessairement une protection contre la contamination. Il semble que la matière particulaire joue également un rôle de vecteur de polluants vers les organismes vivants (Brandon *et al* ; 2006).

Tableau 4 : Répartition des polluants en phase particulaire dans l'Orge et les eaux usées du collecteur d'Athis-Mons

	Phtalates	
	Orge	Eaux usées
%		
DMP	72	89
DEP	16	22
DiBP	77	36
DnBP	37	39
BBP	63	64
DEHP	75	81
DnOP	63	97
	PCB	
Σ 7 norme CEE	65	76
Dioxin like	54	27
Σ 21 congénères	62	62
	AP et BPA	
Médiane	Orge	Eaux usées
± écart-type	(n = 6)	(n = 5)
BPA	2 ± 2	7 ± 4
NP	31 ± 17	68 ± 19
NP1EO	18 ± 9	68 ± 15
NP2EO	9 ± 6	77 ± 19
OP	80 ± 15	74 ± 29

OP1EO	-	60 ± 13
OP2EO	9 ± 6	68 ± 29

3.2. Flux de contaminants

Le débit de l'Orge à Morsang pour la période d'étude, a été de 96 981 408 m³/an, alors que celle du collecteur d'Athis-Mons était de 51 153 942 m³/an.

Des périodes de hautes eaux c'est-à-dire avec un débit de l'Orge supérieur à 4.45 m³/sec, ont été observées pour la campagne du 12/02/2009 et pendant 56 jours (débit moyen 6.94 m³/sec.). Des débits moyens compris entre 2.75 m³/sec et 4.45 m³/sec ont été rencontrés au cours de 2 campagnes (20/11/2008 et 26/03/2009) et pendant 93 jours (débit moyen 3.34 m³/sec.). Enfin, 4 campagnes ont été classées en période d'étiage avec un débit inférieur à 2.75 m³/sec. (28/05/2009, 02/07/2009, 10/09/2009, 15/10/2009) ainsi que 216 jours (débit moyen 2.16 m³/sec.) (Figure 6). Ces valeurs de débit ont été attribuées aux concentrations des composés pour calculer les flux journaliers aux 3 conditions hydrologiques étudiées.

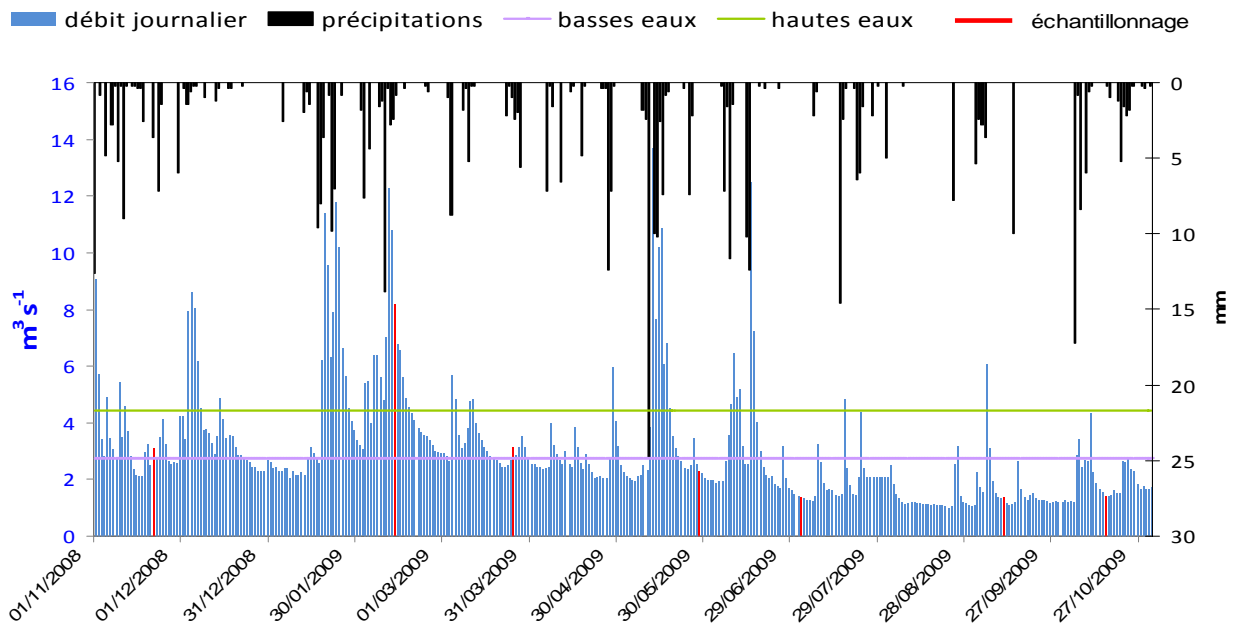


Figure 6 Evolution du débit de l'Orge et des précipitations pendant la période d'étude

Les flux de contaminants sont de 5 à 10 fois plus élevés dans les eaux usées que dans les eaux de l'Orge pour les PCB et les phtalates. Pour les AP et les PBDE les valeurs sont jusqu'à 83 (NP2EO) et 200 fois (#209) plus élevées pour les eaux usées (Tableau 5).

Globalement les composés à effet estrogénique ont présentés des flux très supérieurs aux composés à effet thyroïdien. Cependant, il faut noter que ces composés sont actifs à des niveaux très supérieurs à ceux des estrogènes.

Tableau 5 : Flux de contaminants en g/jour dans l'Orge au cours de différentes conditions hydrologiques

	Athis Mons		Orge	
	Phtalates g.j ⁻¹			
	Eaux usées Flux médian ± écart-type	Hautes eaux n=1 (> 4.45 m ³ /s)	Etiage n=4 (< 2.75 m ³ /s)	débit moyen n=2 (2.75 – 4.45 m ³ /s)
DMP	12 ± 15	54	2	23
DEP	665 ± 553	86	58	68

DiBP	505 ± 471	79	133	84
DnBP	82 ± 42	42	14	35
BBP	40 ± 1	8	3	46
DEHP	205 ± 293	61	80	218
DnOP	1 ± 2	6	0	8
Σ 7 phtalates	1510 ± 807	337	290	481
PBDE g.j⁻¹				
		Hautes eaux	Etiage (n = 4)	débit moyen (n = 1)
# 209	2.77	Pas de campagne	0.505	0.013
Σ 7 congénères	0.53		0.062	0.012
Σ 19 congénères	3.34		0.575	0.027
PCB g.j⁻¹				
		Hautes eaux	Etiage (n = 2)	débit moyen (n = 1)
Σ 7 norme CEE	4.27	Pas de campagne	0.83	2.4
Dioxin like	2.40		0.18	0.67
Σ 21 congénères	8.08		1.26	3.77
AP et BPA g.j⁻¹				
		Hautes eaux	Etiage (n = 5)	débit moyen (n = 1)
BPA	189 ± 101	Pas de campagne	6.9 ± 3.0	62.8
NP	545 ± 122		37.8 ± 12.2	106.8
NP1EO	396 ± 67		23.9 ± 15.1	29.6
NP2EO	852 ± 437		10.2 ± 6.8	19.5
OP	67 ± 38		11.0 ± 8.0	13.3
OP1EO	16 ± 17		1.2 ± 0.6	1.0
OP2EO	9 ± 3		1.1 ± 0.5	1.3

Les concentrations de polluants dans l'Orge à l'exutoire du bassin ayant présenté une grande variabilité, les flux maximaux et minimaux ont été estimés à partir des valeurs extrêmes rencontrées au cours des différentes campagnes afin d'avoir une estimation représentative (Tableau 6).

Tableau 6 : Flux de contaminants maximal et minimal estimés en kg/an dans l'Orge à Viry-Châtillon pour l'année 2009

	Flux annuel min	Flux annuel max
kg/an	phtalates	
DMP	1.3	9.6
DEP	8.9	62.5
DiBP	12.9	137.5
DnBP	2.6	12.6
BBP	1.1	23.0
DEHP	9.9	112.6
DnOP	0.8	2.5
Σ 7 phtalates	54.5	253.3
	PBDE	
# 209	0.043	0.707
Σ 7 congénères	0.016	0.055
Σ 19 congénères	0.060	0.768
	PCB	
Σ 7 norme CEE	0.66	1.1
Dioxin like	0.14	0.31
Σ 21 congénères	1.01	1.71
	Alkylphénols	
BPA	2	21
NP	13.4	21.0
NP1EO	7.8	9.1
NP2EO	2.6	5.1
OP	1	5
OP1EO	0.3	0.5
OP2EO	0.3	0.6

Les flux moyens annuels de contaminants en 2009 présentent des valeurs non négligeables notamment pour les phtalates et les alkylphénols dans le bassin de l'Orge en relation avec l'omniprésence de ses composés dans notre environnement du fait de leurs nombreux domaines d'application (Tableau 7).

Tableau 7 : Flux moyen annuel des contaminants en 2009 dans les eaux usées du collecteur d'Athis Mons et dans l'Orge à Viry-Châtillon

kg/an	Eaux usées*	Orge	Flux eaux usées / Flux Orge
phtalates			
DMP	4 ± 5.3	1	0.7
DEP	230 ± 191	22	10.6
DiBP	175 ± 164	33	5.3
DnBP	28 ± 14	9	3.1
BBP	14 ± 7	2	9.2
DEHP	71 ± 101	34	2.1
DnOP		1	
Σ 7 phtalates	523 ± 279	113	4.6
PBDE			
# 209	2.8	0.258	10.7
Σ 7 congénères	0.5	0.015	34.4
Σ 19 congénères	3.3	0.275	12.1
PCB			
Σ 7 norme CEE	1.86	0.80	2.3
Dioxin like	1.04	0.20	5.2
Σ 21 congénères	3.52	1.24	2.8
AP et BPA			
BPA	71 ± 28	14.6	4.9
NP	140 ± 48	30.5	4.6
NP1EO	221 ± 152	11.4	9.0
NP2EO	102 ± 25	8.41	26.3
OP	20 ± 18	5.1	3.9
OP1EO	9 ± 9	0.5	18.0
OP2EO	2 ± 1	0.5	3.8

- Calcul établi à partir des concentrations médianes totales et du débit d'eaux usées sur le collecteur d'Athis Mons, soit 51 153 942 m³/an
- Dans le cas des AP, des PCB et des PBDE, les flux dans l'Orge sont probablement sous-estimés étant donné que les concentrations obtenues lors des campagnes de débit moyen ont été également appliquées aux périodes de hautes eaux.

4. Conclusions - Perspectives

Différentes familles chimiques de contaminants classés perturbateurs endocriniens ont été identifiés et suivis dans les eaux usées et les eaux de surface du bassin de l'Orge.

Les niveaux de présence sont comparables à ceux décrits pour d'autres zones anthropisées. Ceux-ci sont en accord avec les niveaux de production industrielle et pour certains reflètent l'effet des restrictions de la législation.

Cette étude devra être complétée par des points en période de hautes eaux dans l'Orge.

Les niveaux de contamination rencontrés dans l'Orge à l'exutoire du bassin seront à confronter avec les résultats des tests biologiques réalisés sur culture cellulaire pour les activités thyroïdiennes pour les PCB et les PBDE et estrogéniques pour les phtalates, les alkylphénols et le BPA.

Afin d'établir un risque environnemental et sanitaire, au niveau du bassin de l'Orge, on étudiera la bioaccumulation de ces composés dans plusieurs espèces de poissons de l'Orge (gardon, chevesne, brème et perche) au site de Viry-Châtillon, à différentes périodes de l'année, pour tenir compte des variations liés au cycle de reproduction.

5. Références bibliographiques

- Blanchard M., Teil M.J., Ollivon D., Garban B., Chesterikoff C. and Chevreuil M. (2001). Origin and distribution of persistent organic pollutants in urban effluents to wastewater treatment plants of the Paris area. *Water Research*, 35, 3679-3687.
- Brandon EFA, Oomen AG, Rompelberg CMJ., Versantvoort CHM, Van Engelen JGM., Sips AJAM (2006). Consumer product in vitro digestion model : bioaccessibility of contaminants and its application in risk assesment. *Regulatory toxicology and pharmacology*, 44, 161-171.
- Cailleaud K, Forget-Leray J, Souissi S, Lardy S, Augagneur S, Budzinski H (2007). Seasonal variation of hydrophobic organic contaminant concentrations in the water-column of the Seine Estuary and their transfer to a planktonic species *Eurytemora affinis* (Calanoid, copepod). Part 2: Alkylphenol-polyethoxylates. *Chemosphere*, 70, 281-287.
- Chevreuil M, Blanchard M, Teil MJ, Carru AM, Testard P, and Chesterikoff A. (1996). Evaluation of the pollution by organochlorinated compounds (polychlorobiphenyls and pesticides) and metals (Cd, Cr, Cu and Pb) in the water and in the zebra mussel (*Dreissena polymorpha* Pallas) of the river Seine. *Water, Air and Soil Pollution*, 88, 371-381.
- Cladière M., Gasperi J, Lorgeoux C, Tassin B. Alkylphénols et bisphénol A dans le bassin de la Seine : Évolution des concentrations et des flux de Marnay à Poses.. Rapport d'avancement PIREN-Seine, Janvier 2010, X p.
- Clara M., Windhofer G., Harti W., Braun K., Simon M., Gans O., Scheffknecht C., Chovanec A. (2010). Occurrence of phthalates in surface runoff, untreated wastewater and fate during wastewater treatment. *Chemosphere*, available on line.
- Clara M., Strenn, B., Gans, O., Martinez, E., Kreuzinger, N., Kroiss, H. (2005). Removal of selected pharmaceuticals, fragrances and endocrine disrupting compounds in a membrane bioreactor and conventional wastewater treatment plants. *Water Research* 39, 4797-4807.
- Jonkers N., Kohler, H.-P.E., Dammshäuser, A., Giger, W., (2009). Mass flows of endocrine disruptors in the Glatt River during varying weather conditions. *Environmental Pollution* 157, 714-723.
- Law C, Allchin CR, de Boer J, Covaci A, Herzke D, Lepom P, Morris S, Tronczynski J, de Wit C. (2006). Levels and trends of brominated flame retardants in the European environment. *Chemosphere* 64 : 187-208.
- Simple K.T., Doick K.J., Jones K.C., Burauel P., Craven A., Harms H. (2004) Defining bioavailability and bioaccessibility of contaminated soil and sediment is complicated. *Environmental Science and Technology*, 229 A-231A.
- Vandenberg L. N., Hauser R., Marcus M., N. Olea N., Welshons W. V. (2007). "Human exposure to bisphenol A (BPA)." *Reproductive Toxicology* 24(2): 139-177.
- Ying G.-G., Williams Band, Kookana B (2002). "Environmental fate of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates--a review." *Environment International* 28(3): 215-226.

Remerciements :

Nous tenons à remercier Sylvain Fouillaud ainsi que l'équipe du SIAAP pour l'organisation et la collecte des échantillons d'eaux usées.