



QUALITÉ DE L'EAU ET CONTAMINATIONS DANS L'ESTUAIRE DE LA SEINE

Les substances pharmaceutiques

Problématique

Dans l'environnement, le terme de « micro-polluant émergent », désigne des substances :

■ dont la détection dans le milieu aquatique s'explique par de nouveaux usages sur le bassin versant, ou par l'amélioration significative des instruments et des procédures analytiques ;



Bords de Seine à Rouen

■ qui présentent un danger sanitaire ou environnemental inconnu jusqu'alors. Ainsi, ces molécules émergentes peuvent être d'origine récente dans l'environnement ou au contraire être présentes depuis plusieurs décennies à des teneurs parfois non négligeables. Il s'agit de produits cosmétiques ou de substances pharmaceutiques (hormones, stéroïdes, antibiotiques...), de composants d'objets manufacturés (retardateurs de flamme, plastifiants, nanoparticules...), de substances utilisées dans

l'industrie (biocides, tensio-actifs...) ou dans le milieu agricole – culture ou élevage – (pesticides, produits pharmaceutiques...).

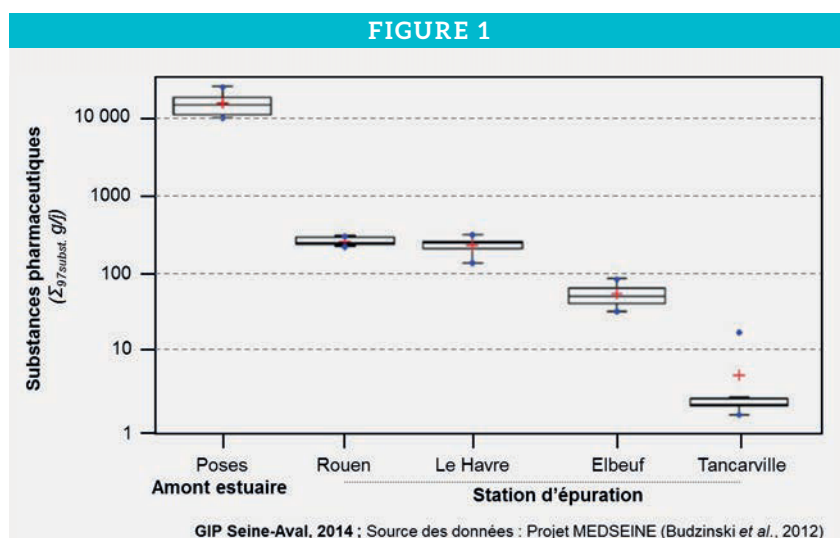
Parmi ces micropolluants, les substances pharmaceutiques regroupent différentes classes thérapeutiques (antibiotiques, anti-inflammatoires, antalgiques, psychotropes, bêtabloquants, hypolipémiants, etc) caractérisées par une grande diversité dans leur structure chimique et leurs activités biologiques. En France, l'ordre de grandeur est de 3 000 molécules prescrites en médecine humaine et de 300 molécules liées aux pratiques vétérinaires. Après ingestion par l'Homme ou les animaux, la molécule est rejetée via les urines ou les fèces sous la forme initiale ou sous forme de métabolites. Ces résidus sont rejetés dans l'environnement aquatique, principalement via les effluents traités de station d'épuration des eaux usées qui permettent une élimination plus ou moins complète, fonction de la dégradabilité propre à chaque substance [MEDTL & MTES, 2011], et via le ruissellement ou le lessivage des zones agricoles.

A l'échelle d'un bassin versant, les apports en substances pharmaceutiques d'origine humaine sont principalement dus aux zones urbaines et, dans une moindre mesure, aux hôpitaux ; alors que les apports d'origine animale sont liés aux zones d'élevage intensif (aquaculture, élevage porcin, ovin ou aviaire).

■ Cette fiche thématique présente un bilan des connaissances sur les apports et le devenir des substances pharmaceutiques à l'estuaire de la Seine. Afin de mieux comprendre le déterminisme de cette contamination, une étude plus précise sur un continuum hospitalier et un continuum agricole qui se rejette dans la Risle est présentée.

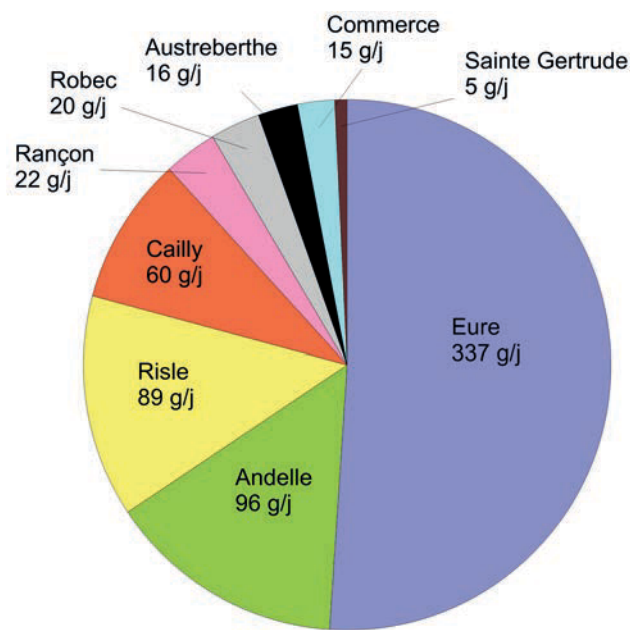
Des apports de l'amont, mais également internes à l'estuaire

Dans l'estuaire de la Seine, les apports principaux en substances pharmaceutiques proviennent du bassin versant de la Seine, avec un flux à Poses largement supérieur aux apports intra-estuariens (stations d'épuration urbaines ou affluents). La recherche d'une centaine de substances pharmaceutiques au niveau du barrage de Poses et en sortie des stations d'épuration (STEP) d'Elbeuf, de Rouen, de Tancarville et du Havre montre ainsi que le flux total en entrée d'estuaire (à Poses) est de l'ordre de 15 kg/j, contre quelques dizaines à centaines de grammes apportés par les stations d'épuration de l'estuaire [Figure 1 ; Budzinski *et al.*, 2012].



Flux de substances pharmaceutiques ($n = 97$) dans l'estuaire de la Seine à Poses et dans les rejets des STEP de l'estuaire.

FIGURE 2



Source des données : Budzinski *et al.*, 2006 ; Budzinski, 2007 ; Banque HYDRO

Part des affluents intra-estuariens dans les apports en substances pharmaceutiques ($n = 17$) à l'estuaire.

Des campagnes antérieures (2005-2006) avaient permis d'estimer la part respective des affluents intra-estuariens dans les apports à l'estuaire pour 17 substances pharmaceutiques. L'Eure, l'Andelle et la Risle cumulent plus de 75 % des apports totaux qui représentent près de 700 g/j [Figure 2]. Une analyse plus détaillée des résultats montre que le débit des cours d'eau est un facteur majeur dans le bilan des apports et que le flux n'est pas nécessairement représentatif du niveau de contamination (i.e. concentration mesurée). Ainsi, bien que l'Eure présente le flux le plus important, son niveau de contamination est faible (~ 200 ng/l) ; inversement pour le Commerce, l'Andelle, le Robec ou le Cailly qui montrent des concentrations plus importantes (plusieurs centaines de ng/l), mais des flux faibles en lien avec des débits moindres de ces rivières. L'abondance du paracétamol dans la contamination de ces trois affluents est symptomatique de l'absence de traitement biologique (ou de l'absence totale de traitement) des eaux usées rejetées dans ces cours d'eau. Les autres affluents montrent une contamination plus représentative des zones anthropisées, dont les effluents domestiques sont contrôlés et traités [Budzinski *et al.*, 2006 ; Budzinski, 2007].

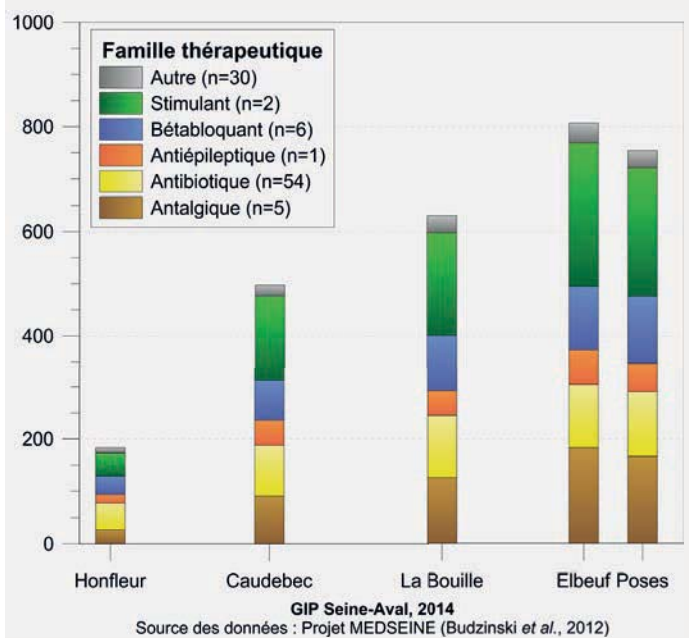
Des profils de contamination liés aux sources

Source majoritaire d'apports en substances pharmaceutiques à l'estuaire de la Seine, l'activité anthropique de la région parisienne gouverne les profils de contamination qui y sont observés. Sur une centaine de molécules recherchées, **41 substances pharmaceutiques** ont été détectées dans l'estuaire de la Seine. Les profils retrouvés sont dominés par les anti-inflammatoires non stéroïdiens (kétoprofène, ibuprofène, diclofénac), les bêtabloquants (sotalolol, aténolol), des antibiotiques (érythromycine, spiramycine), la caféine ou encore un antiépileptique (carbamazépine) [Figure 3 ; Budzinski *et al.*, 2012].



Risle maritime

FIGURE 3



Concentration en substances pharmaceutiques le long de l'estuaire de la Seine.

Ces données acquises par échantillonnage ponctuel ont été complétées par un suivi mobilisant des échantillonneurs passifs (de type POCIS) qui a montré la présence d'autres substances dans l'estuaire de la Seine (oxazepam, acébutolol, cétirizine, bezafibrate, etc.) [Budzinski *et al.*, 2012]. Cette méthodologie innovante permet la détection de substances

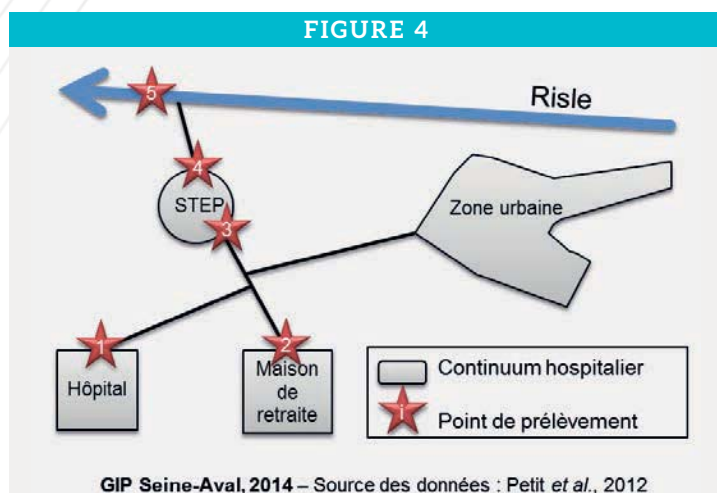
hydrophiles présentes à de très faibles concentrations dans le milieu et donne accès à une concentration moyenne sur la durée d'exposition, contrairement à l'échantillonnage ponctuel qui donne une image instantanée de la contamination.

La concentration totale en substances pharmaceutiques reste faible (<1µg/l). Elle est maximale à l'amont de Rouen et décroît vers l'embouchure de la Seine, indiquant une dilution progressive, ainsi que très certainement une dégradation de certaines de ces substances. A ce titre, il est intéressant de comparer les profils de contamination observés dans le milieu de ceux observés en sortie de STEP où **71 substances pharmaceutiques** (sur 97 molécules suivies) ont été détectées. Les profils de contamination de ces rejets sont légèrement différents et dominés par les bêtabloquants (sotalol, aténolol, propranolol, bisoprolol), des antibiotiques (ciprofloxacine, norfloxacine, clarithromycine, érythromycine), des anti-inflammatoires non stéroïdiens (diclofénac, kétoprofène) et un antiépileptique (carbamazépine) [Budzinski *et al.*, 2012].

Que ce soit dans le milieu estuarien ou dans les effluents de STEP, aucune évolution qualitative ou quantitative marquée n'a été observée depuis le début des années 2000. De même, les concentrations en sortie de STEP sont dans la gamme des concentrations moyennes des STEP européennes, dont le rendement d'élimination est supérieur à 80 % pour de nombreuses molécules [Budzinski *et al.*, 2012 ; Togola, 2006].

Étude de cas sur la Risle

FIGURE 4



GIP Seine-Aval, 2014 – Source des données : Petit *et al.*, 2012

Points de prélèvement sur le continuum hospitalier.

Afin d'identifier les sources en substances pharmaceutiques et leur devenir dans le milieu, un suivi fin a été mené sur la Risle pour différentes classes thérapeutiques. Deux continums ont été échantillonnés en plusieurs points : un **continuum hospitalier** (maison de retraite/hôpital-station d'épuration – Risle) et un **continuum agricole** (zones forestières/élevage – zone urbaine – Risle) avec un fort gradient d'anthropisation : 4 592 bovins /396 habitants à l'amont, et 9058 habitants et 45 bovins à l'aval) [Figure 4 ; Petit *et al.*, 2012].

Sur le continuum hospitalier, une contamination importante est observée par les antalgiques et les anti-inflammatoires (rejets de l'hôpital et de la maison de retraite), les antibiotiques (rejets hospitaliers) et dans une moindre mesure, par les bêtabloquants

(rejets de la maison de retraite et zone urbaine) ou les antiépileptiques et antidépresseurs (rejets de la maison de retraite) [Tableau 1]. Les rejets des centres de soin (hôpital et maison de retraite) sont plus concentrés en hiver qu'en été, essentiellement en lien avec des prescriptions hivernales en antibiotiques plus importantes [Oberlé *et al.*, 2012]. L'inverse est observé dans les eaux brutes à l'entrée de la STEP avec des concentrations plus importantes en été qui s'expliquent par une dilution hivernale des eaux usées par les eaux de pluie. Une baisse générale de la concentration totale en substances pharmaceutiques est observée le long du continuum, le traitement de la STEP permettant un abattement général de cette contamination, à l'exception de quelques molécules qui résistent à ces traitements [Petit *et al.*, 2012].

Le long du continuum agricole, les analgésiques, les anti-inflammatoires, les antibiotiques et les bêta-bloquants sont également les composés les plus abondants dans l'eau. Les antibiotiques détectés (érythromycine, lincomycine, enrofloxacin) soulignent l'influence des pratiques d'élevage de bovins sur cette contamination environnementale. Une hausse de la contamination est observée de l'amont vers l'aval du réseau hydrographique, qui s'explique par l'augmentation des apports d'origine humaine (fosses septiques et rejets de la STEP) qui s'ajoutent aux apports diffus (zones agricoles) en fonction du gradient d'anthropisation le long de ce continuum.

TABLEAU 1 Contamination en substances pharmaceutiques le long d'un continuum hospitalier.

Classe thérapeutique	1-Hopital	2- Maison de retraite	3-Entrée STEP	4-Sortie STEP	5-Rivière
Antalgiques et antiinflammatoires	Orange	Orange	Rouge	Vert	Vert
Antibiotiques	Rouge	Orange	Vert	Vert	Vert
Bêta-bloquants	Orange	Orange	Vert	Vert	Vert
Anti-cancéreux / Anti-VIH	Vert	Vert	Vert	Vert	Vert
Anti-épileptique et anti-dépresseurs	Vert	Vert	Vert	Vert	Vert
Bronchodilatateurs	Vert	Vert	Vert	Vert	Vert
Hypolipémiants	Vert	Vert	Vert	Vert	Vert
Stimulants	Orange	Orange	Orange	Vert	Vert

Concentration moyenne (été/hiver 2009)					
<100ng/l	100ng/l – 1µg/l	1 – 10µg/l	10 – 100µg/l	100µg/l – 1mg/l	>1mg/l



L'essentiel

Des différents suivis de substances pharmaceutiques menés dans l'estuaire de la Seine ont permis de confirmer sa contamination par ces composés et son aspect pérenne dans le temps. Aucune évolution quantitative ou qualitative marquée depuis le début des années 2000 n'est observée, l'amélioration des traitements au sein des STEP ayant probablement contrebalancé l'augmentation des prescriptions en médecines humaine et vétérinaire.

Les 3 classes de substances pharmaceutiques les plus abondantes sont les anti-inflammatoires non stéroïdiens, les bêtabloquants et les antibiotiques, bien que

les antiépileptiques, antidépresseurs, anti-VIH, anti-cancéreux soient aussi détectés. Les apports principaux proviennent de l'amont (agglomération parisienne), avec un flux à Poses de l'ordre de 15 kg/jour. La contribution des apports estuariens (affluents et rejets des stations d'épuration des eaux usées) est moindre : de 10 à 100 g par jour.

Au-delà des résultats acquis sur l'origine et le devenir des substances pharmaceutiques, une méthode analytique couplée à une stratégie d'échantillonnage *in situ* a été développée et pourra être mise à profit pour la surveillance de la qualité de l'eau de l'estuaire.



Barrages de Poses

© C. Dégremont

Sources et méthodes

FIGURE 1 Cette figure représente le flux en substances pharmaceutiques (97 molécules recherchées) à l'entrée de l'estuaire de la Seine (au barrage de Poses), ainsi que dans les effluents des stations d'épuration (STEP) d'Elbeuf, de Rouen, de Tancarville et du Havre (respectivement 118 000, 500 000, 1 800 et 300 000 équivalents habitants). Les données ont été acquises entre mars et novembre 2011 pour les mesures en Seine à Poses (8 campagnes) et entre mai et novembre 2011 pour les effluents de STEP (6 campagnes).

[Source des données : Budzinski et al., 2012]

FIGURE 2 Cette figure représente la part respective des affluents intra-estuariens dans le flux en substances pharmaceutiques (17 molécules recherchées). Les flux représentés considèrent la moyenne de trois campagnes menées dans des conditions hydrologiques différentes (mai 2005, février 2006, juillet 2006).

[Source des données : Budzinski et al., 2006 ; Budzinski, 2007 ; Banque HYDRO]

FIGURE 3 Cette figure représente la concentration totale en substances pharmaceutiques (97 molécules recherchées) en 5 points de l'estuaire de la Seine (Poses, Elbeuf, La Bouille, Caudebec-en-Caux, Honfleur), selon les principaux usages thérapeutiques (antalgique, antibiotique, antiépileptique, bêta-bloquant, stimulant, autre). Les données ont été acquises entre mars et novembre 2011 (8 campagnes).

[Source des données : Budzinski et al., 2012]

TABLEAU 1 Ce tableau présente le niveau de contamination moyen (été/hiver) pour différentes classes thérapeutiques, en 5 points (rejets d'un hôpital, d'une maison de retraite, entrée et sortie de STEP, milieu récepteur). Les campagnes se sont déroulées en juin et décembre 2009.

[Source des données : Petit et al., 2012]

FIGURE 4 Cette figure représente les points de prélèvements du continuum hospitalier pour l'analyse des substances pharmaceutiques.

[Source des données : Petit et al., 2012]



Références bibliographiques

- Budzinski H., Augagneur S., Le Menach K., Togola A., Lardy S., 2006. **Nouvelles classes de contaminants de l'estuaire de la Seine : Alkylphénols, hormones stéroïdiennes, antibiotiques, analgésiques et hypolipémiants.** Projet Seine-Aval 3, 32 p.
- Budzinski H., 2007. **Nouvelles classes de contaminants de l'estuaire de la Seine : Alkylphénols, hormones stéroïdiennes, antibiotiques, analgésiques et hypolipémiants.** Projet Seine-Aval 3, 29 p.
- Budzinski H. (coord.), Forget-Leray J., Ait-Aïssa S., 2012. **Projet MEDSEINE : Etude de la contamination par les médicaments de l'estuaire de la Seine. Application des capteurs passifs à un meilleur diagnostic de leur présence, flux et impact toxique.** Projet Seine-Aval 4, 53 p.
- Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDTL) & Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Santé (MTES), 2011. **Plan national sur les résidus de médicaments dans les eaux.** 26 p. et annexes.
- Oberlé K., Capdeville M.J., Berthe T., Budzinski H., Petit F., 2012. **Evidence for a complex relationship between antibiotics and antibiotic-resistant *Escherichia coli*: from Medical center patients to a receiving environment.** Env. Sci. Technol. 46 (3), 1859 - 1868 pp.
- Petit F. (coord.), Denamur E., Budzinski H., Leclercq R., Favennec L., Chevé M., Bussi M., Féménias D., Garnier J., 2012. **Projet FLASH : Devenir des antibiotiques, Flux de gènes et de bactéries Antibiorésistantes en estuaire de Seine, épidémiologie, exposition à l'Homme.** Projet Seine-Aval 4, 155p.
- Togola A., 2006. **Présence et devenir des substances pharmaceutiques dans les écosystèmes aquatiques.** Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 315 p.



Cette fiche thématique s'intègre dans le système d'observation de l'état de santé de l'estuaire de la Seine et de son évolution.

Réalisation :

Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval - Pôle Régional des Savoirs - 115 boulevard de l'Europe - 76100 ROUEN - www.seine-aval.fr

Infographie :

Partenaires d'Avenir

Crédits photos :

GIP Seine-Aval

Date d'édition :

novembre 2014

Contact : gipsa@seine-aval.fr

