

Flux en contaminants à l'estuaire de la Seine



GIP Seine-Aval (C. Fisson)

Février 2015



GIP Seine-Aval
Pôle Régional des Savoirs
115 boulevard de l'Europe
76100 Rouen

tel : 02 35 08 37 64
fax : 02 35 98 03 93
mail : gipsa@seine-aval.fr
web : <http://www.seine-aval.fr>

Sommaire

SOMMAIRE	2
TABLES DES ILLUSTRATIONS	3
LISTE DES FIGURES	3
LISTE DES TABLEAUX	3
INTRODUCTION	4
I. METHODOLOGIE	5
A. FAMILLES DE SUBSTANCES CHIMIQUES	5
B. ZONE D'ETUDE ET SOURCES DE CONTAMINANTS	9
C. PERIODE	10
D. DONNEES DISPONIBLES	11
E. CALCUL DU DEBIT DE LA SEINE ET DES AFFLUENTS	13
F. CALCUL DES FLUX	14
II. RESULTATS	15
A. REJETS INDUSTRIELS	15
B. REJETS DES STEP	17
C. APPORT DES AFFLUENTS ET DE LA SEINE.....	18
III. BILAN DES APPORTS	30
ABREVIATIONS	32
BIBLIOGRAPHIE	33

Tables des illustrations

Liste des figures

Figure 1 : Occupation du sol du bassin versant de la Seine.....	9
Figure 2 : Sources et voies de transfert des polluants dans un cours d'eau.....	10
Figure 3 : Rejets directs (industriels et urbains) dans l'estuaire de la Seine.....	11
Figure 4 : Stations de mesure de la qualité des eaux.....	12
Figure 5 : Station de mesure et de calcul du débit.....	12
Figure 6 : Calcul du débit à la confluence avec la Seine – exemple pour le bassin versant de la Lézarde.....	13
Figure 7 : Flux industriels à l'estuaire de la Seine (flux >100kg/an, 2008-2012) – données IREP.....	16
Figure 8 : Flux urbains à l'estuaire de la Seine (flux > 40kg/an, 2008-2012) - données IREP.....	17
Figure 9 : Lecture des tableaux de synthèse des flux.....	18

Liste des tableaux

Tableau I : Calcul des débits à la confluence avec la Seine.....	13
Tableau II : Micropolluants rejetés dans l'estuaire de la Seine par les établissements industriels.....	15
Tableau III : Flux industriels à l'estuaire de la Seine (flux >1kg/an) – données 3RSDE.....	15
Tableau IV : Flux urbains de nutriments.....	17
Tableau V : Flux en nutriments (t/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.....	19
Tableau VI : Flux métalliques (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.....	21
Tableau VII : Flux de HAP (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.....	22
Tableau VIII : Flux de Pesticides (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.....	23
Tableau IX : Flux de PCB (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.....	24
Tableau X : Flux de PBDE (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.....	25
Tableau XI : Flux de Phtalates (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.....	26
Tableau XII : Flux d'Organoétains (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.....	27
Tableau XIII : Flux en Alkylphénols (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.....	28
Tableau XIV : Flux de COV (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.....	29
Tableau XV : Flux spécifique en contaminants à l'estuaire de la Seine (g/km ² /an).....	30
Tableau XVI : Bilan des apports à l'estuaire de la Seine (kg/an).....	31

Introduction

La qualité de l'eau de l'estuaire de la Seine est le reflet des pressions passées et actuelles issues des activités menées sur son bassin versant et porte l'empreinte de ses activités. Le constat historique de qualité très dégradée des eaux de la Seine a aujourd'hui bien évolué et de nombreuses améliorations sont à noter (amélioration de l'oxygénation, baisse de la contamination microbiologique, réduction des flux de phosphore et d'ammonium, baisse des concentrations en micropolluants chimiques, etc.). Ces améliorations sont à mettre en lien avec 1) la réduction des rejets industriels et urbains, 2) l'amélioration des capacités de traitement des effluents industriels et urbains et 3) l'évolution des pratiques agricoles et industrielles tendant à réduire l'utilisation et le rejet de substances toxiques. Aujourd'hui, des préoccupations persistent néanmoins sur les effets liés à la contamination chimique sur les organismes aquatiques (HAP, PCB, pesticides, etc.), des questions se posent sur les contaminants dits émergents (PBDE, phtalates, résidus médicamenteux, etc.) et sur le rapport entre les flux entrants à l'estuaire et les contaminants stockés dans l'estuaire et potentiellement remobilisables (couches profondes de sédiments ; anciens terrains pollués en bord de Seine,...) [Fisson, 2014].

La présente étude vise à alimenter la réflexion sur les apports de contaminants à l'estuaire de la Seine, à travers l'actualisation des flux entrants à l'estuaire. Sont considérés les apports par le réseau hydrographique (Seine et affluents) et par les rejets directs (effluents industriels et urbains), pour les nutriments et les principaux contaminants métalliques et organiques.

I. Méthodologie

Au vu *i*) de la variété des substances apportées au milieu aquatique, *ii*) de la diversité des sources, *iii*) de la disponibilité des données et *iv*) pour répondre le plus efficacement possible à l'objectif d'estimation des flux de contaminants à l'estuaire de la Seine, des choix méthodologiques ont été faits. Ce premier chapitre détaille l'argumentaire qui a guidé les choix de calcul des flux et les principales limites associées.

A. Familles de substances chimiques

Plusieurs critères ont guidé la sélection des familles de substances chimiques à traiter : identification d'apports au milieu aquatique, pertinence pour le compartiment aquatique, toxicité et disponibilité de données. Le croisement de ces critères a orienté l'étude vers les familles ou substances chimiques suivantes : nutriments, métaux, HAP, pesticides, PCB, PBDE, phtalates, organoétains, alkylphénols, COV.

Pour chaque famille, une brève description des sources, des propriétés physico-chimiques et toxiques est proposée [AESN, 2008 ; Lachambre & Fisson, 2007].

Substances chimiques retenues :

- **Nutriments** : Nitrate, Ammonium, Phosphore, Orthophosphate
- **Métaux** : Argent, Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Fer, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc
- **HAP : 5 HAP pyrolytiques** (Benzo(a)Pyrène + Benzo(b)Fluoranthène + Benzo(g,h,i)Pérylène + Benzo(k)Fluoranthène + Indéno(1,2,3-cd)Pyrène),
16 HAP (Acénaphène + Acénaphylène + Anthracène + Benzo(a)Anthracène + Benzo(a)Pyrène + Benzo(b)Fluoranthène + Benzo(g,h,i)Pérylène + Benzo(k)Fluoranthène + Chrysène + Dibenzo(a,h)Anthracène + Fluoranthène + Fluorène + Indéno(1,2,3,-cd)Pyrène + Naphtalène + Phénanthrène + Pyrène)
- **Pesticides : Herbicides** (Alachlore, Atrazine, Diuron, Glyphosate + AMPA, Isoproturon, Simazine),
Insecticides (Aldrine, DDT+DDE+DDD, Endosulfan, Endrine, Fipronil, HCH- α , Isodrine)
- **PCB** : 7 PCB indicateurs (CB28 + CB52 + CB101 + CB118 + CB138 + CB153 + CB180)
- **PBDE** : 6 congénères principaux (28, 47, 99, 100, 153, 154)
- **Phtalates** : DEHP (di-(2-éthylhexyl)phthalate), DiBP (Diisobutylphthalate), DEP (Diéthylphthalate), MEHP (Mono-(2-éthylhexyl) phthalate)
- **Organoétains** : TBT (tributylétain), MBT (monobutylétain), DBT (dibutylétain)
- **Alkylphénols** : Nonylphénols, Octylphénols
- **COV** : BTX (Benzène, Toluène, Xylène (o,m,p)), COHV (Dichlorométhane, Chloroforme).

1. Nutriments

Naturellement faiblement présents dans les écosystèmes aquatiques, les sels nutritifs (azote, phosphore, silice) sont des éléments indispensables à la croissance des organismes. Leur consommation est à la base de la production planctonique qui forme les premiers maillons de la chaîne trophique. Cependant, l'excès ou le déséquilibre de ces apports dans le milieu aquatique joue un rôle majeur dans le phénomène d'eutrophisation. Les conséquences potentielles de ce phénomène sont nombreuses : *i*) augmentation de la biomasse algale et prolifération d'algues planctoniques (blooms) ; *ii*) efflorescences d'espèces algales indésirables (production de phycotoxines, accumulation de mucus) ; *iii*) modification des caractéristiques physico-chimiques de l'eau (baisse du pH, réduction de la teneur en oxygène) et altération de sa qualité engendrant des effets néfastes sur les écosystèmes (asphyxie de la faune aquatique par exemple). La température, l'ensoleillement, un faible renouvellement et une stratification des eaux peuvent amplifier ce phénomène.

Les apports anthropiques en azote et en phosphore résultent principalement des activités agricoles (azote sous forme de nitrates résultants du lessivage des sols engraisés, azote ammoniacal dans les régions d'élevage), des rejets industriels et des rejets urbains. La silice, quant à elle, provient essentiellement de l'altération des roches et n'est que faiblement influencée par l'activité humaine.

2. Métaux

Les métaux sont des composants naturels de l'écorce terrestre et rejoignent les compartiments aquatiques et terrestres lors d'épisodes de volcanisme ou d'incendies de forêt. Cette présence naturelle est appelée « fond géochimique » ou « bruit de fond » et peut parfois expliquer des concentrations élevées dans les sédiments ou les eaux souterraines en l'absence de tout apport anthropique.

Utilisés par l'homme depuis l'antiquité, d'abord pour sa survie, puis son confort et ses loisirs, les métaux comptent de nombreuses et diverses utilisations (alliages, batteries, pigments, pesticides, médicaments, photographie,...) responsables de leur large dissémination dans l'environnement et de l'augmentation des concentrations naturelles. Bien que certains métaux soient indispensables au métabolisme des êtres vivants (ex. : arsenic, chrome, cuivre, fer, nickel, zinc), ils deviennent toxiques au-delà d'une certaine concentration. D'autres métaux, tels que le cadmium ou le plomb, ne sont pas nécessaires à la vie et sont toxiques.

La biodisponibilité des métaux en milieu aquatique est limitée du fait de leur forte capacité d'adsorption (sédiments, matières organiques) et de complexation, bien qu'elle soit très variable suivant les conditions physicochimiques du milieu (par exemple, le cadmium passe de la phase particulaire à la phase dissoute lorsque la salinité augmente). L'accumulation de stocks de métaux dans les sédiments pose par ailleurs le problème de leur remobilisation et de la persistance éventuelle de leurs nuisances bien au-delà d'un arrêt des rejets.

3. Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Présents dans tous les compartiments de l'environnement, les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) regroupent plusieurs centaines de substances chimiques constituées de plusieurs cycles aromatiques. Ils sont formés en mélange et ont trois origines principales : 1) pyrolytique (combustion de matériel organique par les industries, transports, incinérateurs, incendies), 2) pétrogénique (introduction dans l'environnement à partir de produits pétroliers et dérivés) et 3) diagénétique (formation naturelle du pétrole). Ils sont peu solubles dans l'eau, ont tendance à s'adsorber sur les matières en suspension et à s'accumuler aussi bien dans les sédiments (plus spécifiquement sur les particules fines) que dans les organismes vivants (notamment dans les graisses des poissons). Leur persistance et leur toxicité augmentent avec leur poids moléculaire. Les substances de poids moléculaire faible sont plus facilement dégradées dans l'environnement et divers organismes peuvent les métaboliser plus ou moins complètement. Certaines molécules telles que le

dibenzo(a,h)anthracène, le benzo(a)pyrène, l'indéno(1,2,3-cd)pyrène et le benzo(a)anthracène sont particulièrement toxiques et ont des effets cancérigènes mutagènes et reprotoxiques. Des effets perturbateurs endocriniens sont également suspectés.

4. Pesticides

Les pesticides sont des substances chimiques destinées à lutter contre des organismes nuisibles, qu'ils soient animaux ou végétaux. Il en existe diverses familles, dont les herbicides (lutte contre les mauvaises herbes), les insecticides (lutte contre les insectes nuisibles), les fongicides (lutte contre les moisissures et les parasites fongiques des plantes), etc. Utilisées depuis le début du XX^{ème} siècle, de nombreuses familles de substances se sont succédé. Par définition, les pesticides sont nocifs et peuvent donc avoir des effets toxiques pour l'homme et l'environnement.

À l'inverse des herbicides généralement hydrophiles, les insecticides (particulièrement les organochlorés) peuvent être bioaccumulés et se retrouver dans les tissus adipeux des organismes, tout au long de la chaîne alimentaire. De plus, la rémanence des substances actives ou de leurs métabolites entraîne une large dissémination de ces molécules dans l'environnement et une toxicité qui peut s'exercer longtemps après l'arrêt de leur utilisation.

5. PolyChloroBiphényles (PCB)

Les PolyChloroBiphényles (PCB) sont des composés aromatiques organochlorés dérivés du biphényle. Ce sont des éléments non naturels synthétisés industriellement sous forme de mélanges. De formule chimique $C_{12}H_{(10-n)}Cl$ (avec $1 \leq n \leq 10$), ils forment une famille de 209 composés (congénères) se différenciant par le nombre (de 1 à 10) et la position des atomes de chlore sur la molécule de biphényle. Les **PCB de type dioxine** (PCB-DL) regroupent 12 congénères de PCB dont la configuration plane induit des mécanismes de toxicité semblables à ceux des dioxines. Les **PCB non apparentés aux dioxines** (PCB-NDL) regroupent le reste des congénères de PCB. De configuration non coplanaire, ils présentent d'autres mécanismes de toxicité. Les **PCB indicateurs** (PCBi) regroupent 7 congénères (6 PCB-NDL et 1 PCB-DL) à rechercher en priorité dans les analyses de matrices organiques (sédiments, sang, chair, graisse) du fait de leur persistance et de leur abondance relative (> 100 fois celle des autres PCB) dans l'environnement ainsi que de leurs propriétés toxicologiques.

Les PCB sont des produits de synthèse lipophiles (affinité pour les graisses et faible solubilité dans l'eau) et persistants, fabriqués en mélanges techniques (synthétisés par chloration du biphényle) plus ou moins chlorés et contenant diverses impuretés, dont les dioxines et les furanes. Pour leur inertie chimique, leur résistance au feu et leur constante diélectrique élevée, ils ont été utilisés dans diverses applications industrielles (transformateurs, condensateurs électriques, additifs aux peintures, plastiques, ...). En réponse à plusieurs restrictions, dont celle de l'OCDE en 1973, les fabricants ont progressivement cessé la production de PCB. Leur utilisation est interdite en France depuis 1987.

Leur caractère lipophile induit une tendance à la bioaccumulation dans les organismes et le long de la chaîne alimentaire, exposant ainsi les organismes filtreurs, les oiseaux et l'homme (le lait maternel, les graisses, le sang). Les PCB sont classés comme perturbateurs endocriniens et peuvent avoir des effets toxiques et cancérigènes.

6. PolyBromoDiphénylEthers (PBDE)

Les PolyBromoDiphénylEthers (PBDE) sont des retardateurs de flamme utilisés dans une vaste gamme de produits de consommation. Ils sont persistants dans l'environnement et présentent un fort potentiel de bioaccumulation et de biomagnification. Retrouvés à des concentrations très faibles dans l'eau

(quelques ng/l), les teneurs dans les sédiments sont plus importantes, mais très variables selon le congénère considéré. Leur cancérogénicité n'est pas établie, mais ce sont des perturbateurs endocriniens potentiels.

7. Phtalates

Les phtalates sont un ensemble de substances chimiques dont les plus courants sont le diméthylphtalate, le diéthylphtalate (DEP), le diisobutylphtalate (DBP), le benzylbutylphtalate et le di(2-éthylhexyl)phtalate (DEHP). Ces composés sont des substances de synthèse entrant notamment dans la composition des matières plastiques, des fluides diélectriques et des insecticides. Ils sont très hydrophobes et sont donc fortement fixés sur les sédiments et dans les tissus graisseux des organismes. La toxicité chronique du DEHP vise le foie, le rein et le système reproductif. Le DEHP est un perturbateur endocrinien, faiblement biodégradable et pouvant être bioaccumulé.

8. Organoétains

Les organoétains ont essentiellement été utilisés comme biocides dans les peintures marines antisalissures et les produits de préservation du bois. Ils sont aujourd'hui interdits d'utilisation. Leur biodégradabilité modérée dans l'eau de mer et lente dans les sédiments fait que, bien qu'en diminution, ils peuvent encore aujourd'hui être retrouvés dans les sédiments estuariens (plusieurs dizaines de $\mu\text{g}/\text{kg}$ de poids sec pour le TBT) et dans le biote. Certains de ces composés présentent un caractère cancérogène et perturbateur endocrinien ainsi qu'un fort potentiel de bioaccumulation. Par ailleurs, des altérations provoquées spécifiquement par le TBT sont observées sur les mollusques gastéropodes *Nucilla lapillus* de l'embouchure, dont les femelles développent des organes sexuels typiquement mâles. C'est le phénomène d'imposex.

9. Alkylphénols

Les alkylphénols sont des substances de synthèse, utilisées pour leurs propriétés dispersantes, émulsifiantes et mouillantes. Ils proviennent également de la dégradation des alkylphénols éthoxylés utilisés comme adjuvants, détergents dans le textile, traitement de surface, additif dans l'industrie papetière et les peintures à l'eau.

Le 4-Nonylphénol et le 4-tert-octylphénol sont les principaux alkylphénols produits et commercialisés sous forme de dérivés et sont présents dans les eaux. La littérature disponible suggère une capacité à se bioaccumuler dans les organismes aquatiques faible à modérée. Ils sont par contre considérés comme perturbateurs endocriniens avec une activité ostrogénique (i.e. perturbent le développement et la reproduction, en imitant ou bloquant l'activité des hormones sexuelles femelles).

10. Composés Organiques Volatiles (COV)

Les BTX (Benzène, Toluène, Xylène) sont des Composés Organiques Volatils (COV) naturellement présents dans l'environnement (feux de forêt, volcanisme, pétrole, houille). Leur source principale reste néanmoins anthropique (gaz d'échappement notamment). Ces substances sont très volatiles et de fait peu présentes dans les eaux. Elles présentent un faible potentiel de bioaccumulation, mais une toxicité avérée pour l'homme et l'environnement.

Les chlorométhanés et les chloroéthylènes sont des Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV). Ce sont des intermédiaires de synthèse et de solvants. Ils peuvent également apparaître comme sous-produits de désinfection du traitement de l'eau. Ils sont faiblement biodégradables et faiblement bioaccumulables. Ils sont peu toxiques pour les organismes aquatiques, mais nettement plus pour les mammifères (cancérogènes suspectés).

B. Zone d'étude et sources de contaminants

Le **bassin versant de la Seine** représente 12% de la superficie nationale. 17.5 millions de personnes vivent sur ce territoire de 78 600 km², soit plus du quart de la population française. Cette population, à 85% urbaine, se concentre dans l'agglomération parisienne (10 millions d'habitants), le long de l'axe Seine et des grands affluents (Aube, Marne, Yonne, Oise) et à son embouchure avec les agglomérations de Rouen puis du Havre. Ce territoire assure 50% du trafic fluvial français, 40% de l'activité économique et 30% de l'activité agricole nationale. En matière d'occupation du sol, les territoires artificialisés représentent 7,1% de la superficie totale du bassin versant de la Seine, les territoires agricoles 66,5%, les forêts et les milieux semi-naturels 25,6%, les zones humides et les surfaces en eau 0.7% [Figure 1 ; Fisson *et al.*, 2014].

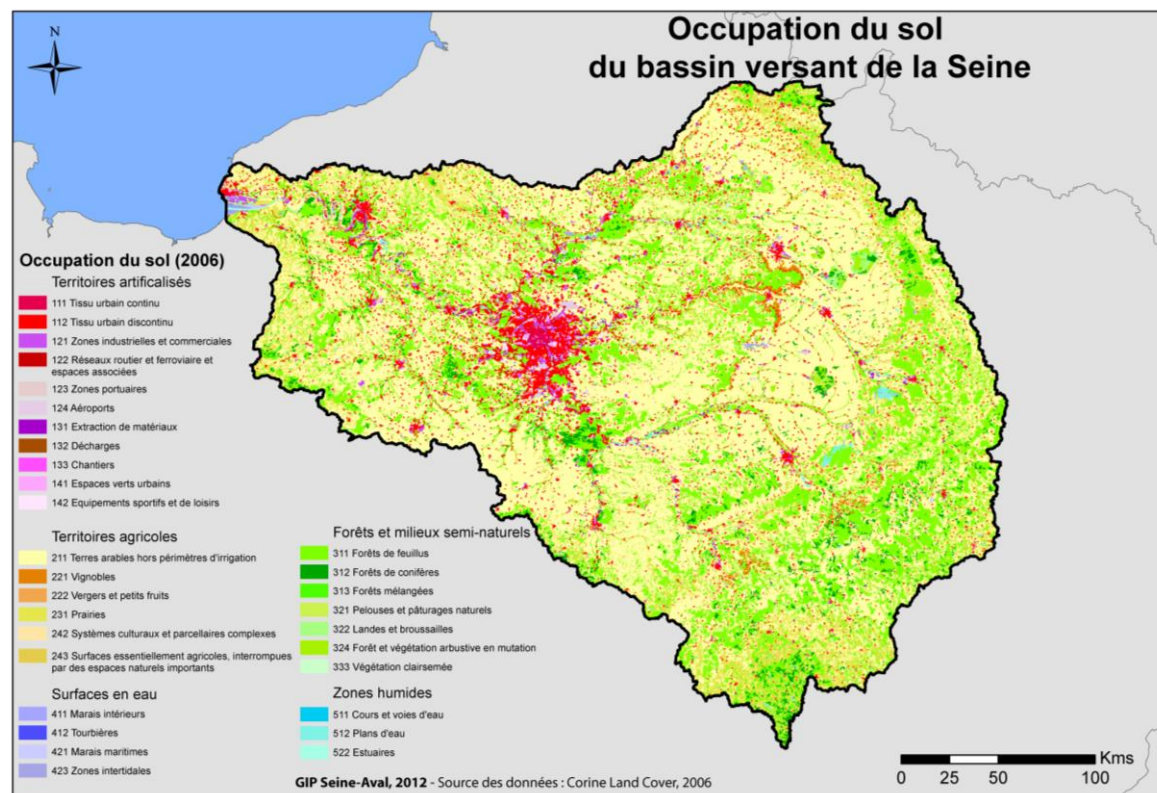


Figure 1 : Occupation du sol du bassin versant de la Seine.

La pollution des eaux naturelles provient essentiellement des activités humaines, les sources étant classiquement reliées aux pressions urbaines (eaux pluviales et rejets domestiques), industrielles et agricoles [Figure 2]. La qualité d'un milieu aquatique est ainsi le reflet des pressions (passées et actuelles) exercées par les activités humaines présentes sur son bassin versant. Ce schéma général s'applique à l'estuaire de la Seine, avec des sources de pollution diverses [Fisson, 2014] :

- **apports du bassin versant amont** via la Seine
- **apports des bassins versants intra-estuariens** via les affluents ou les nappes d'eau souterraines,
- **rejets directs** dans l'estuaire via les stations d'épuration urbaines et industrielles,
- **sources diffuses** via le ruissellement ou la remise en suspension de sédiments,

Les apports souterrains (nappes d'eau), diffus (ruissellement, dépôt atmosphérique,...) et secondaires (remise en suspension de sédiments) ne sont pas considérés dans cette étude.

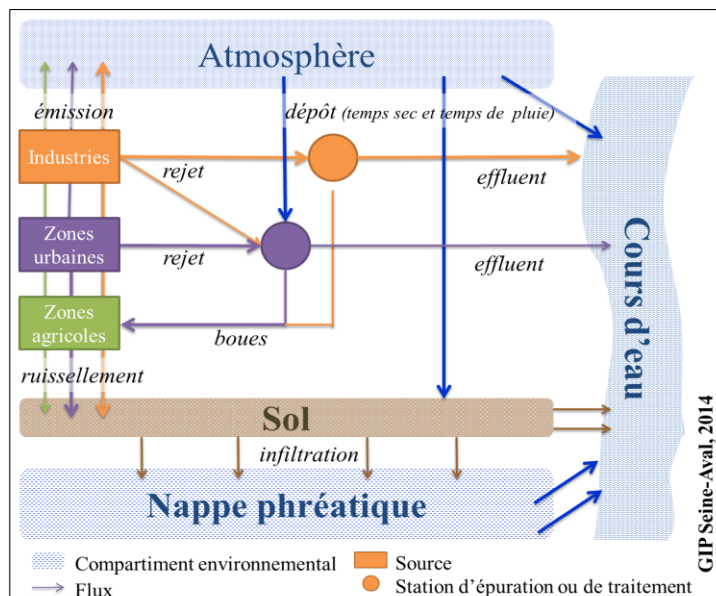


Figure 2 : Sources et voies de transfert des polluants dans un cours d'eau.

Sources considérées :

- pour les apports directs : flux industriels et urbains
- pour les apports amont : flux de la Seine à Poses
- pour les apports latéraux : flux aux confluences des affluents intra-estuariens avec la Seine

C. Période

L'objectif de cette étude étant d'estimer les apports actuels, seules les données récentes sont considérées. La période 2009-2013 a ainsi été retenue pour l'analyse des données. Quand les données sont disponibles sur plusieurs années, l'estimation des flux correspond à une moyenne pluri-annuelle sur la période 2009-2013. Cela permet 1) de lisser la variabilité des apports sensibles à l'hydrologie (ex. : cas des nitrates dont les apports varient avec la pluviométrie) ; 2) de considérer au mieux les rejets industriels et urbains pouvant varier d'une année à l'autre.

Période retenue :

- moyenne 2009-2013

D. Données disponibles

Pour les rejets directs (industriels et urbains), plusieurs jeux de données sont disponibles et mobilisés :

- **L'Action de Recherche et de Réduction des Rejets de Substances Dangereuses dans l'Eau pour les installations classées (3RSDE).** Cette action a été définie en 2002 par circulaire du ministère en charge de l'environnement et étendue en avril 2004 à des installations non classées telles que les stations d'épuration urbaines. Son objectif était de rechercher et quantifier les substances dangereuses rejetées par les industries et les STEP, afin de détecter les principaux secteurs émetteurs et non émetteurs par substance et d'élaborer les mesures de réduction appropriées [INERIS & MEEDDAT, 2009]. Les résultats de la campagne 2012 ont été utilisés pour considérer les rejets industriels directs dans l'estuaire de la Seine (46 points de rejets). Pour les rejets urbains, les données 2011 (pour la STEP Edelweiss au Havre) et 2011-2012-2013 (pour la STEP Emeraude au Petit-Quevilly) ont été considérées.
- Le **registre des émissions polluantes (IREP)** présente notamment les flux annuels de polluants émis dans le milieu aquatique par les installations classées soumises à autorisation préfectorale [MEDDE & INERIS, 2014]. Pour l'estuaire de la Seine, cela concerne 50 établissements industriels et 3 STEP. Les données ont été extraites sur la période 2008-2012.

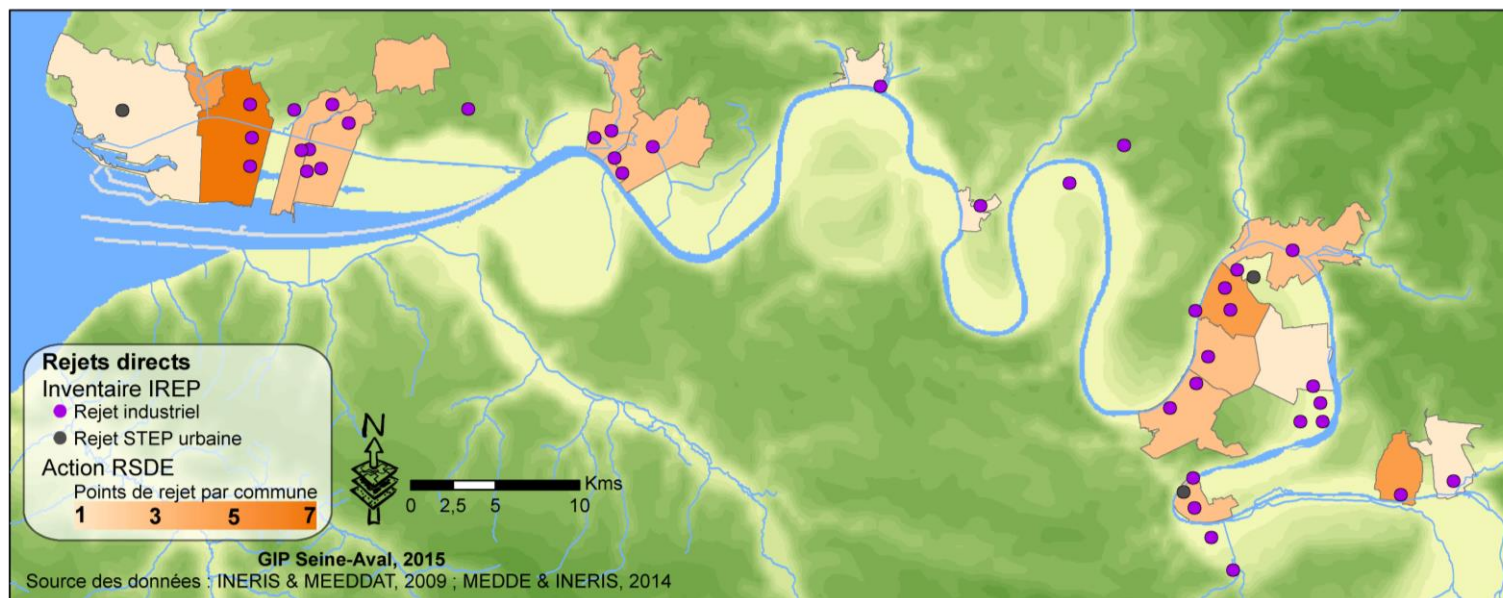


Figure 3 : Rejets directs (industriels et urbains) dans l'estuaire de la Seine.

Pour les apports par le réseau hydrographique (bassin versant amont et bassins versants intra-estuariens), deux sources de données ont été mobilisées :

- Le **réseau de contrôle et de surveillance (RCS)** géré par l'AESN suit la qualité des principaux cours d'eau du bassin et notamment la Seine et huit affluents intra-estuariens (l'Andelle, l'Eure, le Robec, le Cailly, l'Austreberthe, le Commerce, la Risle, la Lézarde). Les stations 'affluent' les plus proches de la confluence avec la Seine ont été retenues pour caractériser les apports latéraux ; la station 'Seine' la plus proche de la limite amont de l'estuaire a été retenue pour caractériser les apports amont [Figure 4]. Les données ont été extraites pour la période 2009-2013. Les nitrates, l'ammonium et les orthophosphates sont mesurés sur l'eau brute, le phosphore total sur l'eau filtrée. Les métaux sont mesurés sur l'eau brute et l'eau filtrée. Les contaminants organiques sont mesurés sur l'eau filtrée.
- La **banque HYDRO** permet d'accéder aux données journalières de débit de nombreux cours d'eau et notamment celui de la Seine et de sept affluents intra-estuariens (l'Andelle, l'Eure, le Cailly, l'Austreberthe, le Commerce, la Risle, la Lézarde). Les stations 'affluent' les plus proches de la confluence avec la Seine ont été retenues pour caractériser les apports latéraux ; la station 'Seine' la plus proche de la limite amont de l'estuaire a été retenue pour caractériser les apports amont [Figure 5]. Les données ont été extraites pour la période 2009-2013.

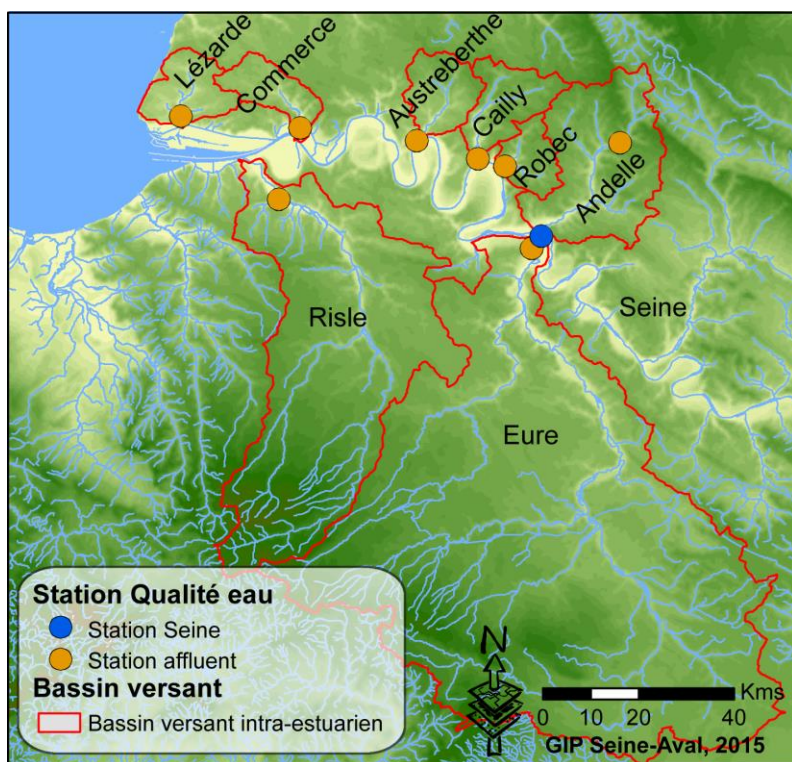


Figure 4 : Stations de mesure de la qualité des eaux.

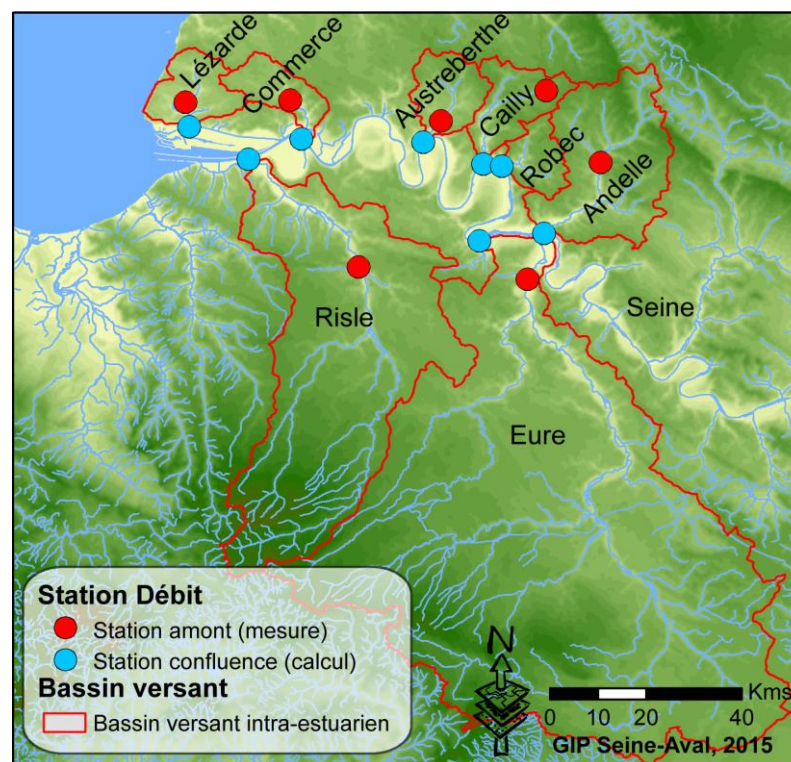


Figure 5 : Station de mesure et de calcul du débit.

Sources de données :

- Campagnes RSDE : rejets industriels et urbains
- Registre IREP : rejets des installations classées soumises à autorisation
- Réseau de Contrôle et de Surveillance : concentration dans les cours d'eau
- Banque HYDRO : débit des cours d'eau

E. Calcul du débit de la Seine et des affluents

Afin d'estimer au mieux les apports par le bassin versant amont et les bassins versants latéraux, les débits des cours d'eau sont calculés à la confluence avec la Seine (Station confluence) à partir du débit mesuré plus en amont sur le cours d'eau (Station amont) [Figure 5]. Pour cela, un coefficient issu du rapport entre la surface du bassin versant total drainé par le cours d'eau (BV total) et la surface du bassin versant correspondant à la station de mesure (BV amont) est appliqué au débit mesuré à la station amont [Figure 6 ; Tableau I]. Ce sont ces débits recalculés qui seront utilisés dans la suite du rapport.

Tableau I : Calcul des débits à la confluence avec la Seine.

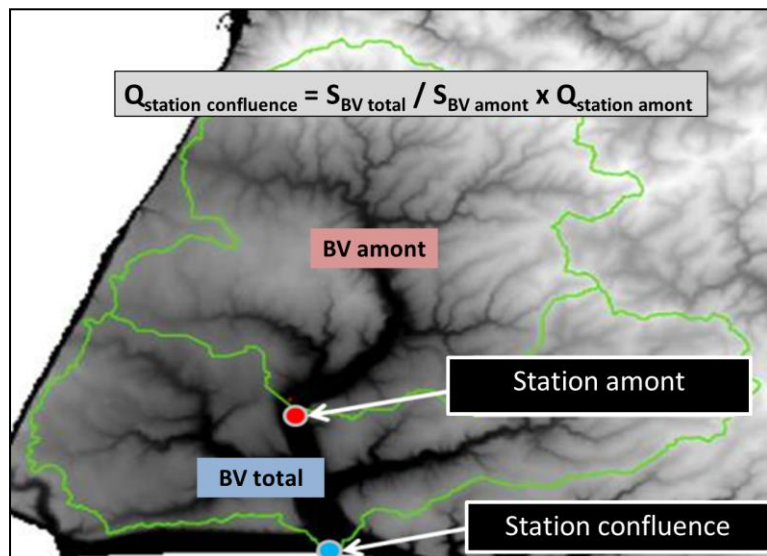


Figure 6 : Calcul du débit à la confluence avec la Seine – exemple pour le bassin versant de la Lézarde.

Cours d'eau	Station amont (code)	Surface des bassins versants	Coefficient de correction
La Seine	La Seine à Vernon (H8100021)	BV _{amont} : 64604 km ² BV _{total} : 64972 km ²	1.08
L'Andelle	L'Andelle à Vascoeuil (H8212010)	BV _{amont} : 371 km ² BV _{total} : 740 km ²	2
L'Eure	L'Eure à Louviers (H9501010)	BV _{amont} : 5990 km ² BV _{total} : 6032 km ²	1
Le Robec	/		Q = 0.4 m ³ /s
Le Cailly	Le Cailly à ND de Bondeville (H9913020)	BV _{amont} : 210 km ² BV _{total} : 244 km ²	1.16
L'Austreberthe	L'Austreberthe à St Paër (H9923020)	BV _{amont} : 157 km ² BV _{total} : 214 km ²	1.35
Le Commerce	Le Commerce à Gruchet (H9943420)	BV _{amont} : 75 km ² BV _{total} : 176 km ²	2.35
La Risle	La Risle à Pont-Authou (I0211010)	BV _{amont} : 1690 km ² BV _{total} : 2320 km ²	1.37
La Lézarde	La Lézarde à Montivillier (G9103020)	BV _{amont} : 116 km ² BV _{total} : 211 km ²	1.8

F. Calcul des flux

Les flux de contaminants apportés par le réseau hydrographique (Seine et affluents) sont calculés par la **méthode des concentrations moyennes pondérées par les débits**. Cette méthode est largement utilisée pour le calcul des flux d'éléments transportés par les cours d'eau, car elle est capable de prendre en compte la variabilité des débits entre les périodes d'échantillonnage tout en minimisant la variabilité des concentrations et en réduisant les incertitudes [Raymond, 2011]. Le flux est estimé en prenant le produit de la concentration moyenne pondérée en fonction du débit instantané et du débit moyen, exprimé par la formule ci-après :

$$\text{Flux} = k \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i C_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} Q_m, \text{ avec}$$

C_i = concentration au moment du prélèvement i (mg/l)

Q_i = débit instantané mesuré le jour du prélèvement i (m³/s)

Q_m = débit moyen sur la période considérée (m³/s)

n = nombre de prélèvements sur la période considérée;

K = facteur de conversion du flux (pour un résultat en kg/an, prendre $k=31536$)

Remarque 1 : Si la mesure de la concentration C_i est inférieure à la limite de détection (<LD), un calcul de flux est réalisé avec $C_i=0$ et correspond au flux minimum (Flux min) ; un second calcul est réalisé avec $C_i=LD$ et correspond au flux maximal (Flux max). Dans ce cas, le flux correspondra à une fourchette entre le flux min et le flux max.

Remarque 2 : Lorsque le pourcentage de détection d'une substance est inférieur à 10% sur la période considérée, le calcul de flux n'est pas réalisé car assorti d'une incertitude trop élevée. Lorsque le pourcentage de détection d'une substance est supérieur à 90% sur la période considérée, seul le calcul du flux maximum est réalisé. Lorsque le pourcentage de détection d'une substance est compris entre 10% et 90% sur la période considérée, les calculs du flux minimum et du flux maximum sont réalisés.

Pour les rejets directs (industriels et urbains), les flux annuels (kg/an) sont directement fournis. Cette donnée sera conservée et moyennée si elle est disponible pour plusieurs années.

II. Résultats

A. Rejets industriels

Une cinquantaine d'établissements industriels sont identifiés comme source de contaminants à l'estuaire de la Seine, 34 dans le registre français des émissions polluantes et 32 dans l'action 3RSDE. Dans les rejets identifiés par cette action, 47 substances chimiques différentes ont été quantifiées. L'industrie de la chimie et l'industrie pétrolière sont les secteurs les plus représentés (respectivement 10 et 6 établissements) et rejettent le plus grand nombre de substances (respectivement 32 et 23 substances différentes identifiées) [Tableau II].

Tableau II : Micropolluants rejetés dans l'estuaire de la Seine par les établissements industriels.

Secteurs d'activité	Nombre d'établissement avec un rejet				Nombre de substances mesurées (n/112)			
	Estuaire amont	Estuaire moyen	Estuaire aval	Bilan	Estuaire amont	Estuaire moyen	Estuaire aval	Bilan
Industrie de la chimie	5		5	10	25		21	32
Industrie pétrolière	2		4	6	20		19	23
Industrie du traitement et du stockage des déchets	1		3	4	11		20	22
Industrie papetière	3			3	8			8
Industrie du caoutchouc	1		1	2	8		6	12
Industrie de la métallurgie	1		1	2	8		7	11
Industrie du travail mécanique des métaux		1	1	2		6	6	9
Centrales thermiques de production d'électricité			1	1			5	5
Industrie agro-alimentaire	1			1	4			4
Industrie du traitement, revêtement de surface		1		1		11		11
TOTAL	14	2	16	32	33	11	37	47

GIP Seine-Aval, 2014 - Source des données : Action 3RSDE [MEDDE & INERIS, 2014]

Tableau III : Flux industriels à l'estuaire de la Seine (flux > 1kg/an) – données 3RSDE.

Flux (kg/an)	Estuaire amont	Estuaire moyen	Estuaire aval	Total estuaire
Zinc et ses composés	1288	0,06	3136	4423
Nickel et ses composés	225	0,20	2040	2265
Xylènes (Somme o,m,p)	43		1494	1536
Naphtalène	15		619	634
Benzène	42		482	525
Cuivre et ses composés	118	0,68	118	237
Biphényle			166	166
Arsenic et ses composés	4,4		123	128
Toluène	96,7			97
Nonylphénols	39,8	0,02	35,8	76
Chloroforme		0,13	45,0	45
Chrome et ses composés	23	0,69	18,3	42
Anthracène	0,17		24,5	25
Fluoranthène	0,99		18,8	20
Acénaphène			10	10
Plomb et ses composés	3,5		4,2	7,7
Pentachlorophénol	6,4			6,4
Cadmium et ses composés		0,06	5,4	5,5
Tributylphosphate	2,2		0,56	2,7
Benzo (a) Pyrène	0,33		2,3	2,7
OP2OE	2,1	0,00	0,23	2,4
Benzo (b) Fluoranthène	0,47		1,5	1,9
NP2OE	0,53	0,00	1,4	1,9
Trichloroéthylène	0,01		1,8	1,8
Benzo (g,h,i) Pérylène	0,38		1,3	1,7
Chlorure de méthylène		0,01	1,4	1,4
Monobutylétain cation	1,2		0,11	1,3

GIP Seine-Aval, 2014 - Source des données : Action 3RSDE [MEDDE & INERIS, 2014]

L'action 3RSDE a permis de cibler les métaux (zinc, cuivre, nickel, chrome), les HAP (fluoranthène, naphthalène, anthracène, benzo(b)fluoranthène, benzo(g,h,i)pérylène), les nonylphénols, le chloroforme et le tributylphosphate comme étant les substances les plus souvent détectées, avec une présence dans les rejets d'au moins 15 établissements. En terme de flux, trois substances sont rejetées dans l'estuaire de la Seine à plus d'une tonne par an (le zinc : 4.4t/an ; le nickel : 2.3t/an ; le xylène : 1.5t/an) et cinq substances à plus de 100 kg par an (le naphthalène : 634kg/an ; le benzène : 525kg/an ; le cuivre : 237kg/an ; le biphenyle : 166kg/an ; l'arsenic : 128kg/an) [Tableau III]. D'autres métaux (arsenic, cuivre, chrome, étain, titane, plomb), le toluène, le xylène, le naphthalène et les cyanures sont rejetés à plus de 100kg/an.

Du fait d'un panel d'établissements industriels un peu différent (la moitié des établissements sont communs avec l'action 3RSDE), les données de l'inventaire des émissions polluantes montrent des résultats qui viennent compléter ceux issus des campagnes 3RSDE. Cet inventaire cible les HAP (15.8t/an), le fer (11.8t/an), le zinc (2.5t/an) et les phénols (1.5t/an) comme étant rejetés dans l'estuaire de la Seine à plus d'une tonne par an (moyenne des années 2008 à 2012) [Figure 7]. Cet inventaire fournit également des flux pour les nutriments : ils s'élèvent à 884t/an pour l'azote et 78t/an pour le phosphore (7 points de rejets).

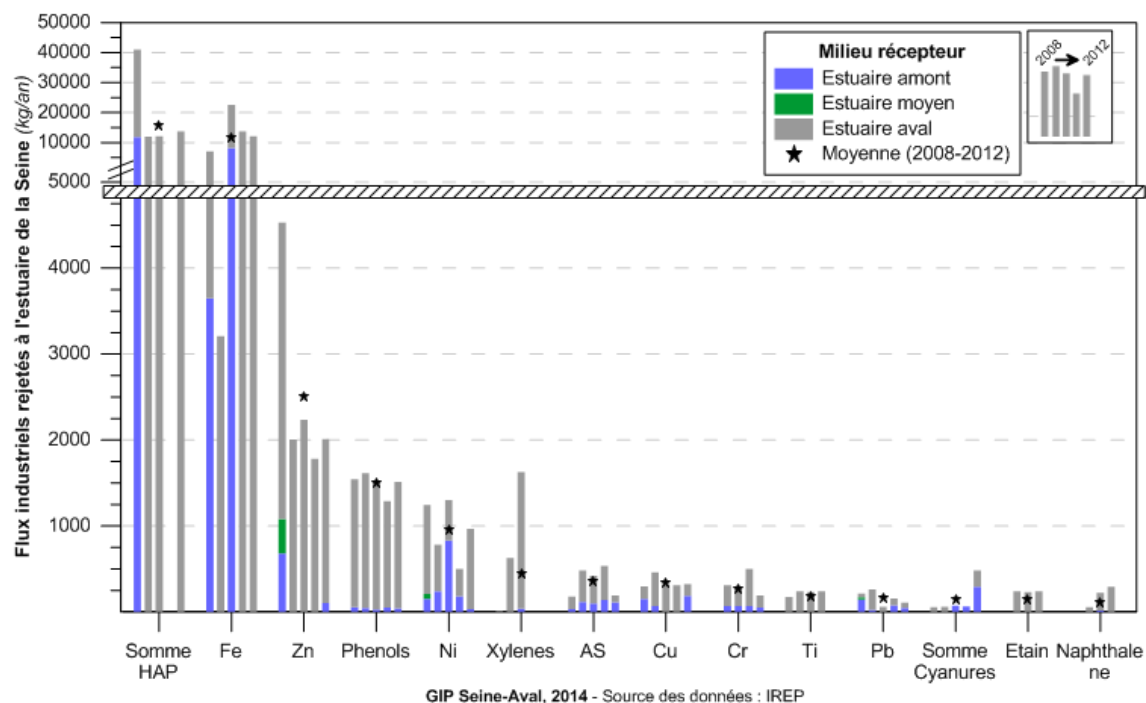


Figure 7 : Flux industriels à l'estuaire de la Seine (flux >100kg/an, 2008-2012) – données IREP.

B. Rejets des STEP

L'action 3RSDE a permis de caractériser les rejets des deux principales STEP rejetant dans l'estuaire de la Seine (Edelweiss pour l'agglomération rouennaise et Emeraude pour l'agglomération havraise). Une cinquantaine de substances chimiques ont été détectées, avec des flux importants pour les métaux : plus de 10t/an pour le fer et l'aluminium ; 3t/an pour le zinc ; plus de 100kg/an pour le manganèse, le cuivre, le nickel et l'arsenic. Les AOX présentent un flux de près de 2t/an. Une diversité d'autres substances est identifiée avec des flux annuels de l'ordre de quelques dizaines de kg (hydrocarbures totaux, étain, chloralcanes, DEHP, antimoine, tétrachloroéthylène, chloroforme).

Les données de l'inventaire des émissions polluantes font ressortir les mêmes substances, même si les flux diffèrent car calculés sur des campagnes d'acquisition de données plus nombreuses [Figure 8].

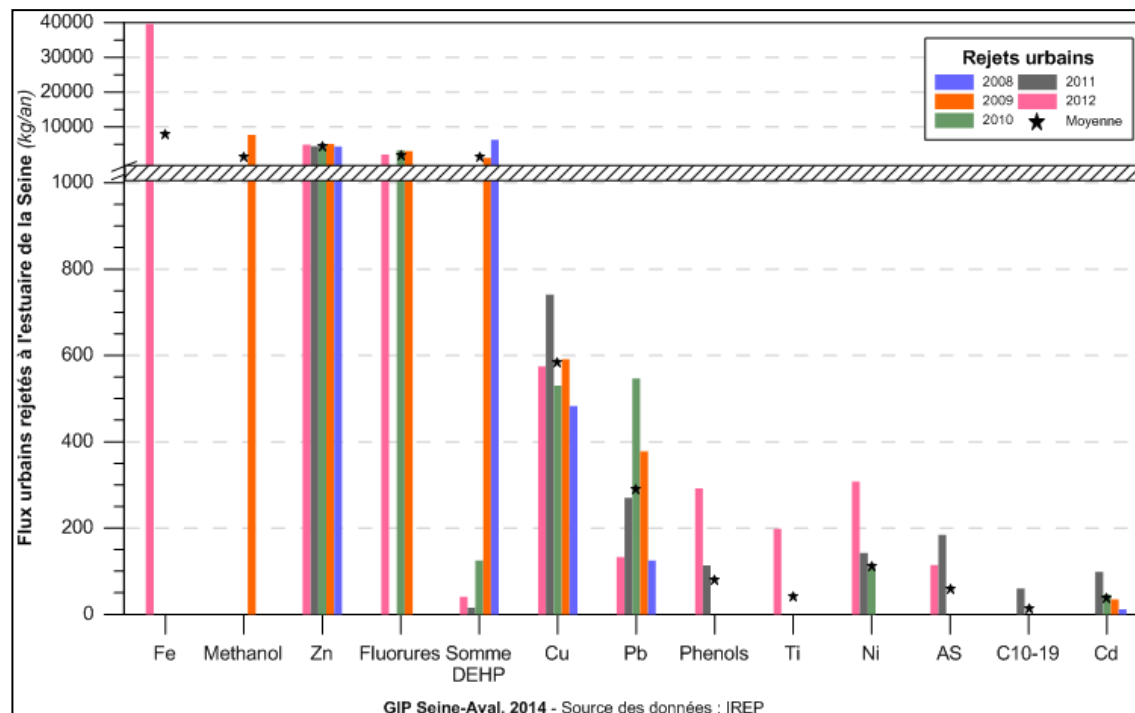


Figure 8 : Flux urbains à l'estuaire de la Seine (flux > 40kg/an, 2008-2012) - données IREP.

Concernant les rejets de nutriments, ils s'élèvent à environ 700t/an pour l'azote et 50t/an pour le phosphore (5 principaux points de rejet) sur la période 2011-2013. Les principaux contributeurs sont les STEP Emeraude (Le Petit-Quevilly) et Edelweiss (Le Havre) [Tableau IV ; IREP].

Tableau IV : Flux urbains de nutriments.

Station d'épuration	Date de mise en service	Capacité utilisé	Rejets 2013 (kg/an)	
			NGL	Pt
Petit Quevilly (Emeraude)	1997	550 000 EH	469 020	23 566
Le Havre (Edelweiss)	2011	322 000 EH	202 000	20 300
Saint-Aubin-lès-Elbeuf	2001	110 000 EH	15 480	1 372
Grand Quevilly	1995	58 000 EH	17 648	3 118
Grand Couronne	1995	20 000 EH	9 243	1 275
Total			713 391	49 631

C. Apport des affluents et de la Seine

Les flux en contaminants présentés dans le présent chapitre sont moyennés sur la période 2009-2013 selon la méthode détaillée dans le chapitre I.F. Ils sont présentés par famille de contaminants dans des tableaux de synthèse reprenant, pour chaque substance considérée et chaque cours d'eau (Seine et affluents), les éléments suivants : flux minimum, flux maximum, nombre de données, pourcentage de mesure avec valeur supérieure à la limite de détection [Figure 9].

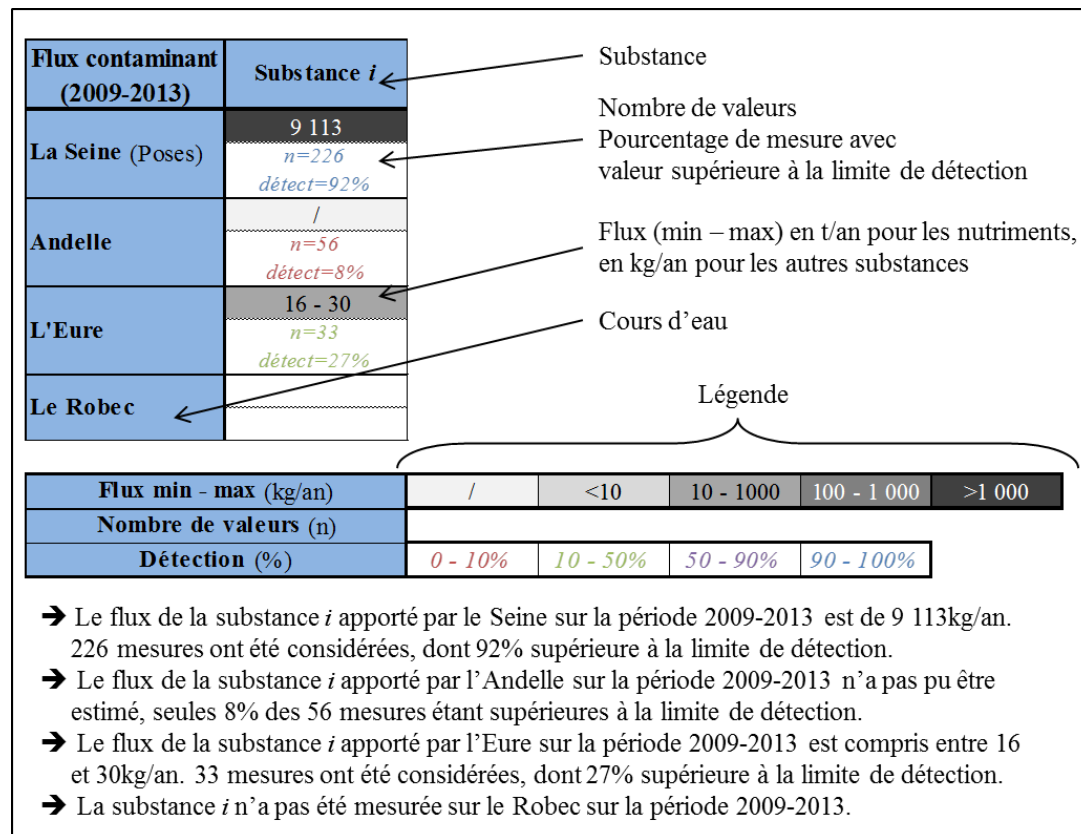


Figure 9 : Lecture des tableaux de synthèse des flux.

1. Les nutriments

Les apports de la Seine (à Poses) représentent 90 à 97% des flux en nutriments du réseau hydrographique de surface vers l'estuaire de la Seine. Les affluents représentent les 3 à 10% restant, avec une part prépondérante apportée par l'Eure et la Risle (65 à 70%). Cette distribution reste sensiblement identique pour les différents nutriments étudiés, même si la part en ammonium apportée par la Seine par rapport aux affluents est plus importante que pour les autres nutriments (nitrates, orthophosphates et phosphore total) [Tableau V].

Concernant les apports de la Seine (à Poses) en azote, les nitrates composent l'essentiel du flux (près de 100 000t-N/an liées aux nitrates contre 4 400t-N/an pour l'ammonium). Les apports en phosphore représentent un peu plus de 2 000t-P/an, dont près de 1 500t-P/an liées aux orthophosphates. Même si ils ne rendent pas compte des évolutions temporelles des flux (baisse des flux de phosphore et d'ammonium), ces résultats sont cohérents avec les calculs antérieurs [GIPSA, 2008] et les flux modélisés [Passy, 2013].

Concernant les affluents, les nitrates composent également l'essentiel du flux d'azote (près de 10 000t-N/an liées aux nitrates contre 100t-N/an pour l'ammonium). Les apports en phosphore représentent près de 200t-P/an, dont 100t-P/an lié aux orthophosphates.

Tableau V : Flux en nutriments (t/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.

Flux nutriments (2009-2013)	Nitrate (N-NO3)	Ammonium (N-NH4)	Orthophosphate (P-PO4)	Phosphore total (P)
La Seine (Poses)	82 691 <i>n=181</i> <i>délect=100%</i>	4 390 <i>n=136</i> <i>délect=90%</i>	1 428 <i>n=229</i> <i>délect=100%</i>	2 275 <i>n=229</i> <i>délect=100%</i>
L'Andelle	1 152 <i>n=35</i> <i>délect=100%</i>	4,2 - 10,1 <i>n=17</i> <i>délect=35%</i>	16 <i>n=35</i> <i>délect=100%</i>	25 <i>n=35</i> <i>délect=100%</i>
L'Eure	4 111 <i>n=117</i> <i>délect=100%</i>	30,3 - 41,2 <i>n=71</i> <i>délect=46%</i>	50 <i>n=117</i> <i>délect=97%</i>	78 <i>n=117</i> <i>délect=99%</i>
Le Robec	63 <i>n=42</i> <i>délect=100%</i>	0,2 - 0,6 <i>n=24</i> <i>délect=13%</i>	0,6 <i>n=42</i> <i>délect=100%</i>	0,7 <i>n=42</i> <i>délect=98%</i>
Le Cailly	405 <i>n=47</i> <i>délect=100%</i>	5,8 - 6,6 <i>n=24</i> <i>délect=75%</i>	5,5 <i>n=47</i> <i>délect=100%</i>	8,1 <i>n=47</i> <i>délect=100%</i>
L'Autreberthe	364 <i>n=59</i> <i>délect=100%</i>	3,8 - 4,7 <i>n=36</i> <i>délect=61%</i>	4,6 <i>n=59</i> <i>délect=100%</i>	5,4 <i>n=59</i> <i>délect=98%</i>
Le Commerce	74 <i>n=58</i> <i>délect=100%</i>	12 <i>n=36</i> <i>délect=94%</i>	1,9 <i>n=59</i> <i>délect=100%</i>	2,5 <i>n=59</i> <i>délect=100%</i>
La Risle	1 947 <i>n=54</i> <i>délect=98%</i>	26,4 - 34,2 <i>n=36</i> <i>délect=53%</i>	32 <i>n=54</i> <i>délect=100%</i>	44 <i>n=54</i> <i>délect=100%</i>
La Lézarde	548 <i>n=59</i> <i>délect=100%</i>	6,6 - 7 <i>n=36</i> <i>délect=86%</i>	3,9 <i>n=59</i> <i>délect=100%</i>	6,7 <i>n=59</i> <i>délect=100%</i>

Flux min - max (tN/an ou tP/an)	
/	<10
10 - 100	100 - 1 000
>1 000	

Nombre de valeurs (n)	

Détection (%)	
0 - 10%	10 - 50%
50 - 90%	90 - 100%

2. Les métaux

Les apports de la Seine (à Poses) représentent 90% des flux métalliques du réseau hydrographique de surface vers l'estuaire de la Seine. Les affluents représentent les 10% restant, avec une part prépondérante apportée par l'Eure et la Risle (80 à 90%). Cette distribution reste sensiblement identique pour les différents métaux étudiés [Tableau VI].

Concernant les apports de la Seine (à Poses), le fer est le métal présentant le flux le plus important (près de 10 000 t/an), suivi du zinc (174t/an). Les flux de cuivre, de plomb, de chrome, de nickel et d'arsenic représentent quelques dizaines de tonnes par an. Le cadmium présente un flux de quelques centaines à quelques milliers de tonnes/an. Le flux de ce dernier est difficile à estimer plus précisément du fait d'un taux de détection relativement faible (1/3 des mesures) et d'une limite de quantification ayant varié au cours de la période d'analyse (1 µg/l jusqu'en 2011, puis 0.03 µg/l). Le mercure et l'argent ne sont pas quantifiés, leurs flux ne peuvent donc pas être estimés. Les ordres de grandeurs obtenus sont 2 à 5 fois plus faibles que ceux calculés sur la période 1994-2003 [Thévenot *et al.*, 2009], témoignant d'une baisse des flux métalliques apportés par la Seine sur les 20 dernières années.

Concernant les affluents, le fer (plus de 400 t/an) puis le zinc sont les métaux présentant les flux les plus importants (près de 15t/an cumulés). Les flux de cuivre, de plomb, de chrome, de nickel et d'arsenic représentent quelques tonnes par an ; le cadmium, moins d'une tonne par an. Les flux de mercure et d'argent n'ont pas pu être calculés.

Selon les métaux, la part en contaminants dissous (mesure sur eau filtrée) dans le flux total (mesure sur eau brute) est variable : le fer et le plomb sont ainsi essentiellement sous forme particulaire (~90%), alors que la part dissoute peut être plus importante pour le zinc, le cuivre ou le nickel.

Tableau VI : Flux métalliques (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.

Flux métaux (2009-2013)		Fer	Zinc	Cuivre	Plomb	Chrome	Nickel	Arsenic	Cadmium	Mercuré	Argent
La Seine (Poses)	Eau brute	8890 129 - 8902 079 n=226détect=89%	174 144 n=226 détect=100%	45 752 n=226 détect=100%	30 882 - 31 602 n=226 détect=83%	16 267 - 31 275 n=226 détect=37%	29 113 n=226 détect=100%	7 156 - 22 860 n=226 détect=32%	340 - 7 621 n=226 détect=32%	/ n=176 détect=0%	/ n=32 détect=3%
	Eau filtré	36 2882 - 40 6795 n=137détect=66%	75 270 n=225détect=96%	23 803 n=225détect=99%	2 305 - 5 412 n=225détect=22%	2 405 - 23 627 n=225détect=16%	18 678 n=225détect=95%	5 891 - 20 487 n=225détect=39%	38 - 7 470 n=225détect=11%	/ n=175détect=0%	/ n=20détect=0%
L'Andelle	Eau brute	62 000 n=33détect=94%		162 - 301 n=33 détect=27%							
	Eau filtré	7 861 - 8 296 n=17détect=82%		/ n=17détect=0%							
L'Eure	Eau brute	248 449 - 249 008 n=113détect=88%	6 743 n=113 détect=96%	1 796 n=113 détect=96%	3 188 n=113 détect=96%	469 - 1 264 n=113 détect=31%	877 - 1 117 n=113 détect=53%	192 - 895 n=113 détect=35%	17 - 379 n=113 détect=35%	/ n=111 détect=1%	
	Eau filtré	32 756 - 34 742 n=71détect=63%	3 171 - 3 290 n=113détect=89%	664 - 762 n=113détect=79%	352 - 375 n=113détect=89%	38 - 981 n=113détect=16%	364 - 683 n=113détect=42%	125 - 859 n=113détect=31%	3 - 366 n=113détect=25%	/ n=111détect=0%	
Le Robec	Eau brute	474 - 501 n=33détect=79%		8 - 15 n=34 détect=41%							
	Eau filtré	/ n=17détect=6%		2 - 14 n=18détect=11%							
Le Cailly	Eau brute		1 397 n=34 détect=100%	238 - 249 n=34 détect=82%	78 - 88 n=34 détect=68%	93 - 197 n=34 détect=47%	94 - 124 n=34 détect=62%	20 - 109 n=34 détect=29%	0,7 - 42 n=34 détect=29%	/ n=33 détect=0%	
	Eau filtré		1 003 n=34détect=97%	42 - 83 n=34détect=44%	/ n=34détect=9%	79 - 183 n=34détect=47%	68 - 108 n=34détect=50%	9 - 98 n=34détect=26%	0 - 42 n=34détect=15%	/ n=33détect=0%	
L'Autreberthe	Eau brute	5 507 n=34détect=91%	526 n=57 détect=100%	56 - 86 n=57 détect=47%	60 - 70 n=57 détect=56%	40 - 130 n=57 détect=39%	48 - 83 n=57 détect=40%	9 - 88 n=57 détect=18%	0,5 - 38 n=57 détect=18%	/ n=56 détect=0%	
	Eau filtré	306 - 794 n=18détect=22%	209 - 239 n=57détect=82%	/ n=57détect=7%	/ n=57détect=0%	24 - 117 n=57détect=37%	23 - 61 n=57détect=33%	3 - 82 n=57détect=16%	/ n=57détect=2%	/ n=56détect=0%	
Le Commerce	Eau brute	1 226 n=34détect=91%	201 n=57 détect=100%	46 n=57 détect=96%	31 - 32 n=57 détect=81%	13 - 28 n=57 détect=46%	15 - 19 n=57 détect=63%	5 - 20 n=57 détect=32%	0,1 - 7,6 n=57 détect=14%	/ n=56 détect=4%	
	Eau filtré	272 - 306 n=18détect=78%	129 n=57détect=100%	17 - 18 n=57détect=86%	5 - 8 n=57détect=30%	6 - 24 n=57détect=33%	10 - 16 n=57détect=47%	2 - 17 n=57détect=28%	/ n=57détect=9%	/ n=56détect=0%	
La Risle	Eau brute	98 079 n=34détect=94%	5 148 n=34 détect=97%	1 479 n=42 détect=95%	390 - 434 n=34 détect=65%	377 - 812 n=34 détect=50%	699 - 755 n=34 détect=79%	272 - 656 n=34 détect=47%	10 - 202 n=34 détect=38%	/ n=33 détect=0%	
	Eau filtré	8 874 - 9 397 n=18détect=89%	2 222 - 2 421 n=34détect=74%	828 n=39détect=92%	18 - 113 n=34détect=15%	176 - 666 n=34détect=26%	396 - 521 n=34détect=59%	233 - 616 n=34détect=47%	2 - 195 n=34détect=21%	/ n=33détect=0%	
La Lézarde	Eau brute	15 556 n=34détect=94%		81 - 102 n=34 détect=59%							
	Eau filtré	1 279 - 1 457 n=18détect=72%		34 - 69 n=18détect=39%							
Flux min - max (kg/an)		/									
Nombre de valeurs (n)											
Détection (%)		0 - 10%	10 - 50%	50 - 90%	90 - 100%						

3. Les HAP

Les apports de la Seine (à Poses) représentent 90% des flux en HAP du réseau hydrographique de surface vers l'estuaire de la Seine. Les affluents représentent les 10% restant, avec une part prépondérante apportée par l'Eure et la Risle (70 à 80%). Cette distribution reste sensiblement identique pour les différents HAP étudiés [Tableau VII].

Concernant les apports de la Seine (à Poses), 11 HAP présentent des flux individuels de l'ordre de la centaine à quelques centaines de kg/an : le fluoranthène, le pyrène, la naphtalène, le benzo(b)fluoranthène, le benzo(a)pyrène, le chrysène, l'indéno(1,2,3-cd)pyrène, le benzo(ghi)pérylène, le benzo(a)anthracène, le phénanthrène et le benzo(k)fluoranthène. Le dibenzo(a,h)anthracène présente un flux de quelques dizaines de kg/an. 4 HAP ne sont pas détectés et leurs flux n'ont pas pu être estimés : le fluorène, l'acénaphthène, l'anthracène et l'acénaphthylène. L'apport global en HAP représente un flux compris entre 2 et 2.5 t/an, dont près d'une tonne pour les 5 HAP pyrolytiques.

Concernant les affluents, le flux de HAP représente environ 200kg/an avec une distribution relative comparable à celle présentée pour la Seine.

Tableau VII : Flux de HAP (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.

Flux HAP (2009-2013)	Fluoranthène	Pyrène	Benzo(b) Fluoranthène	Benzo(a) Pyrène	Chrysène	Indéno(1,2,3-cd) Pyrène	Benzo(ghi) Pérylène	Benzo(a) Anthracène	Phénanthrène	Benzo(k) Fluoranthène	Naphtalène	Dibenzo(a,h) Anthracène	Fluorène	Acénaphthène	Anthracène	Acénaphthylène
La Seine (Poses)	342 - 352 n=227 détect=83%	304 - 351 n=227 détect=73%	225 - 246 n=227 détect=59%	197 - 222 n=227 détect=52%	182 - 201 n=227 détect=55%	162 - 183 n=227 détect=52%	155 - 177 n=227 détect=51%	148 - 172 n=227 détect=44%	146 - 169 n=227 détect=60%	84 - 127 n=227 détect=26%	33 - 300 n=227 détect=11%	16,5 - 34,2 n=227 détect=63%	/ n=227 détect=3%	/ n=227 détect=9%	/ n=227 détect=7%	/ n=227 détect=1%
L'Andelle	2,12 - 2,75 n=16 détect=38%	1,77 - 2,41 n=16 détect=38%	2,43 - 3,12 n=16 détect=31%	1,57 - 2,27 n=16 détect=31%	1,63 - 1,85 n=16 détect=44%	1,61 - 1,71 n=16 détect=50%	0,83 - 0,93 n=16 détect=50%	1,18 - 1,27 n=16 détect=56%	0,52 - 1,43 n=16 détect=19%	0,45 - 1,43 n=16 détect=13%	/ n=16 détect=0%	0,09 - 0,10 n=16 détect=25%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%
L'Eure	13,2 - 14,1 n=110 détect=63%	10,9 - 12 n=110 détect=54%	10,5 - 11,8 n=110 détect=48%	7,79 - 9,33 n=110 détect=40%	7,16 - 8,04 n=110 détect=53%	8,60 - 9,39 n=110 détect=54%	5,94 - 6,81 n=110 détect=48%	5,18 - 6,19 n=110 détect=46%	4,49 - 6,04 n=110 détect=43%	4,12 - 6,02 n=110 détect=27%	1,54 - 15,3 n=110 détect=21%	0,91 - 0,91 n=110 détect=67%	/ n=110 détect=2%	/ n=110 détect=1%	/ n=110 détect=1%	/ n=110 détect=0%
Le Robec	0,29 - 0,31 n=17 détect=76%	0,23 - 0,25 n=17 détect=59%	0,25 - 0,29 n=17 détect=35%	0,16 - 0,20 n=17 détect=41%	0,18 - 0,19 n=17 détect=82%	0,17 - 0,18 n=17 détect=71%	0,13 - 0,13 n=17 détect=82%	0,12 - 0,13 n=17 détect=82%	0,11 - 0,15 n=17 détect=35%	0,07 - 0,12 n=17 détect=29%	/ n=17 détect=6%	0,01 - 0,01 n=17 détect=12%	/ n=17 détect=6%	/ n=17 détect=6%	/ n=17 détect=1%	/ n=17 détect=0%
Le Cailly	2,92 n=34 détect=94%	2,15 - 2,23 n=34 détect=82%	1,81 - 1,90 n=34 détect=79%	1,29 - 1,42 n=34 détect=71%	1,40 n=34 détect=91%	1,43 n=34 détect=94%	1,10 n=34 détect=91%	1,11 n=34 détect=91%	1,15 - 1,31 n=34 détect=65%	0,60 - 0,81 n=34 détect=53%	0,16 - 2,49 n=34 détect=18%	0,13 - 0,13 n=34 détect=59%	0,06 - 2,41 n=34 détect=12%	/ n=34 détect=6%	0,08 - 0,46 n=34 détect=12%	/ n=34 détect=3%
L'Autreberthe	1,82 - 1,86 n=56 détect=89%	1,47 - 1,52 n=56 détect=84%	1,28 - 1,35 n=56 détect=79%	0,92 - 1,00 n=56 détect=73%	0,92 - 0,95 n=56 détect=86%	0,96 - 0,97 n=56 détect=89%	0,71 - 0,72 n=56 détect=86%	0,73 - 0,76 n=56 détect=84%	0,62 - 0,73 n=56 détect=68%	0,43 - 0,58 n=56 détect=52%	0,12 - 1,51 n=56 détect=21%	0,09 - 0,09 n=56 détect=66%	/ n=56 détect=2%	/ n=56 détect=2%	/ n=56 détect=2%	/ n=56 détect=0%
Le Commerce	0,29 - 0,30 n=57 détect=81%	0,24 - 0,25 n=57 détect=79%	0,21 - 0,24 n=57 détect=65%	0,16 - 0,18 n=57 détect=58%	0,15 - 0,16 n=57 détect=75%	0,18 - 0,19 n=57 détect=71%	0,15 - 0,16 n=57 détect=79%	0,11 - 0,13 n=57 détect=67%	0,11 - 0,13 n=57 détect=63%	0,07 - 0,10 n=57 détect=44%	0,03 - 0,29 n=57 détect=28%	0,02 - 0,02 n=57 détect=68%	0,02 - 0,29 n=57 détect=16%	0,01 - 0,07 n=57 détect=11%	/ n=57 détect=5%	/ n=57 détect=2%
La Risle	6,74 - 7,43 n=37 détect=68%	5,42 - 6,28 n=37 détect=59%	6,50 - 7,46 n=37 détect=51%	3,84 - 5,15 n=37 détect=38%	4,58 - 5,10 n=37 détect=54%	4,56 - 4,97 n=37 détect=54%	3,01 - 3,52 n=37 détect=49%	6,01 - 6,52 n=37 détect=54%	1,99 - 3,37 n=37 détect=35%	2,41 - 4,02 n=37 détect=22%	/ n=37 détect=5%	0,42 - 0,43 n=37 détect=62%	/ n=37 détect=3%	0,13 - 2,20 n=37 détect=3%	/ n=37 détect=3%	/ n=37 détect=0%
La Lézarde	0,52 - 0,65 n=16 détect=56%	0,51 - 0,66 n=16 détect=50%	0,21 - 0,45 n=16 détect=19%	0,09 - 0,36 n=16 détect=13%	0,31 - 0,35 n=16 détect=69%	0,24 - 0,26 n=16 détect=75%	0,14 - 0,16 n=16 détect=63%	0,13 - 0,16 n=16 détect=50%	0,14 - 0,38 n=16 détect=25%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%	0,02 - 0,02 n=16 détect=13%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%

Flux min - max (kg/an)	/	<1	1 - 10	10 - 100	>100
Nombre de valeurs (n)					
Détection (%)	0 - 10%	10 - 50%	50 - 90%	90 - 100%	

4. Les pesticides

Les apports de la Seine (à Poses) représentent 90 à 95% des flux en pesticides du réseau hydrographique de surface vers l'estuaire de la Seine. Les affluents représentent les 5 à 10% restant, avec une part prépondérante apportée par l'Eure et la Risle (60 à 90%) [Tableau VIII].

Concernant les apports de la Seine (à Poses) en pesticides, 5 molécules herbicides (ou métabolites) sont particulièrement détectées : l'AMPA, le glyphosate, l'isoproturon, l'atrazine et le diuron. A noter que l'atrazine et le diuron sont interdits d'usage, respectivement depuis 2003 et 2002. L'AMPA présente le flux le plus important (4.8t/an) et représente 2/3 du flux total (près de 7t/an). Le flux de glyphosate représente 1t/an et les flux d'isoproturon, d'atrazine et de diuron quelques centaines de kg/an. Le très faible taux de détection des autres pesticides étudiés ne permet pas l'estimation de leur flux.

Concernant les affluents, les 5 mêmes molécules sont détectées avec un flux global compris entre 250 et 270 kg/an.

Tableau VIII : Flux de Pesticides (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.

Flux pesticides (2009-2013)	AMPA	Glyphosate	Isoproturon	Atrazine	Diuron	Alachlore	Aldrine	DDT-DDE- DDD	Endosulfan	Endrine	Fipronil	HCH alpha	Isodrine	Simazine
La Seine (Poses)	4 669 - 4 798 n=225 détect=88%	645 - 1 095 n=225 détect=52%	308 - 411 n=226 détect=38%	27,5 - 322 n=226 détect=16%	249 - 317 n=226 détect=74%	/ n=226 détect=0%	/ n=226 détect=1%	/ n=90 détect=0%	/ n=227 détect=0%	/ n=227 détect=0%	/ n=225 détect=0%	/ n=226 détect=3%	/ n=227 détect=0%	/ n=226 détect=0%
L'Andelle	6,90 - 13,7 n=33 détect=52%	/ n=33 détect=9%	0,89 - 3,31 n=33 détect=15%	1,15 - 4,37 n=33 détect=45%	/ n=33 détect=9%	/ n=33 détect=0%	/ n=33 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=33 détect=0%	/ n=33 détect=0%	/ n=33 détect=0%	/ n=33 détect=0%	/ n=33 détect=0%	/ n=33 détect=0%
L'Eure	119 - 125 n=112 détect=87%	19,4 - 42,3 n=112 détect=39%	24 - 28,4 n=113 détect=36%	2,25 - 13,29 n=113 détect=34%	1,80 - 9,20 n=113 détect=21%	/ n=112 détect=0%	/ n=112 détect=0%	/ n=41 détect=0%	/ n=112 détect=0%	/ n=112 détect=0%	/ n=113 détect=0%	/ n=112 détect=0%	/ n=112 détect=0%	/ n=113 détect=7%
Le Robec	0,07 - 0,66 n=32 détect=13%	0,33 - 0,85 n=32 détect=25%	0,03 - 0,17 n=34 détect=12%	0,09 - 0,29 n=34 détect=47%	0,08 - 0,21 n=34 détect=29%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=9%
Le Cailly			0,24 - 1,18 n=34 détect=12%	0,56 - 1,81 n=34 détect=47%	0,77 - 1,64 n=34 détect=26%	/ n=33 détect=0%	/ n=33 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=17 détect=0%	/ n=33 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=3%
L'Autreberthe	4,40 - 5,70 n=33 détect=70%	1,93 - 4,15 n=33 détect=30%	0,76 - 1,50 n=57 détect=16%	0,42 - 1,54 n=57 détect=37%	0,38 - 1,16 n=57 détect=18%	/ n=55 détect=0%	/ n=55 détect=0%	/ n=21 détect=0%	/ n=56 détect=0%	/ n=56 détect=0%	/ n=50 détect=0%	/ n=55 détect=0%	/ n=56 détect=0%	/ n=57 détect=4%
Le Commerce	19 n=33 détect=94%	1,26 - 1,45 n=33 détect=67%	/ n=57 détect=5%	0,10 - 0,30 n=57 détect=40%	0,24 - 0,32 n=57 détect=53%	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%	/ n=21 détect=0%	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%	/ n=52 détect=0%	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%
La Risle	25,1 - 31,7 n=33 détect=73%	2,42 - 19,4 n=33 détect=15%	10 - 13,6 n=42 détect=21%	1,02 - 7,31 n=42 détect=31%	/ n=42 détect=0%	/ n=42 détect=0%	/ n=42 détect=0%	/ n=19 détect=0%	/ n=42 détect=0%	/ n=42 détect=0%	/ n=39 détect=0%	/ n=42 détect=0%	/ n=42 détect=0%	/ n=42 détect=0%
La Lézarde	2,28 - 4,38 n=33 détect=33%	2,76 - 5,33 n=33 détect=12%	/ n=34 détect=3%	1,69 - 2,54 n=34 détect=50%	1,43 - 1,88 n=34 détect=53%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%
Flux min - max (kg/an)	/	/	<1	1 - 10	10 - 100	>100								
Nombre de valeurs (n)														
Détection (%)	0 - 10%	10 - 50%	50 - 90%	90 - 100%										

5. Les PCB

Les différents congénères de PCB recherchés ne sont que très peu détectés dans les eaux de la Seine et de ses affluents (limite de quantification à 1ng/l pour la majorité des mesures). Ce manque de données ne permet pas une estimation des flux de PCB apportés par le réseau hydrographique [Tableau IX]. Une étude antérieure avait estimé le flux de PCB à l'estuaire par la Seine à 144kg/an sur la période 2001-2005, ce qui tendrait à montrer une baisse des apports par le réseau hydrographique [Dargnat & Fisson, 2010].

Tableau IX : Flux de PCB (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.

Flux PCB (2009-2013)	PCB 52	PCB 153	PCB 28	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 180
La Seine (Poses)	3,24 - 16,6 n=225 détect=11%	3,15 - 11,6 n=225 détect=13%	/ n=225 détect=5%	/ n=225 détect=7%	/ n=225 détect=9%	/ n=225 détect=2%	/ n=225 détect=1%
L'Andelle	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=6%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%
L'Eure	/ n=111 détect=0%	/ n=111 détect=7%	/ n=111 détect=1%	/ n=111 détect=2%	/ n=111 détect=1%	/ n=111 détect=5%	/ n=111 détect=5%
Le Robec	/ n=17 détect=0%	/ n=17 détect=0%	/ n=17 détect=0%	/ n=17 détect=0%	/ n=17 détect=0%	/ n=17 détect=0%	/ n=17 détect=0%
Le Cailly	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%
L'Autreberthe	/ n=56 détect=0%	/ n=56 détect=5%	/ n=56 détect=0%	/ n=56 détect=0%	/ n=56 détect=2%	/ n=56 détect=4%	/ n=56 détect=4%
Le Commerce	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=2%	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=4%	/ n=57 détect=2%
La Risle	/ n=37 détect=3%	/ n=37 détect=3%	/ n=37 détect=0%	/ n=37 détect=0%	/ n=37 détect=0%	/ n=37 détect=0%	/ n=37 détect=0%
La Lézarde	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=0%	/ n=16 détect=6%	/ n=16 détect=0%

Flux min - max (kg/an)	/	<10	10 - 100	>100	>1000
Nombre de valeurs (n)					
Détection (%)	0 - 10%	10 - 50%	50 - 90%	90 - 100%	

6. Les PBDE

Les différents congénères de PBDE recherchés ne sont que très peu détectés dans les eaux de la Seine et de ses affluents (limite de quantification à 0.5ng/l pour la majorité des mesures). Ce manque de données ne permet pas une estimation des flux de PBDE par le réseau hydrographique [Tableau X].

Tableau X : Flux de PBDE (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.

Flux PBDE (2009-2013)	BDE28	BDE47	BDE99	BDE100	BDE153	BDE154
La Seine (Poses)	/	/	/	/	/	/
	n=255 détect=0%	n=255 détect=2%	n=255 détect=4%	n=255 détect=1%	n=255 détect=1%	n=255 détect=0%
L'Andelle	/	/	/	/	/	/
	n=16 détect=0%	n=16 détect=0%	n=16 détect=0%	n=16 détect=0%	n=16 détect=0%	n=16 détect=0%
L'Eure	/	/	/	/	/	/
	n=111 détect=0%	n=111 détect=2%	n=111 détect=3%	n=111 détect=1%	n=111 détect=1%	n=111 détect=1%
Le Robec	/	/	/	/	/	/
	n=17 détect=0%	n=17 détect=0%	n=17 détect=0%	n=17 détect=0%	n=17 détect=0%	n=17 détect=0%
Le Cailly	/	/	/	/	/	/
	n=34 détect=0%	n=34 détect=0%	n=34 détect=0%	n=34 détect=0%	n=34 détect=0%	n=34 détect=0%
L'Autreberthe	/	/	/	/	/	/
	n=56 détect=0%	n=56 détect=0%	n=56 détect=4%	n=56 détect=0%	n=56 détect=0%	n=56 détect=0%
Le Commerce	/	/	/	/	/	/
	n=57 détect=0%	n=57 détect=0%	n=57 détect=2%	n=57 détect=0%	n=57 détect=0%	n=57 détect=0%
La Risle	/	/	/	/	/	/
	n=37 détect=0%	n=37 détect=0%	n=37 détect=0%	n=37 détect=0%	n=37 détect=0%	n=37 détect=0%
La Lézarde	/	/	/	/	/	/
	n=16 détect=0%	n=16 détect=0%	n=16 détect=0%	n=16 détect=0%	n=16 détect=0%	n=16 détect=0%
Flux min - max (kg/an)	/	<0,1	0,1 - 1	>1	>10	
Nombre de valeurs (n)						
Détection (%)	0 - 10%	10 - 50%	50 - 90%	90 - 100%		

7. Les phtalates

Les apports de la Seine (à Poses) représentent 90 à 95% des flux en phtalates par le réseau hydrographique de surface vers l'estuaire de la Seine. Les affluents représentent les 5 à 10% restant, avec une part prépondérante apportée par l'Eure et la Risle (70 à 75%) [Tableau XI].

Concernant les apports de la Seine (à Poses), le DEHP, le DiBP, le MEHP et le DEP présentent un flux cumulé compris entre 18 et 42 t/an. Le DEHP est la molécule détectée le plus fréquemment. Une étude antérieure avait estimé le flux de DEHP à Poses entre 7kg/j (hors période de ruissellement) et 64kg/j (en période de ruissellement) sur les années 2005-2006 [Dargnat, 2008]. Les valeurs obtenues dans la présente étude (30 – 43kg/j) sont compatibles avec cet ordre de grandeur.

Concernant les affluents, le flux de phtalates représente entre 1 et 3t/an avec une présence plus marquée du DEHP et du DiBP.

Tableau XI : Flux de Phtalates (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.

Flux phtalates (2009-2013)	DEHP	DiBP	MEHP	DEP
La Seine (Poses)	10 857 - 15 817 <i>n=164</i> <i>déteçt=49%</i>	3 196 - 10 294 <i>n=225</i> <i>déteçt=32%</i>	3 375 - 7 689 <i>n=34</i> <i>déteçt=29%</i>	1 050 - 8 713 <i>n=225</i> <i>déteçt=18%</i>
L'Andelle	64 - 77 <i>n=16</i> <i>déteçt=50%</i>	102 - 112 <i>n=16</i> <i>déteçt=63%</i>	36 - 116 <i>n=12</i> <i>déteçt=17%</i>	/ <i>n=16</i> <i>déteçt=0%</i>
L'Eure	151 - 413 <i>n=81</i> <i>déteçt=38%</i>	97 - 477 <i>n=112</i> <i>déteçt=26%</i>	82 - 295 <i>n=33</i> <i>déteçt=18%</i>	/ <i>n=112</i> <i>déteçt=1%</i>
Le Robec	3,8 - 4,4 <i>n=16</i> <i>déteçt=50%</i>	4,3 - 5,6 <i>n=17</i> <i>déteçt=47%</i>	3,2 - 7,0 <i>n=12</i> <i>déteçt=25%</i>	/ <i>n=17</i> <i>déteçt=0%</i>
Le Cailly	26 - 57 <i>n=26</i> <i>déteçt=42%</i>	20 - 62 <i>n=34</i> <i>déteçt=35%</i>	39 - 58 <i>n=17</i> <i>déteçt=50%</i>	9,1 - 53 <i>n=34</i> <i>déteçt=21%</i>
L'Autreberthe	14 - 42 <i>n=40</i> <i>déteçt=33%</i>	10 - 48 <i>n=36</i> <i>déteçt=23%</i>	15 - 33 <i>n=17</i> <i>déteçt=29%</i>	/ <i>n=36</i> <i>déteçt=0%</i>
Le Commerce	3,4 - 8,9 <i>n=41</i> <i>déteçt=37%</i>	2,1 - 9,7 <i>n=57</i> <i>déteçt=25%</i>	3,6 - 7,0 <i>n=17</i> <i>déteçt=24%</i>	/ <i>n=57</i> <i>déteçt=5%</i>
La Risle	171 - 283 <i>n=29</i> <i>déteçt=45%</i>	107 - 296 <i>n=37</i> <i>déteçt=32%</i>	149 - 267 <i>n=15</i> <i>déteçt=33%</i>	/ <i>n=37</i> <i>déteçt=8%</i>
La Lézarde	23 - 25 <i>n=16</i> <i>déteçt=69%</i>	18 - 24 <i>n=16</i> <i>déteçt=56%</i>	21 - 36 <i>n=12</i> <i>déteçt=42%</i>	2 - 7,4 <i>n=16</i> <i>déteçt=13%</i>
Flux min - max (kg/an)	/		<10	10 - 100
Nombre de valeurs (n)	100 - 1000		>1000	
Déteçtion (%)	0 - 10%		10 - 50%	
	50 - 90%		90 - 100%	

8. Les organoétains

Les organoétains ne sont que très peu détectés dans les eaux de la Seine et de ses affluents (limite de quantification à 0.1ng/l pour le tri-butylétain et entre 2 et 50ng/l pour le mono- et le di-butylétain). Ce manque de données ne permet pas une estimation des flux en organoétains par le réseau hydrographique [Tableau XII Tableau VIII].

Tableau XII : Flux d'Organoétains (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.

Flux Organoétains (2009-2013)	Monobutyl étain	Dibutyl étain	Tributyl étain
La Seine (Poses)	/ n=226 detect=8%	/ n=124 detect=1%	/ n=97 detect=5%
L'Andelle			
L'Eure	0,54 - 19,5 n=112 detect=11%	/ n=65 detect=0%	/ n=51 detect=2%
Le Robec			
Le Cailly	0,05 - 2,18 n=34 detect=15%	/ n=17 detect=0%	/ n=13 detect=0%
L'Autreberthe	/ n=56 detect=9%	/ n=32 detect=0%	/ n=25 detect=0%
Le Commerce	/ n=57 detect=5%	/ n=33 detect=0%	/ n=26 detect=4%
La Risle	0,77 - 11,1 n=34 detect=18%	/ n=17 detect=0%	/ n=13 detect=0%
La Lézarde			

Flux min - max (kg/an)	/	<10
	10 - 100	100 - 1000
	>1000	
Nombre de valeurs (n)		
Détection (%)	0 - 10%	10 - 50%
	50 - 90%	90 - 100%

9. Les alkylphénols

Les apports de la Seine (à Poses) représentent la quasi-totalité des flux en alkylphénols du réseau hydrographique de surface vers l'estuaire de la Seine. Parmi les affluents, l'Eure et la Risle représentent près de 90% des apports identifiés [Tableau XIII].

Concernant les apports de la Seine (à Poses), les nonylphénols présentent un flux de quelques tonnes par an. Le flux d'octylphénols n'a pas pu être estimé. Concernant les affluents, le flux cumulé de nonylphénol représente entre 70 et 160 kg/an.

Tableau XIII : Flux en Alkylphénols (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.

Flux alkylphénols (2009-2013)	Nonylphénol	4-Nonylphénol	4-tert-Octylphénol	p-octylphénol
La Seine (Poses)	4 126 - 4 811 <i>n=90</i> <i>délect=52%</i>	2 034 - 4 549 <i>n=225</i> <i>délect=20%</i>	/ <i>n=225</i> <i>délect=0%</i>	/ <i>n=225</i> <i>délect=0%</i>
L'Andelle				
L'Eure	29 - 81 <i>n=41</i> <i>délect=15%</i>	/ <i>n=111</i> <i>délect=5%</i>	/ <i>n=111</i> <i>délect=1%</i>	/ <i>n=111</i> <i>délect=0%</i>
Le Robec				
Le Cailly	3,3 - 10 <i>n=16</i> <i>délect=19%</i>	/ <i>n=34</i> <i>délect=9%</i>	/ <i>n=34</i> <i>délect=3%</i>	/ <i>n=34</i> <i>délect=0%</i>
L'Autreberthe	4,3 - 9,2 <i>n=21</i> <i>délect=24%</i>	/ <i>n=56</i> <i>délect=9%</i>	/ <i>n=56</i> <i>délect=2%</i>	/ <i>n=56</i> <i>délect=0%</i>
Le Commerce	0,7 - 1,6 <i>n=21</i> <i>délect=24%</i>	/ <i>n=57</i> <i>délect=9%</i>	/ <i>n=57</i> <i>délect=0%</i>	/ <i>n=57</i> <i>délect=0%</i>
La Risle	25 - 59 <i>n=16</i> <i>délect=25%</i>	/ <i>n=34</i> <i>délect=6%</i>	/ <i>n=34</i> <i>délect=3%</i>	/ <i>n=34</i>
La Lézarde				
Flux min - max (kg/an)		/ 100 - 1000	<10 >1000	10 - 100
Nombre de valeurs (n)				
Détection (%)		0 - 10% 50 - 90%	10 - 50% 90 - 100%	

10. Les COV

Les composés organiques volatiles, dits BTX (benzène, toluène, xylène), recherchés ne sont pas détectés dans les eaux de la Seine et de ses affluents (limite de quantification entre 0.5 et 1µg/l). Ce manque de données ne permet pas une estimation de leur flux par le réseau hydrographique.

De même, les flux de COHV pas pu être estimés du fait de la non-détection de ces substances (limite de quantification de 0.5µg/l pour le chloroforme et entre 0.5 et 5µg/l pour le dichlorométhane [Tableau XIV]).

Tableau XIV : Flux de COV (kg/an) - apports à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique.

Flux Autres substances (2009-2013)	BTX			COHV	
	Benzène	Toluène	Xylène (o,m,p)	Chloroforme	DiChlorométhane
La Seine (Poses)	/ n=227 détect=0%	/ n=227 détect=0%	/ n=227 détect=0%	/ n=227 détect=0%	/ n=227 détect=0%
L'Andelle					
L'Eure	/ n=112 détect=0%	/ n=112 détect=0%	/ n=112 détect=0%	/ n=112 détect=0%	/ n=112 détect=0%
Le Robec					
Le Cailly	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%
L'Autreberthe	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%
Le Commerce	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%	/ n=57 détect=0%
La Risle	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%	/ n=34 détect=0%
La Lézarde					

Flux min - max (kg/an)	/	<1	1 - 10	
	10 - 100	>100		
Nombre de valeurs (n)				
Détection (%)	0 - 10%	10 - 50%	50 - 90%	90 - 100%

III. Bilan des apports

Afin de s'affranchir de la taille des bassins versant et pouvoir comparer leurs apports respectifs, le flux spécifique (g/an/km²) des principales substances apportées à l'estuaire de la Seine par le réseau hydrographique a été calculé [Tableau XV]. Même rapporté à la surface du bassin versant, les apports par la Seine restent forts comparés aux apports des affluents intra-estuariens, témoin de la forte anthropisation du bassin versant de la Seine : plus d'une tonne/km²/an d'azote lié aux nitrates, 35kg/km²/an de phosphore, 700kg/km²/an de cuivre, 39kg/km²/an pour les 16HAP, 17kg/km²/an de glyphosate, 245 kg/km²/an de DEHP et 74 kg/km²/an de nonylphénol.

Les apports du Cailly et de l'Austreberthe sont particulièrement marqués par des apports métalliques et en HAP, à relier avec le passé industriel de la partie aval de leur bassin versant. Les apports en nitrates et en herbicides sont eux particulièrement marqués sur le bassin versant de la Lézarde. Les bassins versant de l'Andelle, du Cailly, de l'Austreberthe et de la Lézarde se distinguent clairement de ceux de l'Eure, du Robec, du Commerce et de la Risle par des apports plus marqués en azote et en phosphore. A noter, la forte contribution du Commerce en ammonium.

Tableau XV : Flux spécifique en contaminants à l'estuaire de la Seine (g/km²/an).

Flux spécifique en g/km ² /an (2009-2013)	Surface BV (km ²)	Nitrate (N-NO3)	Ammonium (N-NH4)	Phosphore total (P)	Zinc	Cuivre	Plomb	Cadmium	5 HAP	16 HAP	Glyphosate	Atrazine	DEHP	Nonylphénol
La Seine (Poses)	64 604	1 279 967	67 949	35 215	2 696	708	489	118	15	39	17	5	245	74
L'Andelle	740	1 556 539	13 649	33 784		407			13	26		6	104	
L'Eure	6 032	681 537	6 830	12 931	1 118	298	529	63	7	18	7	2	68	13
Le Robec	152	415 959	3 947	4 605		99			6	13	6	2	29	
Le Cailly	244	1 658 382	27 049	33 197	5 725	1 020	361	172	27	87		7	234	41
L'Austreberthe	214	1 700 935	21 963	25 234	2 458	402	327	178	22	56	19	7	196	43
Le Commerce	176	419 538	70 707	14 205	1 142	261	182	43	5	14	8	2	51	9
La Risle	2 320	839 182	14 741	18 966	2 219	638	187	87	11	24	8	3	122	25
La Lézarde	211	2 595 169	33 175	31 754		483			6	16	25	12	118	

Le Tableau XVI présente un bilan des apports identifiés à l'estuaire de la Seine (par le réseau hydrographique et les rejets directs) pour les principaux contaminants étudiés. Il permet de comparer les différentes sources et fait ressortir quelques éléments caractéristiques :

- Pour les **nutriments**, les rejets directs sont très faibles par rapport aux apports du réseau hydrologique (moins de 2% pour l'azote et 5% pour le phosphore). Les rejets industriels et urbains sont du même ordre de grandeur.
- Pour les **métaux**, les rejets directs sont très faibles par rapport aux apports du réseau hydrologique (moins de 5%).
- Pour les **HAP**, les rejets industriels sont supérieurs aux apports des affluents et non négligeables par rapport aux apports de la Seine. Cela montre l'importance des sources internes à l'estuaire pour ces contaminants et confirme les conclusions d'une étude antérieure [Lachambre & Fisson, 2007].
- Pour les **pesticides**, les apports sont essentiellement liés au réseau hydrographique, du fait de sources majoritairement liées au ruissellement.
- Pour les **COV**, seuls des apports liés à des rejets directs sont identifiés, du fait du caractère volatile de ces molécules.

Tableau XVI : Bilan des apports à l'estuaire de la Seine (kg/an).

Flux en kg/an (2009-2013)	La Seine (Poses)	Affluents	Industries		STEP	
			RSDE	IREP	RSDE	IREP
Nitrate (N-NO3)	82 691 000	8 663 065	/	883 773	/	713 391
Ammonium (N-NH4)	4 389 778	89 744 - 166 844	/		/	
Phosphore total (P)	2 275 000	170 400	/	77 463	/	49 631
Zinc	174 144	14 015	4 423	2 513	3 256	4 639
Cuivre	45 752	3 866 - 4 074	237	340	413	715
Plomb	31 602	3 747 - 3 812	8	160	79	350
Cadmium	340 - 7 621	28 - 669	6	71	8	60
16 HAP	1 994 - 2 534	171 - 223	696	199	0,50	1,30
Glyphosate	645 - 1 095	28 - 73	/	/	/	/
Diuron	249 - 317	4,7 - 14	0,14	/	4,6	5,5
Atrazine	27 - 322	7,3 - 31	0,09	/	0,21	/
DEHP	10 857 - 15 817	456 - 910	/	70	19	605
Monobutyl étain	/	1,4 - 33	1,3	/	0	/
Nonylphénol	4 126 - 4 811	62 - 161	76	22	4,0	22
BTX	/	/	2 158	1 037	4,1	7,9
Chloroforme	/	/	45	12	10	17

Abréviations

3RSDE : Recherche et Réduction des Rejets de Substances Dangereuses dans l'Eau

AESN : Agence de l'Eau Seine-Normandie

AMPA : Amino Méthyl Phosphonique Acid

AOX : Adsorbable Organic Halogen

BTX : Benzène, Toluène, Xylène

BV : Bassin Versant

COV Composés Organiques Volatils

COHV : Composés Organiques Halogénés Volatils

DiBP : DiisoButylPhtalate

DBT : DiButylétain

DDD : DichloroDiphénylDichloroéthane

DDE : DichloroDiphenyldichloroEthylene

DDT : DichloroDiphenylTrichloroethane

DEHP : Di(2-EthylHexyl)Phtalate

DEP : DiEthylPhtalate

GIPSA : Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

HCH : HexaChlorocycloHexane (lindane)

INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques

IREP : Registre français des Emissions Polluantes

LD : Limite de Détection

MBT : Monobutylétain

MEDDE : Ministère de l'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie

MEEDDAT: Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire

MEHP : Mono-(2-EthylHexyl)Phthalate

NGL : Azote global

NH₄ : Ammonium

NO₃ : Nitrate

PBDE : PolyBromoDiphénylEthers

PCB : PolyChloroBiphényles

PCB-DL : PolyChloroBiphényles Dioxine Like

PCBi : PolyChloroBiphényles indicateurs

PCB-NDL : PolyChloroBiphényles Non Dioxine Like

PO₄ : Orthophosphate

Pt : Phosphore total

RCS : Réseau de Contrôle de Surveillance

STEP : STation d'EPuration

TBT : Tributylétain

Bibliographie

- Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN), 2008. **Guide des substances toxiques dans les eaux douces et littorales du bassin Seine-Normandie**. ISBN 978-2-9523536-2-5, 272 p.
- Darnat C., 2008. **Sources, transfert et devenir des phtalates sur le bassin versant de la Seine. Caractérisation des dangers pour l'environnement et les écosystèmes**. Thèse de doctorat, Université Paris VI – Pierre et Marie Curie, 320p.
- Darnat C. & Fisson C., 2010. **Les PCB dans le bassin de la Seine et son estuaire**. Etude réalisée par le GIP Seine-Aval, 134p.
- Fisson C. (coord.), 2014. **Qualité des eaux de l'estuaire de la Seine**. Fascicule Seine-Aval 3.2, 52p.
- Fisson C. (coord.), Leboulenger F., Lecarpentier T., Moussard S., Ranvier G., 2014. **L'estuaire de la Seine : état de santé et évolution**. Fascicule Seine-Aval 3.1, 55p.
- Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval (GIPSA), 2008. **Apports en nutriments et potentiel d'eutrophisation**. Fiche thématique du système d'observation de l'état de santé de l'estuaire de la Seine et de son évolution. 6p.
- Institut National de l'Environnement industriel et des RISques (INERIS) & Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT), 2009. **Action Nationale de Recherche et de Réduction des Rejets de Substances Dangereuses dans les Eaux (AN3RSDE)**. [en ligne] <http://www.ineris.fr/rsde/>
- Lachambre M., Fisson C., 2007. **La contamination chimique : quel risque en estuaire de Seine ?** Etude réalisée par le GIP Seine-Aval, 105 p.
- Ministère de l'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) & Institut National de l'Environnement industriel et des RISques (INERIS), 2014. **Registre français des émissions polluantes**. [en ligne] <http://www.irep.ecologie.gouv.fr/>
- Passy P., 2013. **Passé, présent et devenir de la cascade de nutriments dans les bassins de la Seine, de la Somme et de l'Escaut**. Thèse de doctorat, Université Paris VI – Pierre et Marie Curie, 194p.
- Raymond S., 2011. **Incertitudes des flux transportés par les rivières (Matière en suspension, nutriments, sels dissous) – Vers un système expert d'optimisation des méthodes de calcul**. Thèse de doctorat, Université François Rabelais – Tours, 191p.
- Thévenot D., Lestel L., Tusseau-Vuillemin M-H., Gonzalez J-L., Meybeck M., 2009. **Les métaux dans le bassin de la Seine**. Fascicule PIREN-Seine #7, 58p.

En cas d'utilisation de données ou d'éléments de ce rapport, il doit être cité sous la forme suivante : Fisson, 2015. **Flux en contaminants à l'estuaire de la Seine**. Etude réalisée par le GIP Seine-Aval, 33p.

Le GIP Seine-Aval ne saurait être tenu responsable d'évènements pouvant résulter de l'utilisation et de l'interprétation des informations mises à disposition.

Pour tout renseignement, veuillez contacter le GIP Seine-Aval : gipsa@seine-aval.fr

Le GIP Seine-Aval est financé par :

