



Un bilan des métaux

Comme pour d'autres grands fleuves européens, le Rhin par exemple, il est important de réaliser des bilans de matière pour tout un bassin versant afin d'estimer les flux majeurs de métaux et tenter de les restreindre.



Réaliser des bilans de matière implique de traiter des informations de type et de qualité très différentes. Certaines sont acquises à des pas de temps très fins, d'autres sur plusieurs années :

- les données issues de statistiques économiques concernent principalement les quantités de métaux et les bilans de matière liés aux activités urbaines, industrielles et agricoles. Elles incluent aussi le recyclage des métaux, les émissions atmosphériques urbaines et industrielles et la production agricole. Ces flux sont en général acquis au niveau national puis transcrits pour le bassin au prorata de la population, des activités économiques ou de la superficie du bassin ;
- les flux environnementaux ont été déterminés par les équipes de chercheurs du PIREN-Seine et par les organismes et institutions partenaires de ce programme (figure 3, page 14) ; les flux rejetés par les réseaux d'eaux usées ont été produits par les partenaires du PIREN-Seine : ils comprennent des rejets multiples, domestiques, industriels, urbains, de station d'épuration...

- les données calculées combinent souvent les deux jeux précédents sur l'ensemble du bassin (apports atmosphériques, utilisation agricole de boues de station d'épuration d'eaux usées, érosion naturelle des sols, flux anthropiques en rivière résultant de stockage temporaire dans les sols, ou dans les décharges contrôlées urbaines ou industrielles).

Plusieurs types de stockages à long terme sont conceptualisés (figure 14, page 36), mais ne sont pas encore quantifiés : sols forestiers (stock S1), sols cultivés (S4), estuaire (S5), structures urbaines et industrielles et décharges ou sols industriels contaminés (S6 et S7).

D'autres types de stocks ont été estimés : rétention de sédiments dans les barrages amont (voir figure 2, page 13) (S2) ou les plaines alluviales (S3), et mises en dépôt de matériaux de dragage nécessaires au maintien de la navigation fluviale.

Comparaison des principaux flux actuels à l'échelle du bassin

La figure 14 (page 36) et le tableau 4 (page 37) présentent la synthèse des flux annuels moyens (1994-2003) de zinc, cadmium, mercure et plomb apportés actuellement au bassin de la Seine et circulant de l'amont jusqu'à l'estuaire.

Pour le zinc, les retombées atmosphériques corrigées des reprises par érosion éolienne, apportent respectivement 460 et 600 tonnes par an sur les forêts et prairies et sur les sols cultivés du bassin. Ces flux sont donc bien supérieurs à ceux apportés par les engrais (29 t/an) et les épandages de boues de stations d'épuration (83 t/an). Ces flux sont par contre dépassés par ceux résultant des mises en décharge d'ordures ménagères (1 517 t/an) auxquels il faut ajouter les mises en décharge des matériaux issus des chambres à sable des réseaux d'assainissement (163 t/an) et des boues de stations d'épuration (183 t/an) (stocks S6). L'ensemble des apports de zinc sur les sols du bassin s'élève donc à 3 100 t/an.

Les apports directs au milieu aquatique sont plus faibles. Les fuites d'origine humaine des zones rurales, estimées à 5 t/an sont négligeables par rapport à celles

des industries (35 t/an) et surtout celles des zones urbaines : 77 t/an issues des déversoirs d'orage et 134 t/an des rejets de stations d'épuration d'eaux usées domestiques qui peuvent également contenir les eaux usées des industries raccordées.

La comparaison des apports directs au milieu aquatique ($5 + 35 + 77 + 134 = 251$ t/an) et de l'augmentation des flux de zinc dans le bassin entre ceux en tête de bassin (érosion naturelle estimée à 42 t/an) et à Poses (315 t/an de zinc particulaire et 135 t/an de zinc dissous, soit au total 450 t/an), même corrigé des rétentions par les barrages (0,7 t/an), les plaines alluviales (2,5 t/an) ou résultant des dragages nécessités par la navigation fluviale (14 t/an) montre clairement qu'une quantité importante d'apports (140 t/an) n'a pas été prise en compte dans ces bilans moyens ($450 - 42 - 17 - 251 = 140$ t/an).

DRESSER

Les flux de zinc rejetés au milieu aquatique par les villes et les industries (agglomérés dans ce schéma et estimés à $77 + 134 + 35 = 246$ t/an) sont donc nettement supérieurs aux apports annuels de zinc sur les sols par les engrais utilisés dans le bassin, estimés à 29 t/an, mais bien inférieurs à la demande industrielle annuelle de zinc sur le bassin, estimée à 95 000 t/an.

Pour le zinc, comme pour les autres métaux, il est vraisemblable que ces fuites d'origine humaine non comptabilisées résultent des fuites ou de l'érosion des sols cultivés (S4), des déchets urbains (S6) et industriels (S7). Les recherches futures du PIREN-Seine devraient donc s'attacher à vérifier cette hypothèse et tenter d'estimer les flux issus de décharges plus ou moins contrôlées ou de sites industriels contaminés.

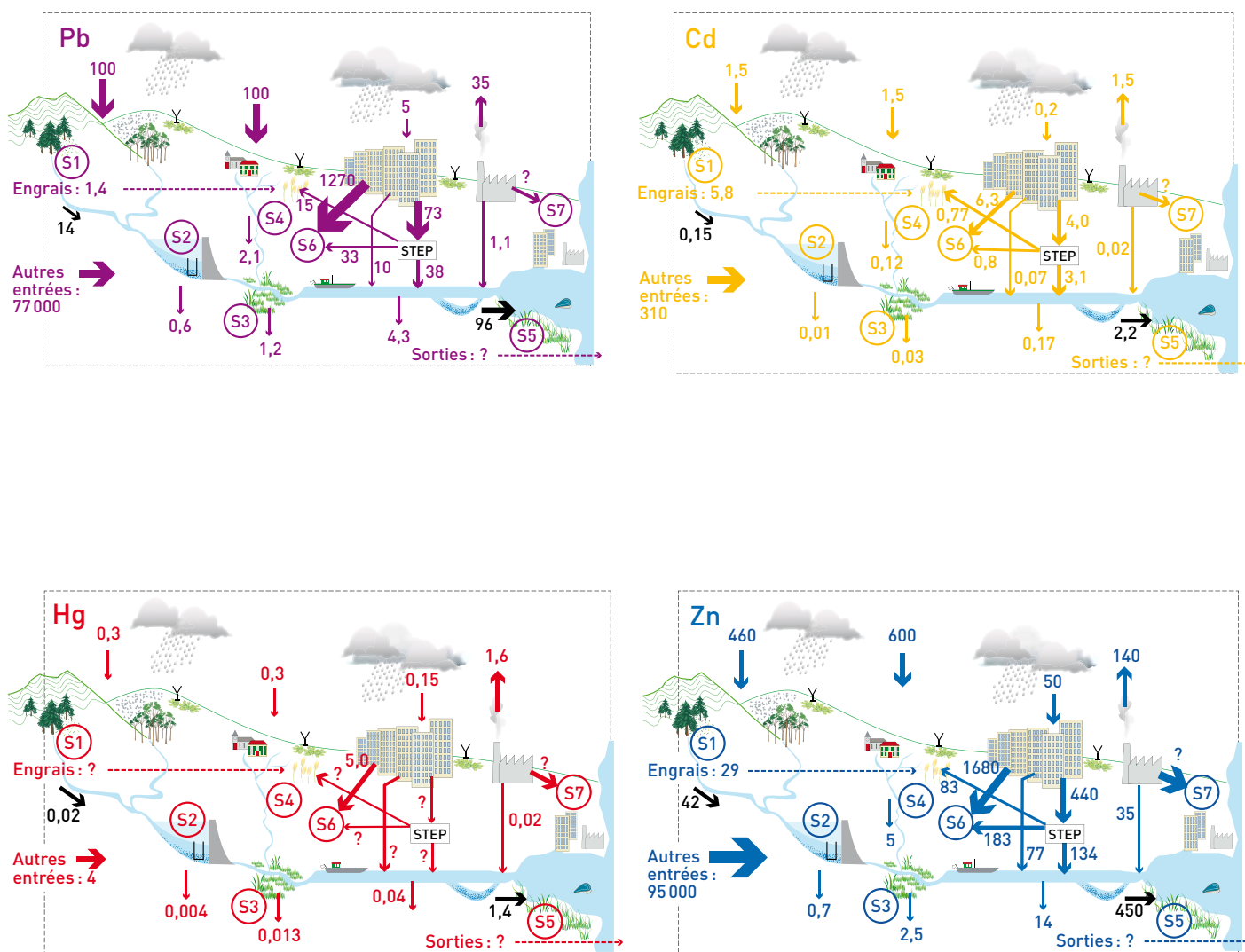


Figure 14 : Sources, transferts et puits (S1 sols forestiers, S2 réservoirs, S3 plaine alluviale, S4 sols cultivés, S5 estuaire, S6 déchets urbains et S7 déchets industriels) de plomb, cadmium, mercure et zinc (t/an) dans le bassin de la Seine (moyenne 1994-2003).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
A. Apports au bassin versant								
A.1 Apports aux sols								
Dépôts atmosphériques		3,2	9,9	316	0,75	45,6	205	1109
Engrais		5,8	29	7,2		7,2	1,4	29
Epandage de boues de station d'épuration d'eaux usées		0,35	5,1	31		2,0	15	83
<i>Sous-total des apports aux sols</i>	<i>n.d.</i>	<i>9,3</i>	<i>44</i>	<i>355</i>	<i>n.d.</i>	<i>54,7</i>	<i>221</i>	<i>1221</i>
A.2 Stockage et mise en décharge								
Matériaux de dragage fluvial		0,17	4,7	3,1	0,04		4,3	14
Mise en décharge de boues de station d'épuration d'eaux usées		0,77		69			33	183
Mise en décharge de sables de réseau d'assainissement	0,7	0,19	4,0	26,3	0,44	2,6	62	163
Mise en décharge d'ordures domestiques	7,6	6,1	278	1589	4,55	72,8	1206	1517
<i>Sous-total de stockage et mise en décharge</i>	<i>8,3</i>	<i>7,2</i>	<i>286</i>	<i>1688</i>	<i>5,03</i>	<i>75</i>	<i>1305</i>	<i>1876</i>
<i>Sous-total des apports au bassin versant (A.1 + A.2)</i>	<i>n.d.</i>	<i>16,5</i>	<i>n.d.</i>	<i>2042</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>1527</i>	<i>3097</i>
B. Apports directs en rivière								
B.1 Apports généraux								
Erosion naturelle	<i>n.d.</i>	0,15	10,0	10,5	0,02	18,9	14	42
B.2 Fuites anthropiques								
Rejets des zones rurales		0,12		3	0,02		2,1	5
Eau usée rejetée après traitement		3,1		39			38	134
Rejets des déversoirs d'orage		0,07		10			10	77
Rejets industriels directs en rivière	0,2	0,02	5,6	4	0,02	3,2	1,1	35
<i>Sous-total des fuites anthropiques</i>	<i>n.d.</i>	<i>3,3</i>	<i>n.d.</i>	<i>56</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>51</i>	<i>250</i>
<i>Sous-total de l'érosion et des fuites (B.1 + B.2)</i>	<i>n.d.</i>	<i>3,4</i>	<i>n.d.</i>	<i>66</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>65</i>	<i>292</i>
C. Réentions associées à la rivière								
Réservoirs (S2)		0,01	2,3	1,2	0,0045		0,63	0,7
Plaine fluviale (S3)		0,03	3,2	1,70	0,013		1,3	2,5
Dragage fluvial		0,17	4,7	3,1	0,040		4,3	14,0
<i>Sous-total de rétention fluviale</i>	<i>n.d.</i>	<i>0,21</i>	<i>10,2</i>	<i>5,9</i>	<i>0,057</i>	<i>n.d.</i>	<i>6,2</i>	<i>17,2</i>
D. Sortie à l'embouchure (Poses)								
Métaux fixés sur des particules		1,8	87	84	1,25		88	315
Métaux dissous		0,4	17	25	0,12		9	135
Sortie totale	<i>n.d.</i>	<i>2,2</i>	<i>104</i>	<i>109</i>	<i>1,37</i>	<i>n.d.</i>	<i>96</i>	<i>450</i>
<i>Sortie - rétention - érosion / apports directs en rivière [(D - C - B.1) / B.2] (%)</i>	<i>n.d.</i>	<i>56%</i>	<i>n.d.</i>	<i>166%</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>150%</i>	<i>156%</i>
<i>Sortie - rétention - érosion / apports au bassin et en rivière [(D - C - B.1) / (A + B.2)] (%)</i>	<i>n.d.</i>	<i>9%</i>	<i>n.d.</i>	<i>4%</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>5%</i>	<i>12%</i>

Tableau 4 : Flux métalliques annuels sur le bassin de la Seine à l'amont de Poses (moyenne 1994-2003) : incertitudes probablement supérieures à 20% (t/an). n.d. : valeur non disponible.

Les bilans de cadmium, mercure et plomb peuvent présenter des particularités par rapport à celui du zinc :

- les flux récents (1994-2003) majoritaires de cadmium, sur le bassin de la Seine résultent de l'utilisation d'engrais phosphatés (5,8 t/an), de la contamination des ordures ménagères et de sables de réseau mis en décharge (6,3 t/an), du rejet d'eaux usées domestiques traitées (3,1 t/an) et des retombées atmosphériques (3,2 t/an). La comparaison des apports directs des stations d'épuration et des industries (3,1 et 0,02 t/an) au différentiel du flux de cadmium naturel résultant de l'érosion des sols non contaminés (0,15 t/an) c'est-à-dire le bruit de fond* et arrivant à l'estuaire (2,2 t/an) fait apparaître un bilan quasiment équilibré si on prend en compte les dépôts en barrage-réservoir, plaines alluviales et surtout le dépôt à terre des matériaux de dragage (0,01, 0,03 et 0,17 t/an). Les mesures de cadmium sont toutefois souvent moins précises que celles du zinc ou du plomb : les concentrations de cadmium sont en effet très faibles, souvent en dessous des limites de quantification ;
- la tentative de bilan des flux de mercure sur le bassin de la Seine est encore plus incomplète, de nombreux flux n'étant pas encore renseignés. Les flux associés à la mise en décharge des ordures ménagères et sables de réseaux (5 t/an) sont bien supérieurs aux retombées atmosphériques (0,75 t/an) et aux augmentations observées entre l'amont (0,02 t/an) et l'estuaire (1,4 t/an), même en tenant compte des rétentions fluviales (0,004 + 0,013 + 0,040 = 0,057 t/an) ;
- le bilan de plomb est aussi bien renseigné que celui du zinc et présente des caractères communs. Le flux principal est celui résultant de la contamination des ordures ménagères et des sables de réseaux mis en décharge (1270 t/an), suivi par celui des retombées atmosphériques (205 t/an), des eaux usées domestiques avant (73 t/an) ou après traitement (38 t/an). Contrairement au cadmium, les apports récents de plomb associés à la valorisation agricole des boues de station d'épuration (15 t/an) sont bien supérieurs à ceux présents dans les engrais phosphatés (1,4 t/an), tout en étant bien inférieurs aux dépôts atmosphériques en milieu rural (100 t/an). Comme pour le zinc, la somme des apports directs issus des stations d'épuration (38 t/an) et des activités industrielles (1,1 t/an) est environ moitié de l'augmentation de flux entre le flux naturel issu de l'érosion des sols non contaminés (14 t/an) et celui apporté par la Seine à l'estuaire (96 t/an) même en tenant compte des stocks accumulés en réservoir, plaine alluviale et dans les matériaux de dragage (0,6 + 1,3 + 4,3 = 6,2 t/an). Il faut noter que ces flux annuels ont été établis pour la période 1994-2003 pendant laquelle l'usage de plomb dans l'essence a été réglementé puis interdit.

À l'issue de cette première tentative de bilan annuel des flux métalliques dans le bassin de la Seine, il semble donc nécessaire, pour boucler le bilan des métaux, non seulement de préciser et valider les estimations actuelles, surtout lorsqu'elles varient de façon significative, mais aussi d'invoquer les fuites non quantifiées des décharges urbaines et industrielles ou d'autres sources diffuses.

Imprécision des bilans : retombées atmosphériques et flux métalliques de la Seine à Poses

La grande diversité des informations collectées pour établir ces bilans annuels de flux métalliques sur le bassin de la Seine conduit à s'interroger sur l'exactitude ou sur la précision des valeurs rassemblées en les confrontant aux valeurs estimées par une voie différente et indépendante.

La **figure 15** compare les émissions atmosphériques industrielles, données provenant de sources administratives multiples, aux retombées atmosphériques mesurées, après correction des dépôts résultant de l'érosion éolienne.

L'accord entre les émissions et les dépôts atmosphériques est globalement satisfaisant, les dépôts étant moins de 10 fois supérieurs aux émissions recensées : si l'on tient compte de l'absence de tout contrôle qualité dans la plupart des déclarations industrielles d'émissions métalliques annuelles, cet écart semble compréhensible.

A. Collecteurs de retombées atmosphériques.

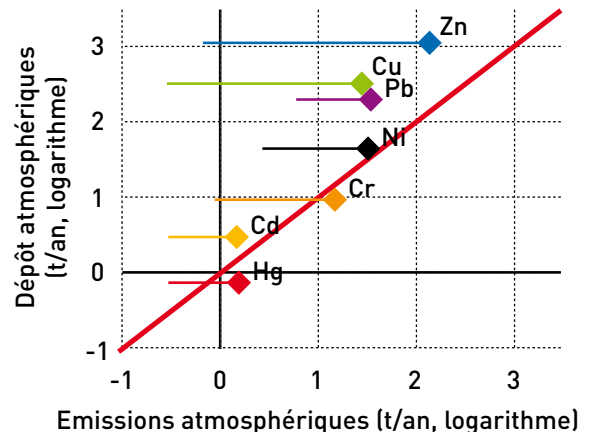


B. Mousses terrestres avec règle graduée.



Figure 15 : Collecte des retombées atmosphériques totales (A), échantillonnage de mousses terrestres (B) et comparaison (C) des flux annuels de dépôts atmosphériques mesurés et des émissions atmosphériques déclarées (CITEPA) (t/an en logarithmes décimaux) sur le bassin de la Seine. L'analyse des métaux dans les mousses terrestres (B) (100 stations sur le bassin) permet d'extrapoler les mesures de retombées (4 à 6 stations) (voir figure 2 page 13).

C.



Indépendamment des bilans annuels pour le bassin de la Seine, les sources de rejets métalliques de la Seine à Poses ont été estimées, pour la période 1994-2003 [figure 16], en tenant compte des :

- sources naturelles dues à l'érosion des sols : bruit de fond naturel* multiplié par le flux sédimentaire moyen de 700 000 t/an à Poses, augmenté de 10-20% pour prendre en compte les flux de métaux dissous ;
- sources urbaines et domestiques estimées par les suivis de qualité du milieu aquatique en 15 stations situées en amont et en aval de Paris, avec des densités d'habitation comprises entre 20 et 800 hab/km² : cette estimation des rejets urbains moyens annuels par habitant est multipliée par la population totale du bassin (14 millions d'habitants) ;
- sources industrielles répertoriées estimées à la fois par des déclarations obligatoires (Registre Français des Emissions Polluantes, IREP, 2004) et par l'extrapolation de mesures de flux moyens sur 24 h sur les sites industriels majeurs (AESN, 2006) ;
- flux en sortie du bassin : flux particulaires (teneur moyenne x 700 000 t/an) + dissous à Poses (10 à 20% en plus) + dépôts des dragages.

La somme des flux naturels (érosion des sols non contaminés), domestiques et industriels tels qu'ils ont pu être mesurés ou estimés, reste bien inférieure aux flux observés en sortie de bassin. L'écart est de 30 % pour le plomb mais peut atteindre 80% pour le mercure. Les rejets industriels, en particulier, sont faciles à sous-estimer. En effet, le nombre de données de contrôle accessibles est insuffisant. Les données d'auto-surveillance sont collectées par les Directions régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIREs) : dans le cadre des travaux du PIREN-Seine, elles ont été rarement utilisées car elles sont éparpillées et souvent stockées sous différents formats et supports.

D'autre part, les seuls résultats de ces contrôles facilement accessibles car placés dans des banques de données à l'échelle du bassin, sont agrégés sous forme d'indicateurs globaux, utilisés pour le calcul de la redevance, comme le méttox*. Enfin les industries occasionnent souvent des rejets diffus qui ne sont pas pris en compte. Ces derniers proviennent de l'érosion de sols contaminés par des dépôts métalliques ou par des fuites de décharges mal contrôlées : un héritage de plus de 200 ans d'activités industrielles, qui mériterait pourtant d'être étudié avec soin.

Il en est de même des fuites non quantifiées résultant des rejets historiques d'eaux usées parisiennes depuis 1890 sur des terrains d'épandage et de culture sur une zone de 30 km² environ, à l'ouest de Paris où des teneurs très élevées (zinc, cadmium) sont toujours observées dans les sols.

Pourtant réalisées indépendamment, les analyses de flux de sortie à l'estuaire conduisent à la même conclusion : toutes les sources de pollution métalliques ne sont pas encore quantifiées. Comme évoqué précédemment, les efforts actuels des équipes du PIREN-Seine sont dirigés vers l'identification des sources de rejets métalliques en Seine et dans ses affluents, sources que la figure 16 permet globalement de quantifier pour cinq métaux.

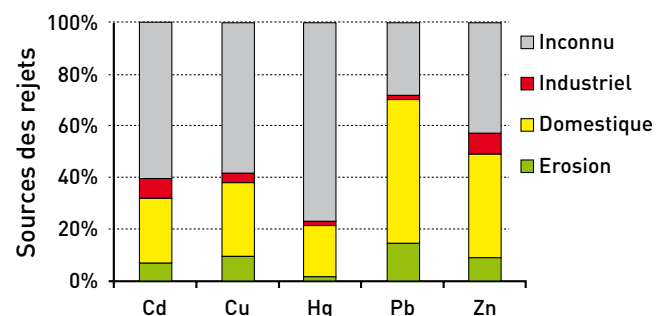


Figure 16 : Importance relative des principales sources d'apports métalliques du bassin de la Seine à son estuaire (Poses) permettant de quantifier les sources de pollution métallique qu'il faut encore identifier.