



# La contamination par les métaux particulaires

Du fait de leur solubilité limitée et de leur grande affinité pour les particules (argile, matière organique), les métaux sont largement présents dans la Seine et ses affluents sous forme particulaire : de 50 à 90% en temps normal et de 90 à 99% en période de crue, selon les métaux.



Alors que les métaux sont principalement fixés aux particules transportées par les rivières ou déposées sur leur lit, l'analyse des métaux dissous, après filtration de l'eau brute, reste coûteuse et délicate, en raison des risques importants de contamination des échantillons\* lors de leur manipulation.

Pour ces raisons la contamination métallique a été d'abord établie sur les matières en suspension, sédiments récents ou anciens, mousses terrestres... (figure 6 page 21), puis sur d'autres supports.

Cependant, l'Union Européenne vient de fixer les normes de qualité environnementale sur eau filtrée pour le cadmium, le plomb, le mercure et le nickel (17 juin 2008, voir tableau 3, page 33).

Dans les fleuves, les teneurs en différents métaux (cadmium, cuivre, mercure, plomb et zinc) varient de 0,01 à plusieurs centaines de mg de métal par kg de particules sèches : il est donc courant de les normaliser à des valeurs de référence, en général au niveau du bruit de fond naturel des particules transportées par la rivière.

Le bruit de fond naturel\* dans le bassin de la Seine peut varier suivant le type de minéraux présents dans les sédiments.

Il a été approché de trois façons :

- pour l'ensemble du bassin, par l'analyse des dépôts fluviaux datés de plus de 4 000 ans à Paris-Bercy et dans l'estuaire ;
- à chaque station, par reconstitution de la valeur moyenne annuelle sur la base des types de roches des sous-bassins (lithologie) et des teneurs moyennes en métaux de chaque type de roche susceptible d'être érodée ;
- pour chaque échantillon de particules (matières en suspension filtrées ou collectées en trappes, sédiments...), par l'assemblage minéralogique, pour autant que l'on dispose des teneurs en carbone organique, en carbonates et en aluminium.

Il est ainsi possible de calculer le facteur d'enrichissement métallique EF\* pour chaque échantillon de matériel particulaire, par comparaison avec le bruit de fond naturel\* qui sert de référence à cet échantillon (tableau 2).

Ces distinctions entre bruits de fond sont significatives dans les bassins à l'amont de Paris mais s'estompent lorsque la contamination croît.



Carotte\* de sédiments de Seine, prélevée à proximité de Chatou : les zones plus foncées sont riches en matière organique et en métaux.

Al	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
33 000	0,22	9	40	15	0,03	16	20	60

Tableau 2 : Niveaux moyens du bruit de fond métallique dans les sédiments naturels du bassin de la Seine (mg/kg).

## Distribution spatiale de la contamination métallique, des ruisseaux à l'embouchure

Il est difficile de cartographier un quelconque indicateur de contamination en mélangeant les bassins versants de taille très différente depuis les ruisseaux (10 km<sup>2</sup>) jusqu'à l'ensemble du bassin versant de la Seine (65 000 km<sup>2</sup>) par exemple à Poses. Les hydrologues parlent alors d'ordre de Strahler : sa valeur est l'unité ou 1 pour le plus petit ruisseau, deux puis trois pour les cours d'eau un peu plus importants (10 à 100 km<sup>2</sup>), jusqu'à 7 pour la Seine après sa confluence avec l'Oise.

La valeur moyenne des facteurs d'enrichissement EF des métaux varie avec le taux d'urbanisation (figure 5), lequel augmente généralement avec l'ordre de Strahler dans le bassin de la Seine.

Par définition EF égale 1 dans des bassins forestiers non contaminés.

Il se situe entre 1 et 2 dans les bassins uniquement agricoles à pression de population très limitée (moins de 10 hab/km<sup>2</sup>) puis atteint 3 très rapidement avec la présence de petites agglomérations (40 à 80 hab/km<sup>2</sup>) ; 4 voire 5 en milieu péri-urbain peu dense (80 à 120 hab/km<sup>2</sup>).

Dans les cours d'eau très affectés par la présence urbaine, la contamination continue à croître (ordre de Strahler 6-7) jusqu'à l'aval de Paris (ordre de Strahler 7, 250 hab/km<sup>2</sup>) et à Poses.

Dans les bassins péri-urbains très denses qui sont traversés par des cours d'eau d'ordre de Strahler inférieur à 5 (Orge, Yerres, Ru de Gally...), le facteur d'enrichissement EF dépasse largement la valeur observée à Poses, en raison de la très forte population (plus de 400 hab/km<sup>2</sup>).

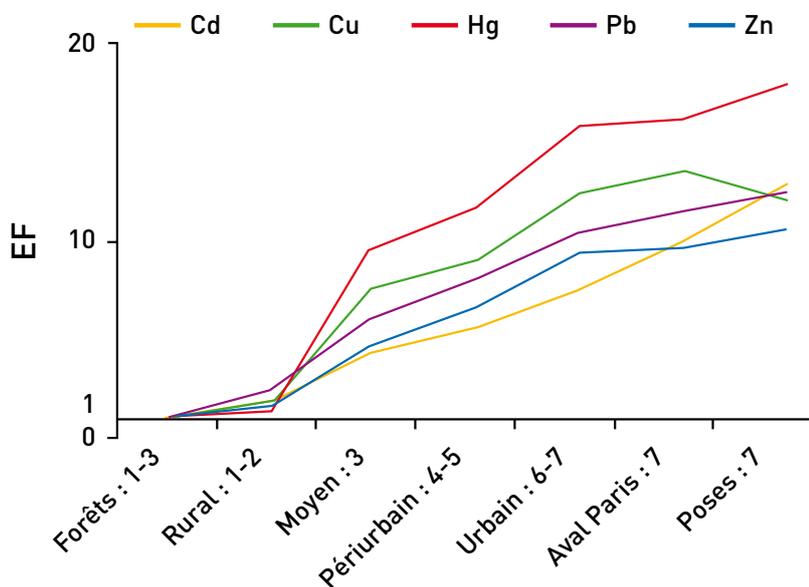


Figure 5 : Évolution longitudinale du facteur d'enrichissement moyen (EF) du cadmium, cuivre, mercure, plomb et zinc en fonction de l'ordre de Strahler (1 à 7) des cours d'eau du bassin de la Seine entre 1994 et 1996. Matières en suspension collectées par trappes.

Les zones estuariennes, du fait de leur position et de leurs caractéristiques, sont souvent très convoitées par l'homme, aussi bien pour l'habitat, l'exploitation des ressources halieutiques que pour l'installation de ports et le développement d'activités agricoles et industrielles.

Au niveau européen, l'estuaire de la Seine est un exemple type de pressions humaines multiples tant sur le bassin versant qu'en bordure de l'estuaire et d'usages estuariens très diversifiés. C'est le domaine d'investigation du programme scientifique Seine-Aval.



## SUR QUELS SUPPORTS ANALYSER LES MÉTAUX ?

Poser une question comme « la Seine est-elle contaminée en métaux ? » entraîne le scientifique à préciser les questions « où ? », « quand ? », « pour quels métaux ? », « par rapport à quelle référence ? », tant le problème est complexe.

La Seine et ses affluents présentent des débits naturels assez faibles et surtout un transport en matières en suspension (10 tonnes/km<sup>2</sup>/an) très inférieur à la moyenne mondiale (200 t/km<sup>2</sup>/an) : les facteurs de dilution sont donc naturellement limités.

Comme la pression humaine liée à l'agglomération parisienne (9,5 M hab pour 90 m<sup>3</sup>/s en basses eaux après soutien d'étiage) est en outre très forte par rapport à celle qui s'exerce sur les autres fleuves français (Rhône, Garonne) ou européens (Pô, Danube), il en résulte une forte contamination en métaux. Celle-ci dépend de la localisation, plus exactement de l'ordre de Strahler (figure 5). Elle varie également dans le temps et en fonction de la saison.

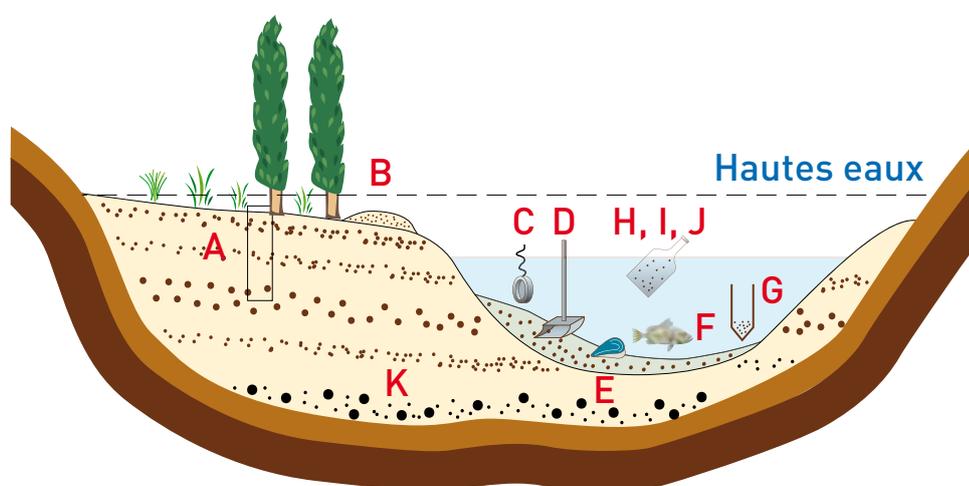


Figure 6 : Comment décrire la contamination métallique dans un bassin fluvial ?

Pour cela, le PIREN-Seine a développé des techniques nouvelles comme les DGT\* (voir « En savoir plus » page 27) et des stratégies de surveillance diversifiées sur supports variés : eau, organismes aquatiques, matières particulaires diverses (carottes\*, trappes à sédiments, laisses de crues).

- Les sédiments récents (A) déposés dans la plaine alluviale depuis plus de 50 ans sont prélevés par carottages. On peut ainsi reconstituer l'évolution à long terme de la contamination des matières en suspension transportées avant le début de leur surveillance, en 1983 pour la Seine.
- Les laisses de crues\* (B) déposées annuellement sont aussi suivies à des stations clé depuis quelques années.
- Les dispositifs DGT (C) nous renseignent sur les fractions dissoutes\* biodisponibles.

D'autres organismes publics participent également à la surveillance de la Seine :

- les sédiments\* du lit mineur (D) sont suivis depuis une vingtaine d'années aux stations du Réseau National de Bassin (RNB) par le Service de Navigation de la Seine (SNS) et l'Agence de l'eau Seine-Normandie, et ont aussi fait l'objet d'études spécifiques du PIREN-Seine, dans l'agglomération parisienne, par exemple ;
- la contamination des organismes benthiques\* (E) ou pélagiques\* (F) a été peu étudiée jusqu'à présent ; le seul suivi est celui du SIAAP à l'aval de Paris. En baie de Seine, en revanche, le Réseau National d'Observation du milieu côtier (RNO) suit les moules à Villerville et au Havre depuis 1979 ;
- plusieurs sites ont fait l'objet de suivi saisonnier par trappes à matières en suspension\* (G) par les chercheurs du PIREN-Seine ;
- les analyses sur eau brute (échantillons H) sont surtout effectuées par les producteurs d'eau potable à leurs prises d'eau, celles sur eau filtrée à 0,45 µm (I) par les chercheurs (Ifremer, PIREN-Seine, Seine-Aval) ;
- les matières en suspension filtrées (J) sont suivies dans le cadre du Réseau National de Bassin à la station de « bouclage du bassin » (Poses) par le Service de Navigation de la Seine et l'Agence de l'eau Seine-Normandie depuis 1983, ce qui permet de calculer avec précision des flux exportés par le fleuve ;
- enfin le bruit de fond naturel\* du bassin a été déterminé sur des sédiments alluviaux de 4 000 ans d'âge (K) par les chercheurs du PIREN-Seine (tableau 2, page 19).

## Impact induit par l'agglomération parisienne sur le cycle saisonnier de la contamination fluviale

Dans le cas de rejets en métaux provenant de sources ponctuelles, on observe des contaminations des matières en suspension plus élevées en période d'étiage estival qu'en période de hautes eaux hivernales.

La contamination générale en métaux dans le bassin a été déterminée grâce à un indice de pollution multi métallique, MPI\*. Il correspond à un facteur d'enrichissement moyen en cadmium, cuivre, mercure, plomb et zinc dans chaque échantillon\* prélevé par rapport à une teneur théorique naturelle déterminée à partir de l'assemblage minéralogique de chaque échantillon.

Le MPI permet la comparaison de tous les échantillons de matière particulaire : matières en suspension, sédiments déposés, sédiments anciens et particules collectées par des trappes.



Trappe à matières en suspension maintenue hors d'eau avant d'être placée en Seine pour des durées de collecte comprises entre 24 h et une dizaine de jours.

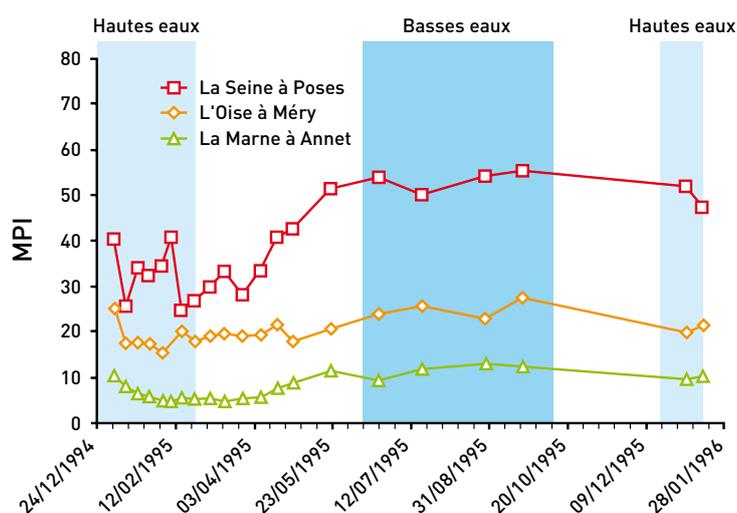


Figure 7 : Variations saisonnières de l'indice de pollution multi métallique (MPI) des matières en suspension collectées par trappes à Annet (Marne), Méry (Oise) et Poses (Seine) en 1995 (Figure 2, page 13).

Les variations saisonnières de l'indice de pollution multi métallique MPI\* ont été déterminées sur 3 trappes à sédiments posées et relevées 21 fois pendant l'année 1995, sur trois stations :

- Annet-sur-Marne, à l'amont de l'agglomération parisienne,
- Méry-sur-Oise, non influencée par celle-ci,
- Poses, située à l'entrée de l'estuaire.

Elles sont présentées en [figure 7](#).

Les variations saisonnières sont faibles à l'amont de Paris (Annet et Méry-sur-Oise). Elles résultent de la dilution, faible en basses eaux estivales et fortes en hautes eaux hivernales, des rejets urbains peu abondants par des particules érodées depuis les bassins amont peu contaminés.

À l'aval de Paris (station de Poses), les teneurs moyennes en métaux sont beaucoup plus fortes et le cycle saisonnier est très marqué, ce qui s'explique par les rejets de la station d'épuration de Seine-Aval qui traite les eaux usées d'environ 8 millions d'habitants.

Pendant la période estivale, une partie des particules contaminées des rejets urbains s'accumulent dans les sédiments à l'aval de l'agglomération parisienne. Ces sédiments sont ensuite chassés vers l'estuaire lors des épisodes de crue hivernale et sont remplacés, à l'aval de Paris, par des particules moins contaminées issues des bassins versants amont.

La comparaison des indices de pollution multi métallique montre qu'en 1995, la qualité des matières en suspension estivales de Poses était proche de celle des effluents de la station d'épuration Seine-Aval. À l'opposé, les particules fluviales collectées par les trappes en hautes eaux en hiver à Annet présentaient des valeurs de MPI 20 fois plus faibles.

La contamination métallique dépend donc de la station mais aussi de la saison.

Toutefois, comme le montre la comparaison de ces 3 sites, Mega Paris\* joue un rôle essentiel dans la contamination de la Seine, tant par ses rejets ponctuels (eaux traitées par les stations d'épuration) que diffus (rejets par temps de pluie, fuites des stocks urbains ou industriels).

Il est donc impossible d'estimer l'impact instantané de Méga Paris sur la qualité de la Seine et des particules qu'elle charrie sans une bonne connaissance de ces phénomènes saisonniers.

Par contre cette alternance de dépôts estivaux et de chasses hivernales ne modifie pas les flux inter-annuels de métaux, principalement d'origine urbaine et industrielle car ils se retrouvent, plus ou moins rapidement, à l'estuaire, à l'exception des alluvions déposées dans la plaine d'inondation qui représentent une faible proportion de ces bilans.



Quai de Seine, Paris.