

Evolution de la contamination métallique du bassin médian et aval de la Seine (1980 – 2000)

M. Meybeck (UMR Sisyphe 7619, Université P. et M. Curie, Paris)
A. Horowitz (US Geological survey, Georgia District, Atlanta, USA)
C. Grosbois (UMR Sisyphe 7619, Université P. et M. Curie, Paris)
A. Ficht (Service de Navigation de Rouen)
C. Cun (CRECEP)
F. Beaupère (UMR Sisyphe 7619, Université P. et M. Curie, Paris)
M. Saadoum (UMR Sisyphe 7619, Université P. et M. Curie, Paris)
K. Quenea

Le travail que nous présentons est une synthèse des principaux acquis depuis une vingtaine d'années par les principales équipes concernées par l'étude de la contamination métallique dans le bassin médian de la Seine et à l'aval de Paris : le CRECEP qui a analysé les eaux brutes, le SNS de Rouen qui surveille la contamination des MES à Poses depuis 1983, le Piren-Seine qui analyse depuis 1994 les laisses de crues à quelques stations clés, enfin, le Réseau National de Bassin qui analyse les sédiments déposés depuis 1981, analyses principalement effectuées par le CRECEP. Nous n'avons pas considéré ici les analyses effectuées sur les plus petits cours d'eau (ordres hydrologiques de 4 et en dessous), ni les données sur la Seine, l'Yonne et l'Aube à l'amont de Montereau, l'Oise à l'amont de Compiègne et la Marne à l'amont de la Ferté, celles-ci ne nous étant pas disponibles pour cette synthèse. Les plus petits cours d'eau, notamment ceux de la Petite et de la Grande Couronne, analysés pour les laisses de crue, sont étudiés à part dans ce volume (voir Meybeck, Grosbois et Horowitz).

Ce travail a été réalisé dans le cadre du Piren-Seine et du programme AFICO sur les flux de matières des fleuves français à l'océan (Programme National de Recherche LITEAU)

1. Données utilisées

Les matériaux analysés sur lesquels nous nous basons ici sont variés (Tableau 1)

Types de matériaux	Période de surveillance utilisée	Lieu	Source des données
Eaux brutes	1983 - 1994	Région parisienne	CRECEP (C. Cun)
Suspensions filtrées	1983-1994		SNS-Rouen (A. Ficht)
Sédiments déposés	1981 - 1997	15 stations jusqu'à Poses	RNB (analyses surtout du CRECEP, données transmises par W. Thomas, SNS Chatou)
Laisses de crue	1994 - 2000	36 stations jusqu'à Poses	Laboratoire Sisyphe

Tableau 1 : Données sur la contamination métallique du bassin de la Seine

2. Contamination des eaux brutes dans la région parisienne

Nous avons sélectionné ici le suivi du plomb total et du mercure total sur 5 stations principales suivies depuis 1983 jusqu'à 1994 : Seine à Ivry, à Suresnes, Conflans, Poissy et Meulan (Figure 1a). Les concentrations moyennes annuelles en plomb décroissent nettement à partir de 1985 de 15 µg/L à 4 µg/L, toutefois, les variations interannuelles à une station donnée sont assez fortes. Si nous postulons que la majeure partie du plomb est associée à la matière particulaire et que les MES ont un niveau moyen de 30 mg/L, les teneurs en Pb des MES vont de 500 à 130 µg/g, ce qui correspond aux niveaux observés par ailleurs en analysant directement les matériaux particulaires. Cette approche ne met pas

clairement en évidence une variation amont – aval : la station d'Ivry est parfois plus contaminée que les stations plus en aval. En ce qui concerne le mercure (Figure 1b), la plupart des moyennes annuelles sont situées à la limite de détection de 200 ng/L et ne permettent pas de conclure sur les tendances.

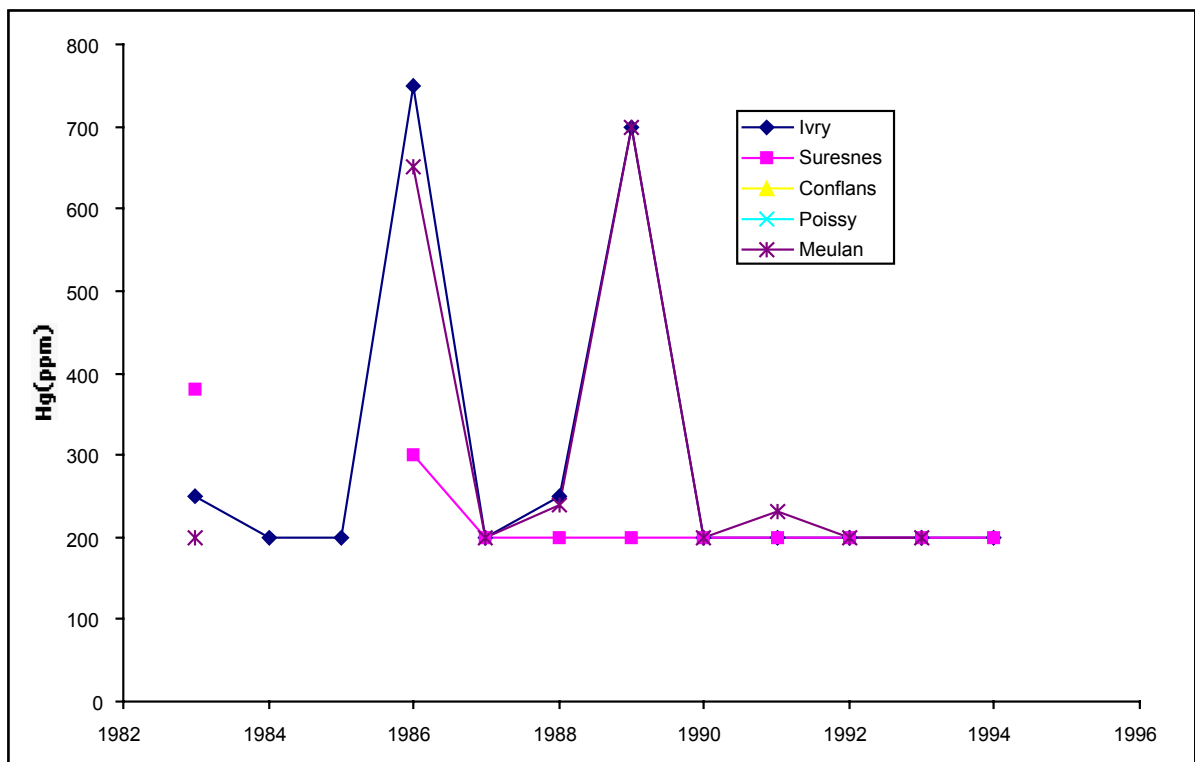
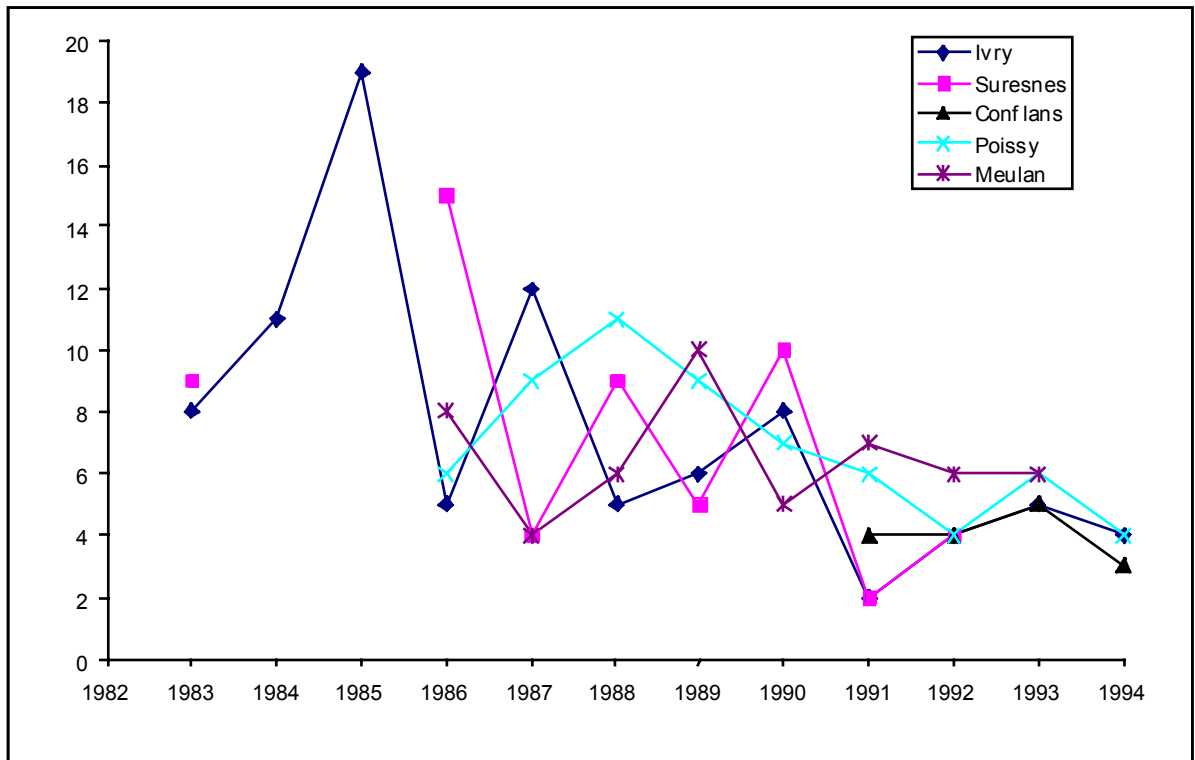


Figure 1 : Evolution chronologique des moyennes annuelles de l'amont vers l'aval a- du plomb, b- du mercure

3. Contamination métallique des sédiments de la Seine naviguée

Les données transmises sur 15 stations (localisées sur la figure 2), par W. Thomas (SNS Chatou), ont d'abord été soigneusement nettoyées manuellement, pour éliminer les valeurs aberrantes : valeurs excédant de plus d'un facteur 10 les précédentes ou les suivantes (erreur décimale probable), valeurs inférieures aux limites de détection, erreurs manifestes (une valeur de Ca particulière impliquait une teneur en carbonates seuls de près de 100%).

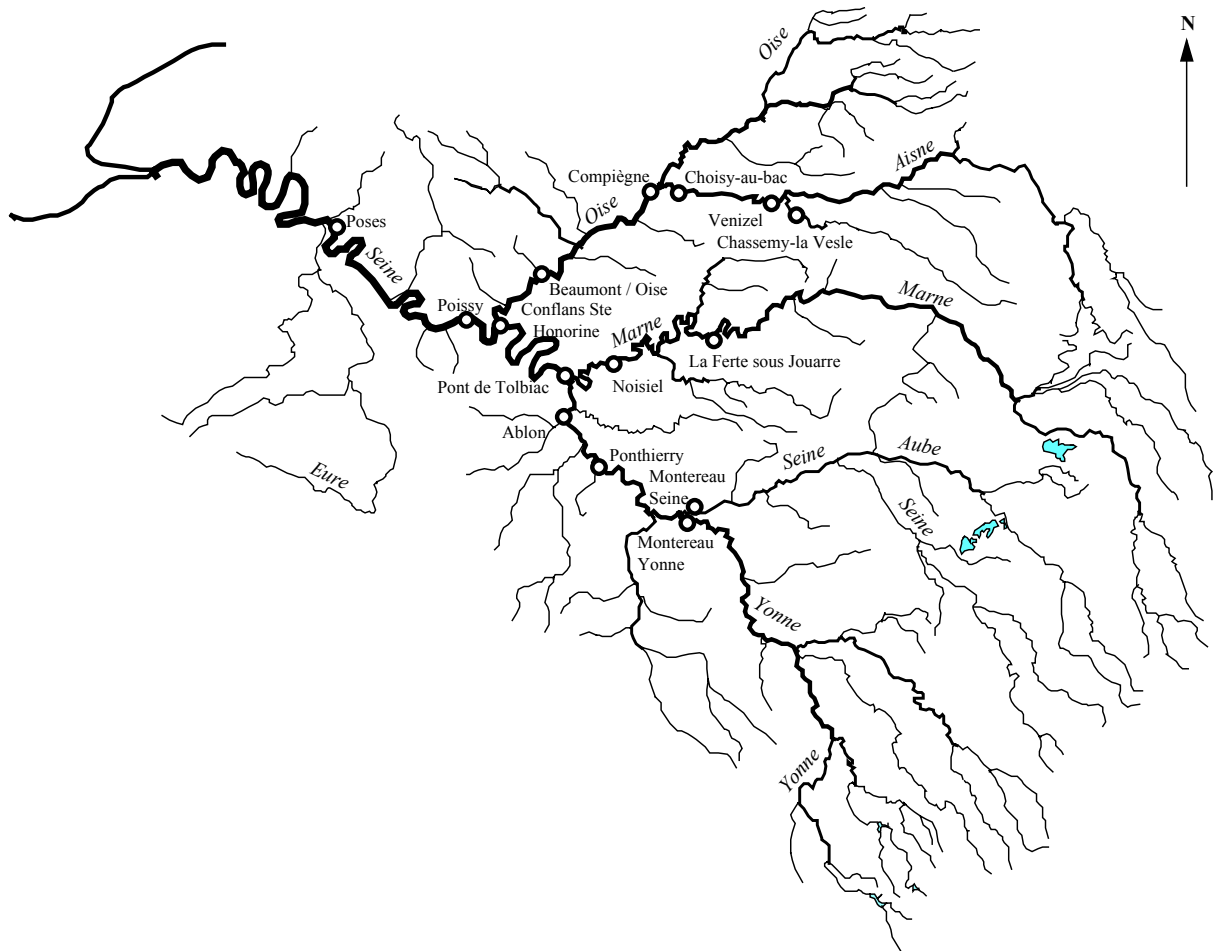


Figure 2 : Localisation des stations d'échantillonnage des sédiments sur le bassin de la Seine.

Sur les 15 stations considérées, 9 au moins ont une granulométrie « grossière » avec moins de 20% seulement pour la fraction silto-argileuse $< 50 \mu\text{m}$, et « assez grossière » (20% à 40%), alors que les MES transportées par la Seine ont un mode généralement compris entre 20 et $50 \mu\text{m}$ (Meybeck et al, travaux antérieurs du Piren-Seine). Certaines stations présentent également une granulométrie très instable comme Ponthierry / Seine, Choisy au Bac / Aisne et Compiègne / Oise. La surveillance des métaux sur sédiments déposés, effectuée en général 1 à 2 fois par an aux stations déterminées du RNB, se heurte donc à un problème de reproductibilité et de représentativité, aussi, nous avons choisi ici de ne pas interpréter les analyses isolées, mais d'effectuer des regroupements de stations et/ou de périodes afin de lisser les variations.

3.1. Evolution temporelle des profils de contamination de la Seine

Deux périodes ont été regroupées : 1981 à 1989 et 1990 à 1997 et les valeurs médianes ont été calculées à chaque station. Le profil de la Seine de Montereau à Poses est déterminé par 8 stations depuis l'Yonne à Montereau, jusqu'à Poissy, puis Poses. Nous présentons ici, les 6 métaux principaux (Figures 3, 4 et 5). Les médianes ont ici été préférées aux moyennes arithmétiques car il peut rester

dans les séries nettoyées des valeurs douteuses, c'est à dire entre 5 et 10 fois les valeurs voisines, une variabilité qui nous semble suspecte au vu des résultats acquis sur l'analyse des MES et des laisses de crue.

Période 1981 – 1989

Les profils des teneurs en Pb, ZN, Cu et Cd sont assez semblables. Les teneurs sont légèrement contaminées, par rapport au bruit de fond, entre Montereau (#1 et 2) et Ablon (#4), puis présentent une très forte augmentation à partir du Pont de Tolbiac, dans Paris (#5) à partir duquel elles décroissent sensiblement jusqu'à Poses où elles restent à des niveaux bien supérieurs à ceux de Montereau. Pour ces éléments là, l'agglomération parisienne jusqu'à Conflans présente une contamination très élevée qui correspond aux niveaux les plus forts observés dans le Rhin dans les années 1960. Cette contamination est restée fixée dans les sédiments locaux pendant au moins une décennie (nous n'avons pas de données avant 1980 mais certaines carottes analysées à Chatou dans le cadre du Piren-Seine ont présenté des niveaux en Cd encore plus élevés) avant d'être progressivement évacuée vers l'aval par les crues.

Il faut noter aussi un pic modéré de contamination en Cu et en Pb à Montereau (#2) sur la Seine, sans doute d'origine industrielle.

Les profils de Cr total (Figure 4) et de Hg (Figure 5) sont très différents des précédents puisqu'ils présentent (i) une très forte contamination en Cr sur la Seine à Montereau, très probablement une source industrielle (tannerie) et à Poses, (ii) une croissance régulière de la contamination en Hg à partir de l'aval d'Ablon jusqu'à Poses.

Période 1990-1999

Les profils des six métaux sont tous assez semblables : les pics observés dans Paris n'existent plus et la contamination croît à partir d'Ablon (Pb, Zn, Cu) ou de l'aval du Pont de Tolbiac (Hg, Cd). On observe encore l'anomalie en Cu sur la Seine à Montereau, mais celle en Cr à la même station a disparu.

Les profils en Hg sont particuliers puisque de Montereau au Pont de Tolbiac, les teneurs sont proches du bruit de fond, ainsi que, curieusement la station de Poissy. Pour cette dernière, les données nous semblent peu fiables puisque l'ensemble des autres métaux présente une forte contamination et que Cd, Zn, Pb, Hg et Cu à l'aval de Paris sont généralement très corrélés dans les laisses de crues.

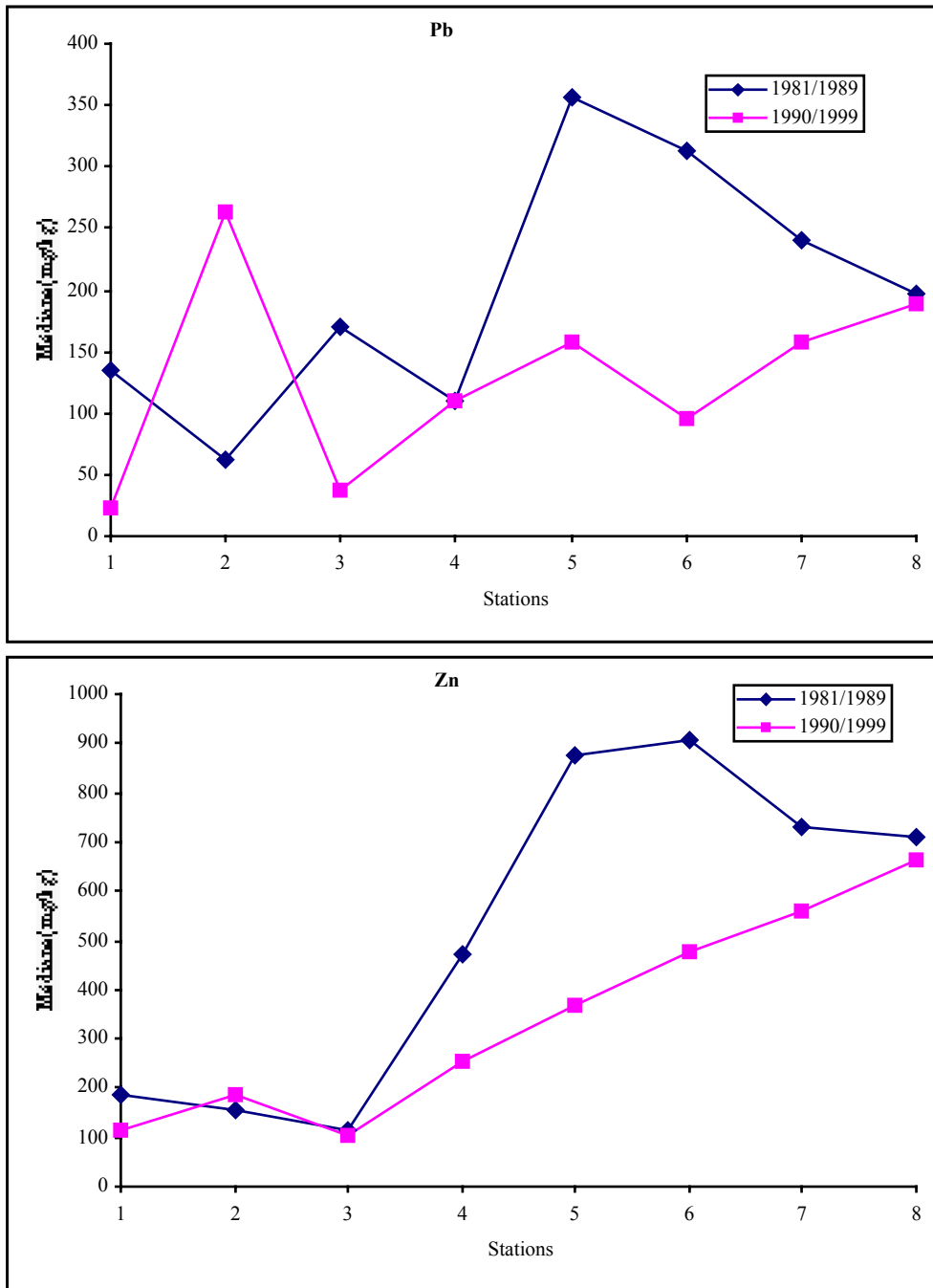


Figure 3 : Comparaison des médianes en éléments traces pour la période 1981/1989 et 1990/1999. Station #1 : Seine à Montereau ; #2 : Yonne à Montereau ; #3 : Seine à Ponthierry ; #4 : Seine à Ablon ; #5 : Seine au pont de Tolbiac ; #6 : Seine à Conflans ; #7 : Seine à Poissy ; #8 : Seine à Poses

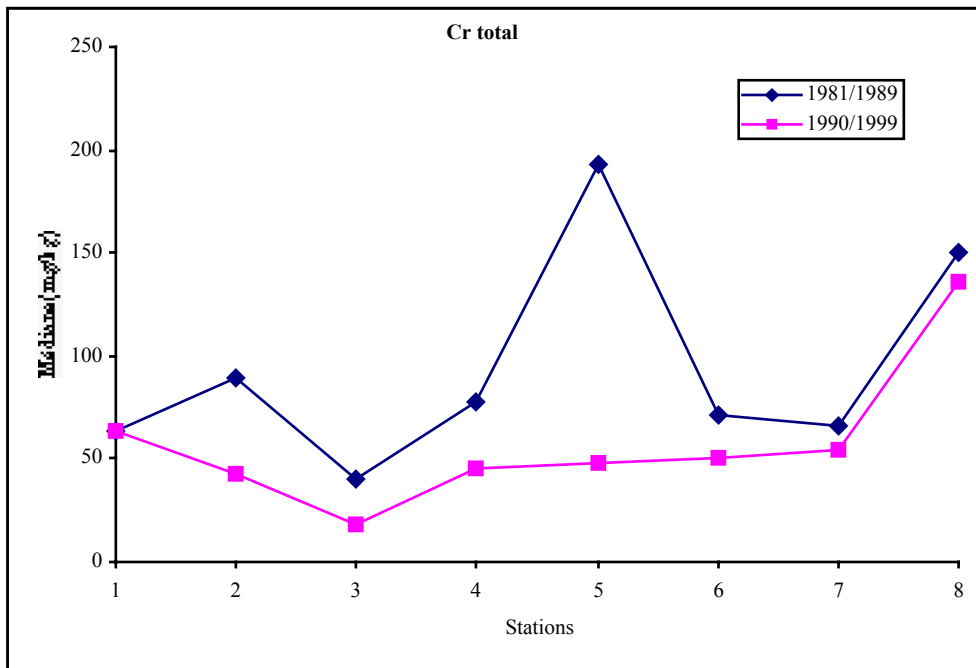
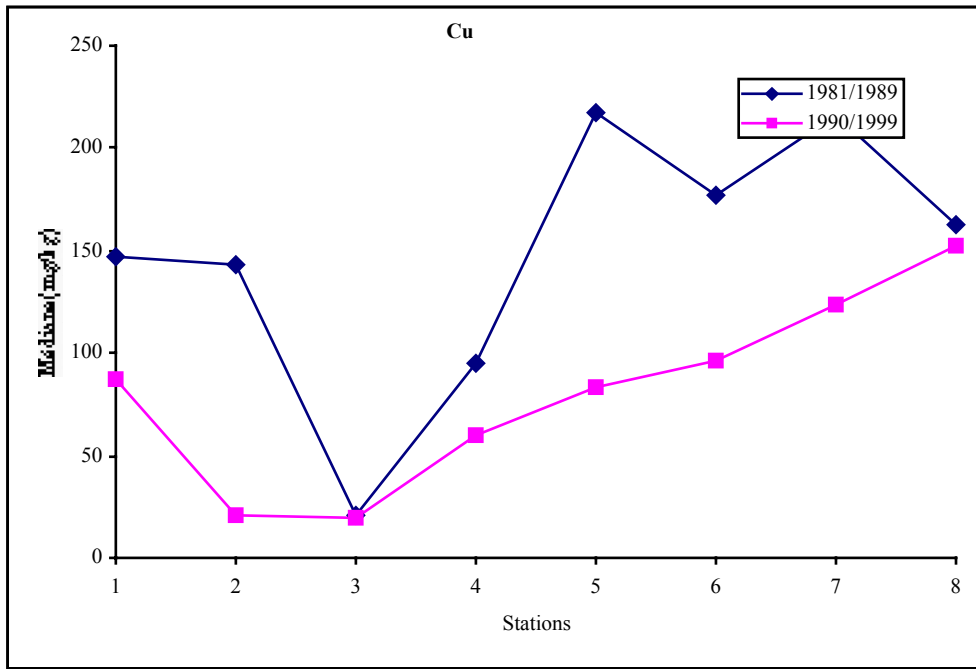


Figure 4 : Comparaison des médianes en éléments traces pour la période 1981/1989 et 1990/1999. Station #1 : Seine à Montereau ; #2 : Yonne à Montereau ; #3 : Seine à Ponthierry ; #4 : Seine à Ablon ; #5 : Seine au pont de Tolbiac ; #6 : Seine à Conflans ; #7 : Seine à Poissy ; #8 : Seine à Poses

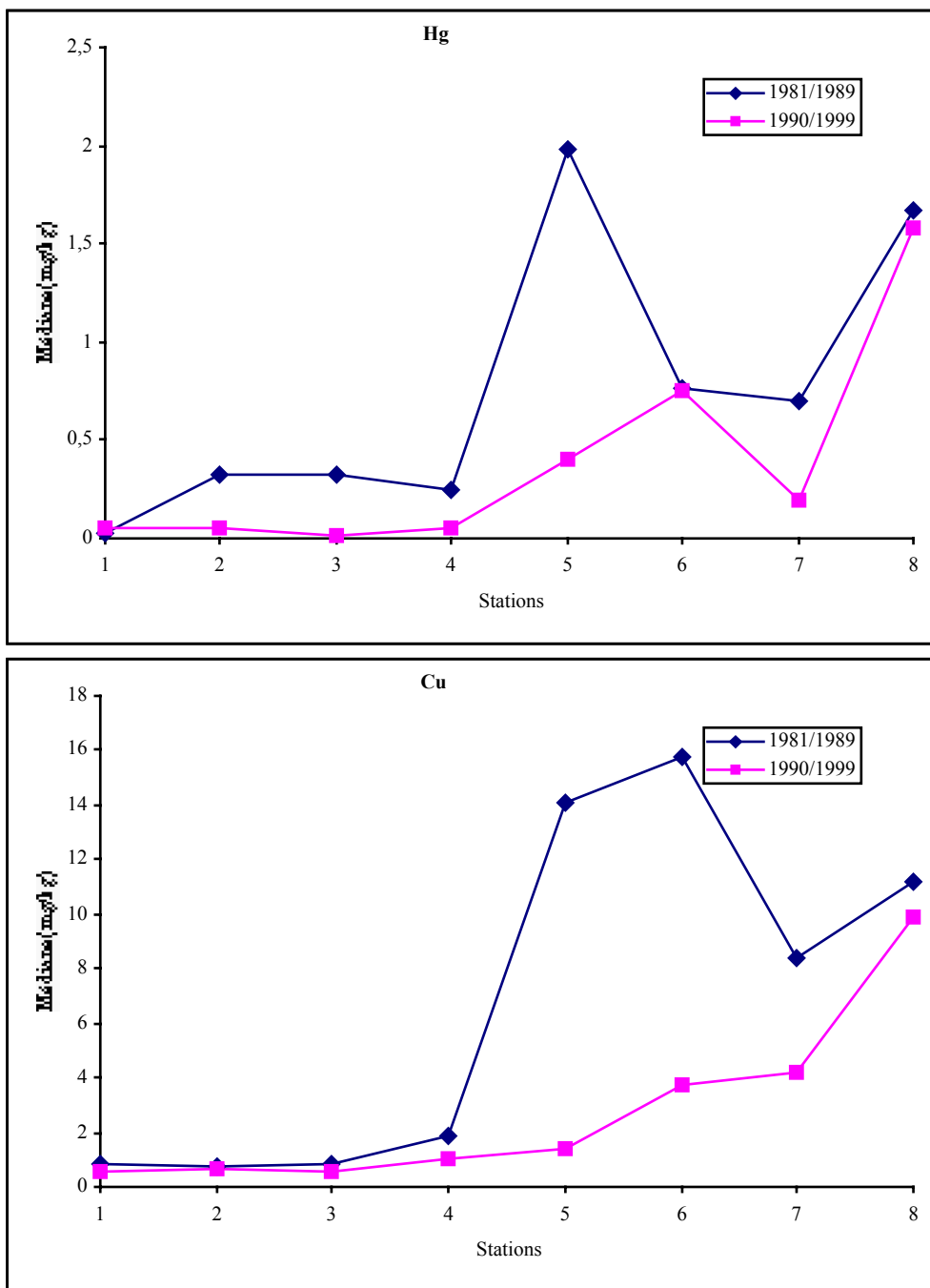


Figure 5 : Comparaison des médianes en éléments traces pour la période 1981/1989 et 1990/1999. Station #1 : Seine à Montereau ; #2 : Yonne à Montereau ; #3 : Seine à Ponthierry ; #4 : Seine à Ablon ; #5 : Seine au pont de Tolbiac ; #6 : Seine à Conflans ; #7 : Seine à Poissy ; #8 : Seine à Poses

D'une façon générale, la distribution spatiale met en évidence les points suivants :

- La Marne à la Ferté, la Seine à Ponthierry, l'Oise à Compiègne et l'Aisne à Venizel sont les stations les moins contaminées.
- Sur la Seine Amont de Paris, Ablon est toujours plus contaminé que Ponthierry (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb et Zn) dû à l'impact de l'agglomération parisienne. La même évolution se remarque sur la Marne à Noisiel par rapport à la Ferté sous Jouarre (Cr, Cu, Hg, Pb, Zn), et à Beaumont sur Oise par rapport à Compiègne (Cr, Hg, Zn surtout).

- La comparaison des niveaux de contamination est cependant délicate vue la variabilité des assemblages minéralogiques, particulièrement pour le Fe total (très « lié » à l'aluminium, donc aux argiles dans les MES et les laisses de crues) qui varie d'un facteur 4. Ces différences peuvent expliquer une partie des fortes teneurs à Ablon et Noisiel, mais peu pour Beaumont.
- Le cuivre et le chrome sont plus élevés sur la Seine à Montereau que sur l'Yonne, alors qu'on s'attendrait à des valeurs très faibles, analogues à celles de la Ferté / Marne vu le contexte géologique. Des sources additionnelles (industrielles) sont très probables. D'autres sources seraient à considérer pour expliquer l'évolution des teneurs entre Beaumont / Oise + Conflans / Seine et Poissy / Seine pour le cuivre et le plomb.
- Le maximum de contamination est atteint pour tous les métaux à l'aval de Paris, à Poissy / Seine et Poses / Seine qui sont très proches, sauf pour Cr total et Cr⁶⁺ qui sont très élevés à Poses.

Cette amélioration peut s'exprimer par le rapport des médianes des teneurs pour les deux périodes ; à chaque station, on définit R comme :

$$R = \frac{\text{médiane 1990/1997}}{\text{médiane 1981/1989}}$$

Si R est < 0,9, on considère qu'il y a amélioration significative ; entre 0,9 et 1,1, pas de changement significatif ; et > 1,1 péjoration significative. (Pour l'arsenic, vu sa grande variabilité dans les analyses, ces bornes seront 0,7 et 1,3). Le tableau 2 présente la distribution du rapport R pour les 15 stations considérées.

	Hg	Pb	Zn	Cu	Cd	Cr tot	As (a)	Se
Stations en amélioration R < 0,9	12/15	12/15	13/15	12/15	14/15	9/15	3/15	6/14
Stations stables 0,9 < R < 1,1	2/15	2/15	1/15	3/15	1/15	4/15	11/15	4/14
Stations en dégradation	1/15	1/15	1/15	0/15	0/15	2/15	1/15	4/14

Tableau 2 : Evolution spatiale de la contamination sur sédiments pour 15 stations (RNB).
(a)fourchette de stabilité de R 0,7 à 1,3 vu la variabilité

Les conclusions sur l'évolution temporelle des 15 stations considérées sont les suivantes :

- Vu la variabilité des teneurs sur les échantillons prélevés d'une année sur l'autre, il est nécessaire de considérer les médianes sur des périodes assez longues pour disposer d'au moins 6 analyses par station.
- Le maximum de contamination du plomb et zinc, observé au Pont de Tolbiac dans Paris, en 1981-1989, a diminué de plus d'un facteur 2 et le maximum de contamination s'observe alors à Poissy et Poses pour la période 1990-1997 avec des valeurs presque analogues à celles de la première période.
- Pour le cuivre et le chrome total, un deuxième pic de teneur était très apparent à Montereau sur Seine. Il a été très réduit pour le chrome en 1990-1997. Dans l'agglomération parisienne, on observe aussi une forte réduction de Cr et Cu, mais pas à Poses, où les valeurs restent stables.

- Le cadmium était extrêmement élevé du Pont de Tolbiac à Conflans sur Seine (valeurs record mondiales pour un tel fleuve ?). Un abaissement d'un facteur 10 est noté pour 1990-1997.
- Pour le mercure, une très nette amélioration est visible au centre de Paris. Les niveaux maximums restent observés à Poses pour les deux périodes.
- Les profils des teneurs en arsenic et sélénium restent très proches aux deux périodes. Pour ces deux éléments, il est difficile de mettre en évidence une contamination.
- On observe donc trois tendances principales :
 - amélioration sur l'ensemble des stations en amont de la région parisienne (sources urbaines, petites industries, agriculture, quelques points noirs) pour Hg, Cd, Cr, Pb, Zn
 - une amélioration dans l'agglomération parisienne (Noisiel, Ablon, Pont de Tolbiac) surtout pour Hg et Cd, mais aussi pour Pb, Zn, Cu, As.
 - une stabilité relative à l'aval de Paris (Poissy et/ou Poses pour l'ensemble des métaux)
- Si nous comparons les médianes 1990/1997 au bruit de fond des matériaux fluviaux du bassin, telles que déterminées par le Piren-Seine, les valeurs 1990-1997 à Poses restent caractéristiques d'une très forte contamination.

	As	Cd	Cr tot	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<u>Poses sédiments 90/97</u>	1,9	23	2,5	10	42	2,1	7,5	8,2
Bruit de fond naturel								

3.2. Evolution temporelle de la contamination dans les laisses de crues

Les laisses de crues sont analysées depuis 1994 dans le cadre du programme Piren-Seine (voir rapports Piren-Seine, 1996 à 1999), en particulier à quelques stations de référence pour lesquelles nous disposons de 4 à 8 analyses entre 1994 et janvier 2000 : Seine et Yonne à Montereau ; Seine à Corbeil, Ivry, Puteaux, Mantes et Poses, Marne à Annet et/ou à Maison Alfort, Oise à l'amont de Compiègne. Les particularités de ce suivi sont les suivantes : (i) tous les échantillons ont été prélevés par la même personne aux mêmes sites (M.M) et analysés par la même personne (A.H) avec les mêmes protocoles. Les biais et la variabilité liés aux prélèvements et analyses sont donc réduits au maximum, (ii) les sédiments analysés sont, dans leur très grande majorité, des vases silto-argileuses riches en aluminium (3 à 5% Al), (iii) les laisses de crue intègrent en général plusieurs semaines de transport et de dépôt aux périodes des plus forts transports et sont donc représentatives de 50 à 75% des flux annuels transportés, (iv) les analyses des laisses de crue ont donc une grande représentativité et leur reproductibilité a été vérifiée plusieurs fois sur des échantillons pris en double et/ou pris à une ou deux semaines d'intervalle à la même station, à des niveaux différents (les différences de teneur n'excèdent guère 20%).

La bonne reproductibilité de ces analyses individuelles se marque bien dans le suivi de certains métaux, comme Cd et Pb sur la Seine à Ivry (Figure 6), Hg sur la Marne à Maison Alfort (Figure 7). Pour ces éléments, les variations n'excèdent guère 20% de la valeur moyenne à long terme : les tendances ne sont donc pas significatives. Pour d'autres éléments, on note une évolution nette :

La Seine à Ivry et la Marne à Maison Alfort : stabilité pour la plupart des métaux, mais on note une variabilité plus forte qui pourrait caractériser des niveaux généraux plus bas que ceux de la Seine à Mantes

La Seine à Mantes : décroissance de Cu, Cr, Pb et Zn de 1996 à 2000. et de Hg et Cd pour la même période, excepté en janvier 2000 où les teneurs sont légèrement plus élevées.

La Seine à Poses : elle est caractérisée par un site de prélèvement plus facile à échantillonner (rampe de mise à l'eau à environ 500 m à l'amont de la passe à poissons), mais de forte sédimentation où le nettoyage du site n'est pas complet entre deux crues, le mélange avec des dépôts plus anciens est donc possible. La variabilité des teneurs d'une crue à l'autre est donc supérieure à Poses par rapport à celle de Mantes : les décroissances sont beaucoup moins nettes qu'à Mantes.

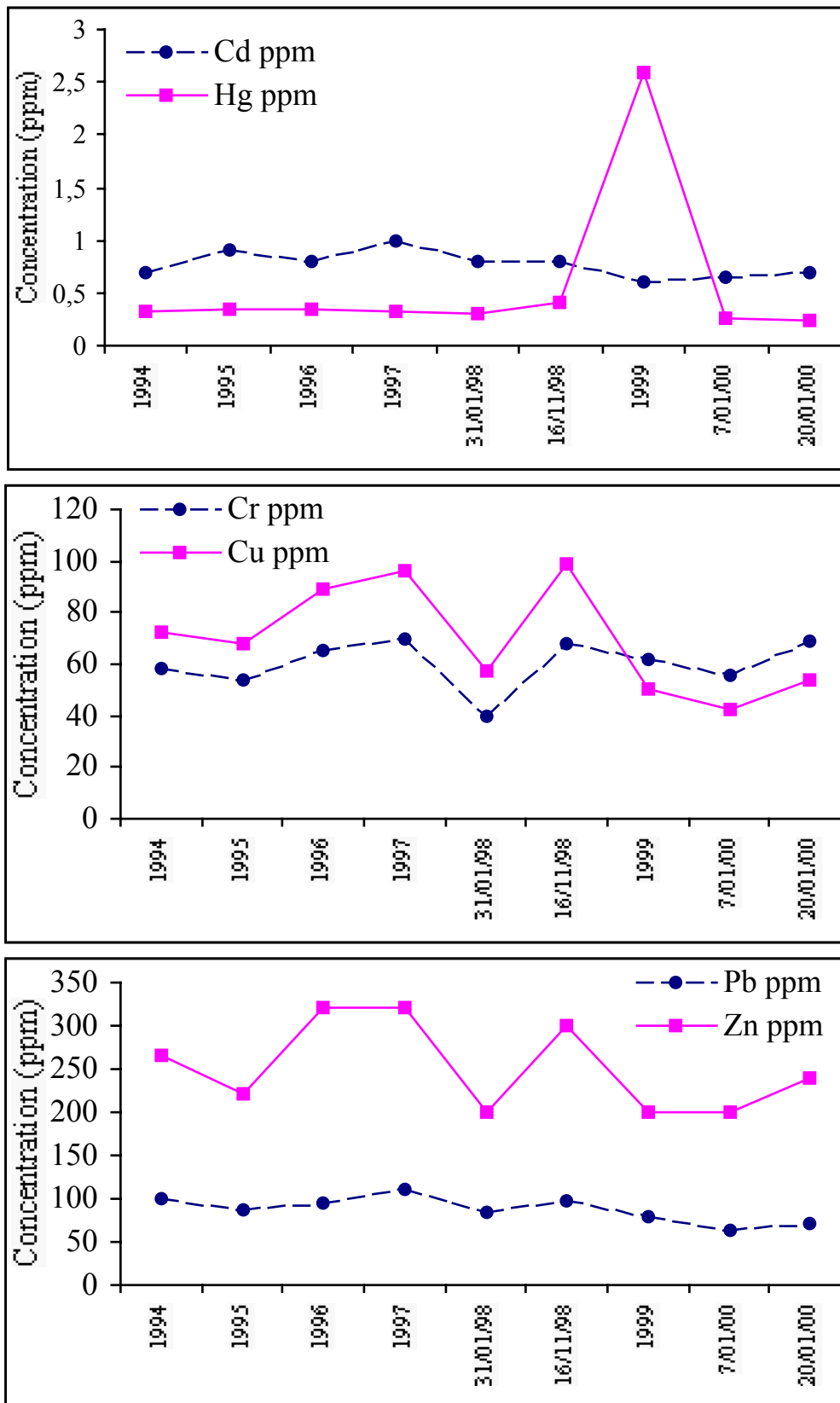


Figure 6 : Suivi des teneurs des principaux métaux dans les laisses de crues de la Seine à Ivry.

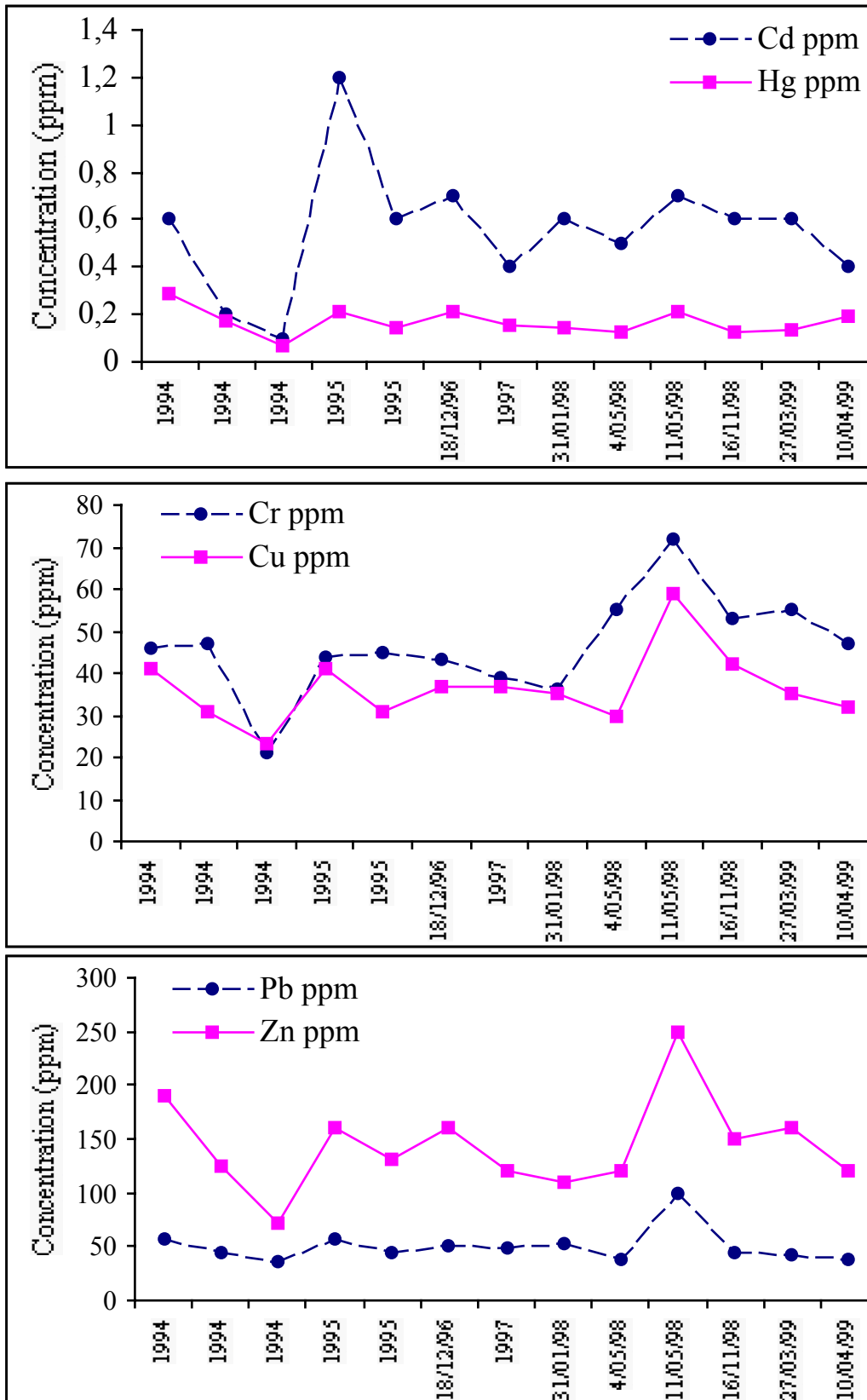


Figure 7 : Suivi des teneurs des principaux métaux dans les laisses de crues de la Marne à Maison-Alfort.

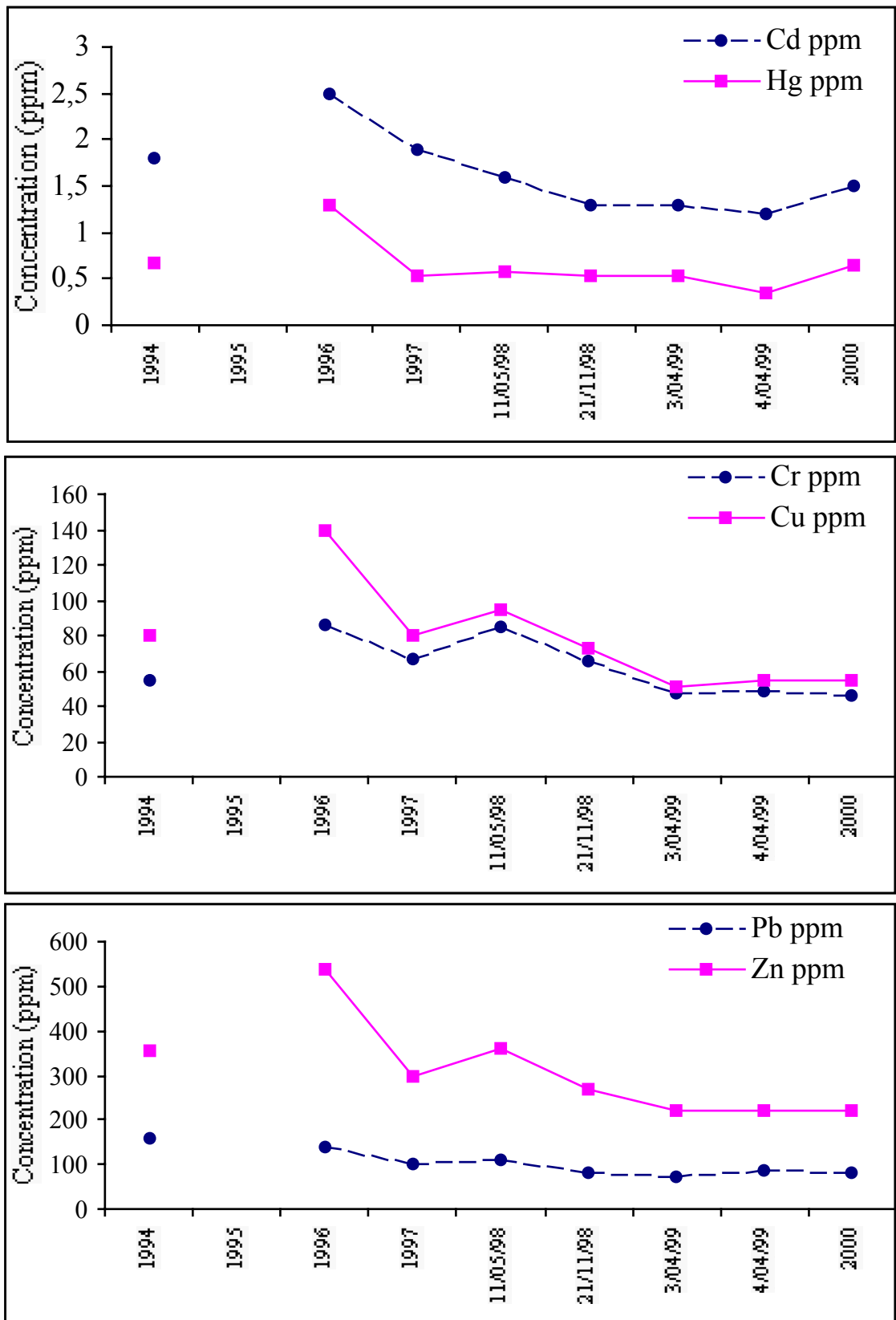


Figure 8 : *Suivi des teneurs des principaux métaux dans les laisses de crues de la Seine à Mantes.*

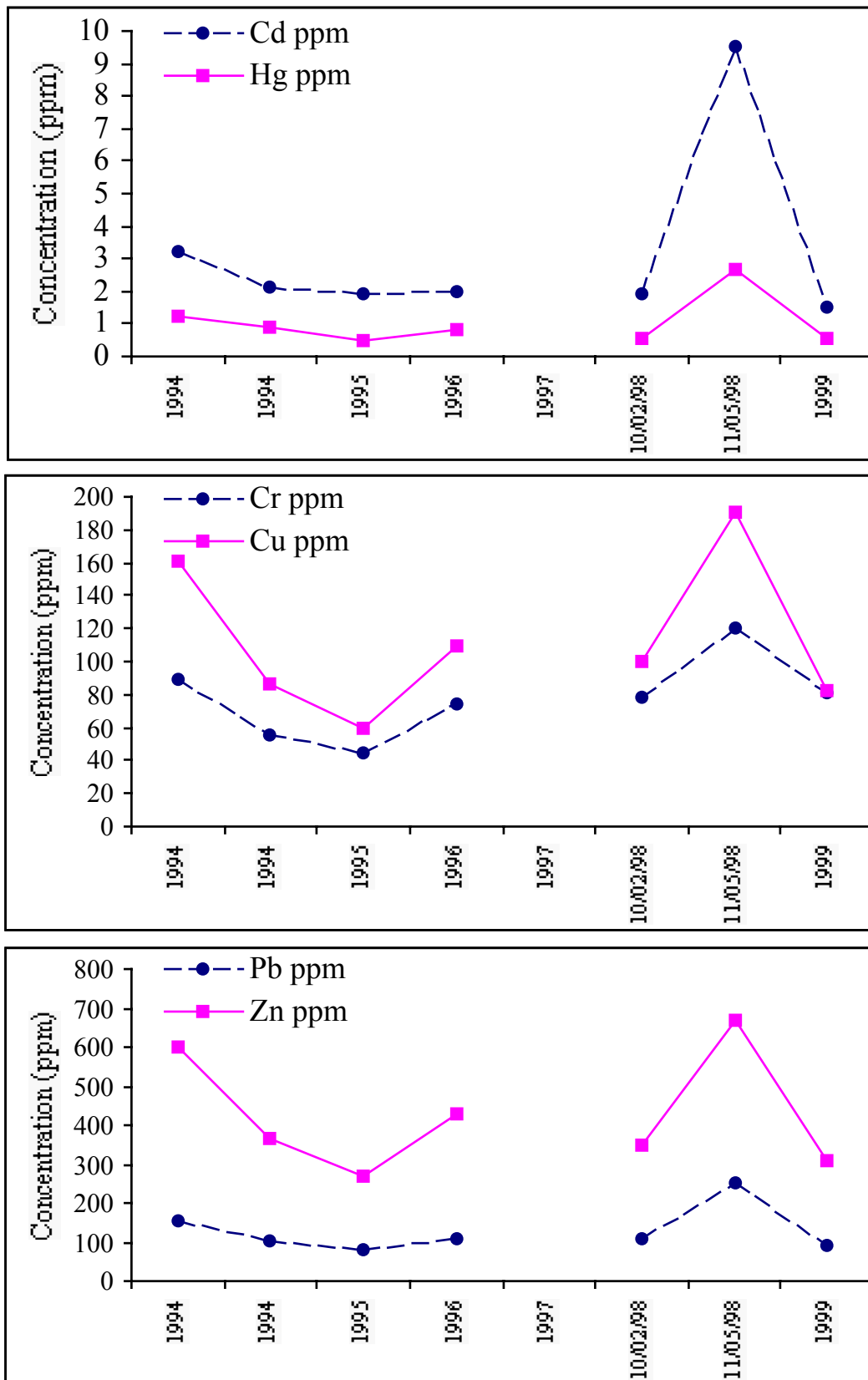


Figure 9 : Suivi des teneurs des principaux métaux dans les laisses de crues de la Seine à Poses.

4. Evolution des flux et des teneurs en métaux sur les MES à Poses (1983/1999)

Les flux de métaux particuliers à Poses ont été entièrement recalculés sur la base (i) des analyses de MES réalisées de 6 à 24 fois par an par le SNS de Rouen, (ii) les flux journaliers de MES reconstituées, dans le cadre du programme AFICO (LITEAU), sur la base des relations $MES = f(Q)$ et des mesures de MES effectuées dans le cadre du RNB.

Chaque analyse chimique de MES filtrées $[C_i]$ est ainsi associée à un flux de MES (F_{MESi}) de part et d'autre de l'échantillon considéré (hypothèse des teneurs en métaux constantes) :

$F_{MESi} = \sum Q_j * MES_j$ où Q_j et MES_j sont des valeurs journalières, et les flux de métal (x) correspondant à l'échantillon (i) sera :

$$Fix = [C_{ix}] * F_{MESi}$$

Le flux annuel, ou interannuel sera $F_{x(t1-t2)} = \sum_{t1}^{t2} Fix$

La teneur moyenne en métal $[C_{ix}]^*$ sur l'intervalle de temps considéré (t1-t2) sera le rapport du flux de métal divisé par le flux de MES écoulés pendant cette période.

$$[C_{ix}]^* = F_{x(t1-t2)} / F_{MES(t1-t2)}$$

$[C_{ix}]^*$ sera donc pondéré par les flux de MES et pourra être très différente de la moyenne arithmétique des teneurs pendant (t1-t2). En effet, les flux de métaux particuliers passent surtout pendant les crues. A des valeurs de MES élevées correspondent le plus souvent des teneurs en métaux limitées voire dans certains cas minimales (comme le mercure à l'aval de Paris). Les moyennes arithmétiques, quant à elles, seront très influencées par les valeurs de basses eaux, les plus nombreuses, et souvent caractérisées par des teneurs élevées voire maximale (cas du mercure, du carbone organique particulaire, du phosphore particulaire ...).

Ce calcul a été appliqué à Poses pour les principaux métaux analysés par le SNS, avec un pas de temps de 4 ans. Ce choix a été jugé nécessaire pour dissocier les 3 années de très forte hydraulicité en 1993, 1994 et 1995 qui ont eu des flux et des niveaux moyens de MES entre 45 et 55 mg/l, alors que les niveaux les plus courants sont de 25 à 35 mg/l. Nous avons ainsi 4 périodes délimitées par les mois de septembre et août, début et fin des années hydrologiques. Malgré ce regroupement, les flux particuliers ne sont pas identiques :

1983 / 87 2,07 Mt pour la période, soit	0,52 Mt/an
1987 / 91 2,26	0,56 Mt/an
1991 / 94 2,01	0,50 Mt/an
1994 / 99 3,47	0,87 Mt/an

Il en résulte que les flux de métaux peuvent être identiques entre les deux périodes extrêmes (cas du zinc ou du nickel), alors que les teneurs moyennes ont été diminuées de 40 % entre 1983/87 et 1994/99 (Tableau 3).

	Nombre d'analyse	Flux MES (t/4 ans)	C* Al (ppm)	Flux Al (t/4 ans)	C* Cd (ppm)	Flux Cd (t/4 ans)	C* Co (ppm)	Flux Co (t/4 ans)
01/09/83	23	2069498	33333	68983	10,2	21,1	15,1	31,2
31/08/87								
01/09/87	74	2257975	38370	86639	5,1	11,6	8,4	19
31/08/91								
01/09/91	48	2014846	40412	81424	3,2	6,5	8,6	17,4
31/08/94								
01/09/94	102	3471858	44966	156115	2,5	8,6	10,9	37,7
31/08/99								

	C* Ni (ppm)	Flux Ni (t/4 ans)	C* Cr (ppm)	Flux Cr (t/4 ans)	C* Cu (ppm)	Flux Cu (t/4 ans)	C* Hg (ppm)	Flux Hg (t/4 ans)
01/09/83	65	133,8	245	507	310	642	2,4	4,9
31/08/87								
01/09/87	31	69,6	112	253	142	320	1,9	4,2
31/08/91								
01/09/91	49	99,7	103	208	153	307	3,2	6,5
31/08/94								
01/09/94	39	135,2	123	427	124	431	1,2	4,3
31/08/99								

	C* Zn (ppm)	Flux Zn (t/4 ans)	C* Pb (ppm)	Flux Pb (t/4 ans)	C* Fe (ppm)	Flux Fe (t/4 ans)	C* Mn (ppm)	Flux Mn (t/4 ans)
01/09/83	770	1593	244	505	29452	60950	1100	2277
31/08/87								
01/09/87	585	1321	224	506	24475	55263	732	1653
31/08/91								
01/09/91	502	1012	171	344	25555	51490	711	1432
31/08/94								
01/09/94	446	1549	118	409	30230	104953	666	2313
31/08/99								

	Cd/Al	Co/Al	Cr/Al	Cu/Al	Hg/Al	Ni/Al	Pb/Al	Zn/Al
01/09/83	3,06	4,52	74	93	0,71	19	73	231
31/08/87								
01/09/87	1,34	2,20	29	37	0,48	8	58	152
31/08/91								
01/09/91	0,79	2,13	26	38	0,80	42	42	124
31/08/94								
01/09/94	0,55	2,41	27	28	0,28	26	26	99
31/08/99								

Tableau 3 : Evolution des flux de métaux particuliers et de MES à Poses par périodes de 4 années hydrologiques et des rapports (métal/Al) multipliés par 10000. C* sont les teneurs moyennes pondérées par les flux de MES.

On remarque aussi que les MES échantillonnées passent de 6/ans à 24/ans et que les crues sont aussi mieux prises en compte en 1994/99. Il en résulte que les MES analysées sont aussi plus riches en Al, donc en argiles (45 000 ppm contre 33 000 ppm au début de la surveillance), car les travaux de Z. Idlafkih ont montré l'augmentation marquée des teneurs en Al lors de la montée des crues et la dilution correspondante de la calcite et de la matière organique.

Les teneurs moyennes pondérées [C* du tableau 3] en Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb montrent toutes une décroissance régulière de la première à la dernière période considérée. Cette réduction est de 75% pour Cd, 50% pour Cr, 60% pour Cu, 40% pour Ni, 42% pour Zn, 52% pour Pb.

L'évolution du mercure est plus problématique car la 3^{ème} période est caractéristique par une teneur moyenne plus élevée. Toutefois, cette valeur est très fortement influencée par une analyse dix fois plus forte que les précédentes : une telle contamination n'a pas été remarquée sur les laisses de crue et il pourrait s'agir d'une erreur de report, ce qui demande vérification. L'évolution du cobalt montre que ce métal est très stable depuis les derniers 12 ans ce qui est confirmé par l'analyse des laisses de crue : le cobalt est un des éléments les plus proches des niveaux naturels. Enfin, l'évolution du manganèse, dont les niveaux sont très proches des valeurs naturelles, est sans doute plus liée à la période d'échantillonnage : en 1983-1987, les échantillons de printemps et d'été étaient plus nombreux, ces périodes correspondent à des teneurs en manganèse plus élevées ainsi que l'avait montré l'étude pilote réalisée par l'Ifremer en 1990.

Comme les particules analysées en 1994-1999 sont plus riches en aluminium qu' en 1983-1987, nous avons aussi testé les rapports (métaux)/(Al) – exprimés en ppm par ppm et multipliés par 10 000 (Tableau 3) : la décontamination des particules transportées est encore plus marquée, 82% pour Cd, 37% pour Zn par exemple. Il est donc probable que les flux de métaux transportés en 1983-1987 et calculés ici avec le maximum de précaution ait pu être de 30% supérieurs aux valeurs présentées ici. Il est intéressant de remarquer que ces teneurs sont très proches de celles mesurées par l'Ifremer (D. Cossa) en 1990 et par Z. Idlafkih (1998).

Le tableau 4 montre que, malgré les améliorations très nettes depuis plus de 15 ans, la contamination des MES de la Seine reste encore très élevée, notamment en Cd, Hg, Pb et Zn.

	Al %	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Hg ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
1990/92 (1)	2,80	5,1			167	1,15		175	595
1994/95 (2)	3,80	2,6			86	1,00		105	380
Bruit de fond de la Seine (3)		0,35	5,5	50	15	0,03	17	25	80

Tableau 4 : Comparaison des valeurs médianes en métaux dans les MES à Poses. (1) Cossa et al, 1994 ; (2) Idlafkih (1998) ; (3)Thévenot et al, 1998

5. Tendances comparées de l'évolution des métaux à Poses

Trois types de surveillance ont été comparées : (i) le suivi des MES par le SNS de Rouen, effectué dans le cadre du RNB à la station de Poses ; nous avons retenu ici les teneurs moyennes par période de 4 ans et pondérées par les flux de MES (C_x^*) ainsi que les médianes des teneurs observées chaque année de 1983 à 1999 (de 6 à 24 analyses / an) (ii) les teneurs moyennes sur 3 ans des métaux sur sédiments (1980-1995) en cumulant les stations de Mantes et de Poses pour augmenter les effectifs et limiter la variabilité et enfin (iii) les moyennes des teneurs observées dans les laisses de crues de Poses et de Mantes (1994-2000).

L'ensemble des 4 évolutions de la contamination métallique présente une remarquable homogénéité malgré la triple origine des données et une décroissance nette depuis 20 ans. Les teneurs médianes des analyses sur MES filtrées présentent une grande régularité de 1984 à 1999 à l'exception des valeurs du chrome en 1986 et du mercure en 1992 biaisées par une valeur unique très élevée qui n'est pas confirmée par une contamination très élevée des sédiments : soit il s'agit d'un problème analytique soit la contamination est réelle mais elle a été de très faible durée. Les décroissances du plomb (Figure 10a), du zinc (Figure 10b), du cuivre (Figure 10c) et du cadmium (Figure 10f) sont particulièrement régulières pour ce type de surveillance.

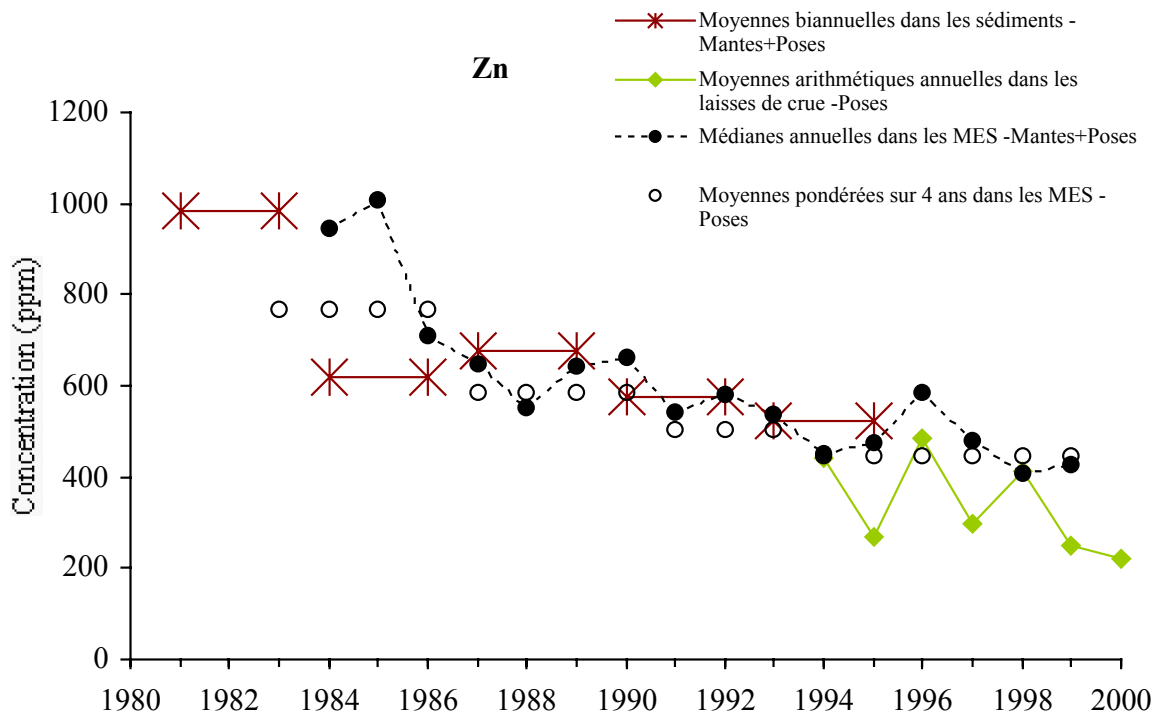
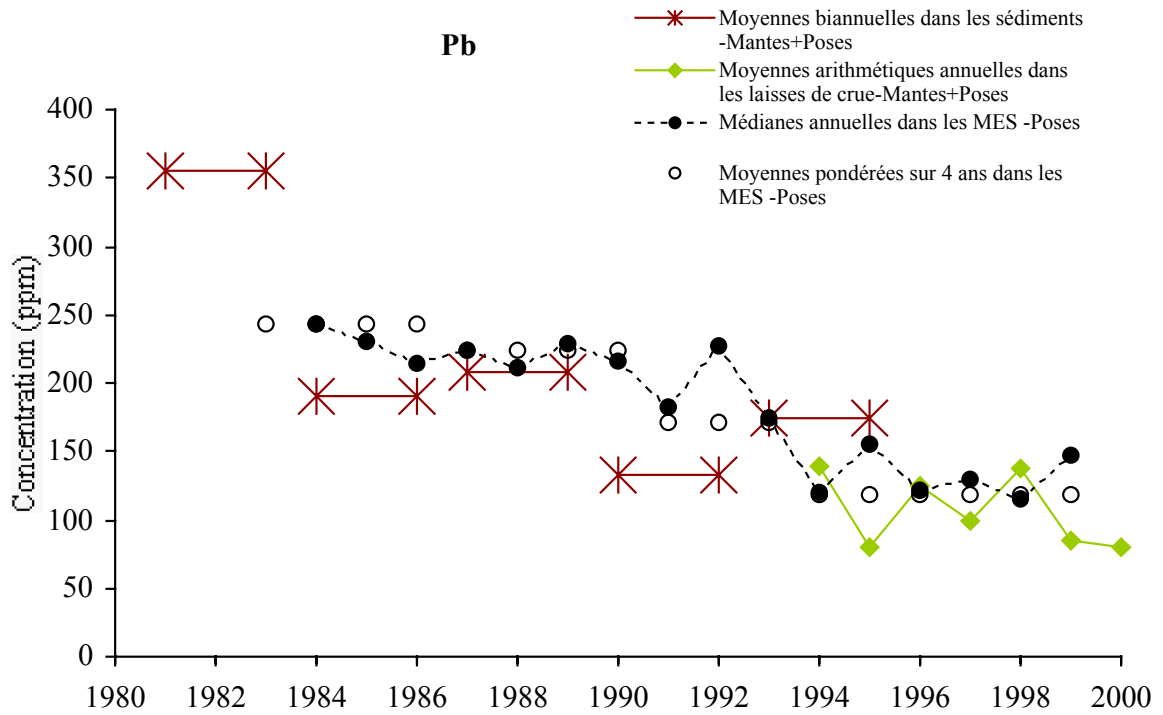


Figure 10 : Comparaison au cours du temps des teneurs en métaux dans les sédiments, laisses de crues et MES à Poses+Mantes.

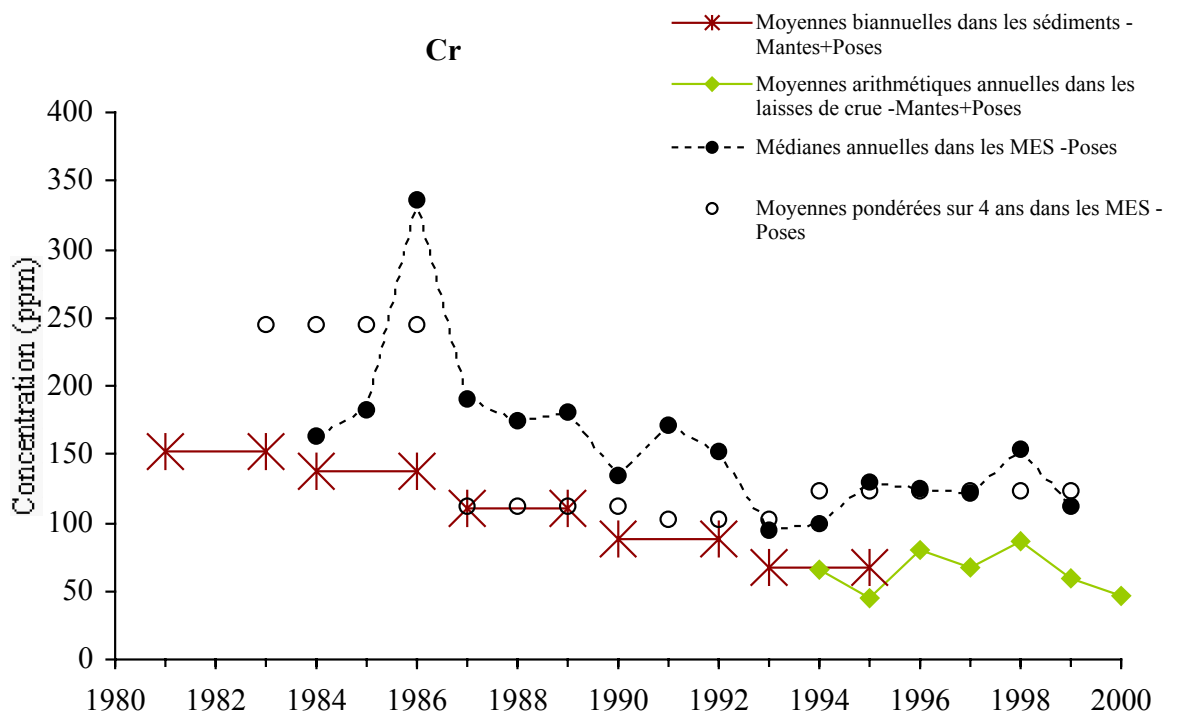
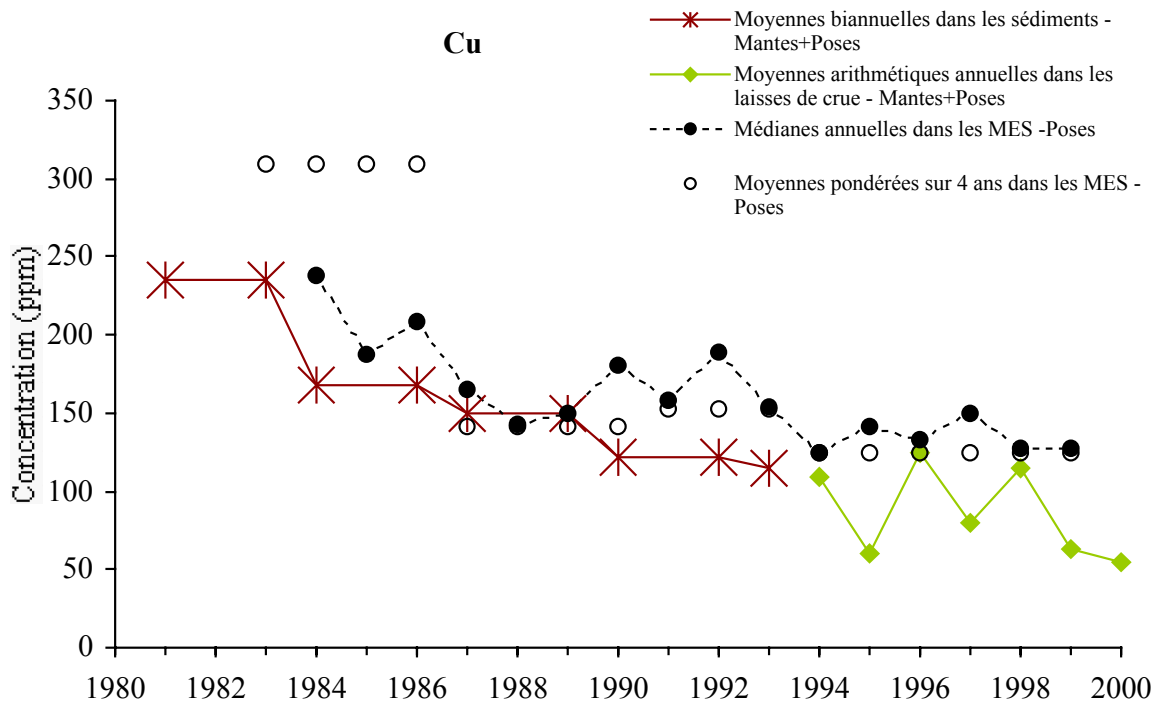


Figure 10 : Comparaison au cours du temps des teneurs en métaux dans les sédiments, laisses de crues et MES à Poses+Mantes. – suite-

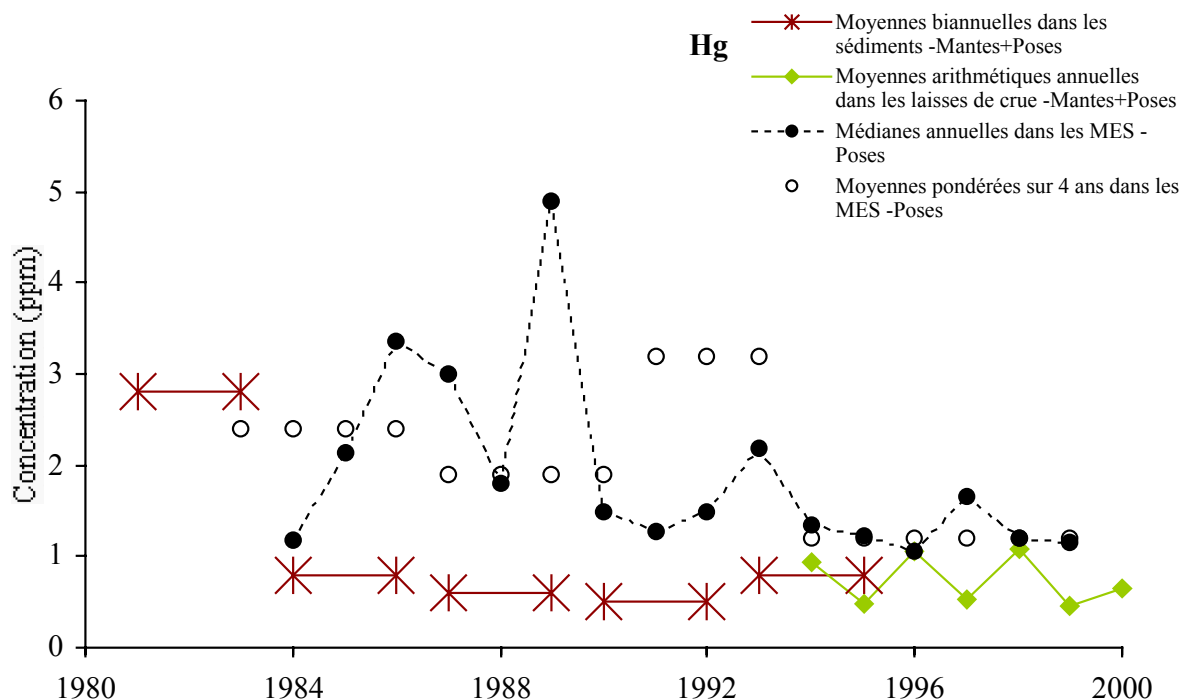


Figure 10 : Comparaison au cours du temps des teneurs en métaux dans les sédiments, laisses de crues et MES à Poses+Mantes.-suite-

Les analyses sur sédiments suivent cette tendance à la décontamination mais sont souvent de 20 à 30% inférieures aux niveaux mesurés sur les MES (cas du cuivre, du chrome, du mercure à l'exception notable de la période 1993-1995) qui présente des teneurs plus élevées que celles des MES et des laisses de crues en Pb, Hg et Cd. Les niveaux observés dans les laisses de crue sont parfois très proches des médianes des MES, parfois nettement inférieurs. Il conviendra de reprendre cette comparaison avec plus de précision en comparant les niveaux dans les MES et les laisses de crue pour les mêmes périodes, en générale, les crues de Janvier mais parfois aussi les crues de Mai ou de Novembre. Ces différences entre MES, laisses de crue et sédiments sont en partie liées aux granulométries et devront être également testées par les rapports métaux/Al. Si on considère que, sur les 16 années de surveillance de MES, les flux de matières en suspension ont été en moyenne de 610 000 t/an, on peut avancer une première estimation de la réduction des flux de métaux entre 1980-1982 et 1998-2000 (Tableau 5).

	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn
1980-1982	10	135	150	1,7	185	600
1998-2000	1,0	40	50	0,5	50	200
Facteur de réduction	90%	70%	65%	70%	70%	65%

Tableau 5 : Bilan provisoire des flux de métaux particuliers sortants du bassin de la Seine (sur la base de flux constants de MES de 610 000 t/an) en t/an.

6. Perspectives

Il convient pour la dernière année de cette troisième phase du programme Piren-Seine de parvenir à une vue d'ensemble encore plus poussée de l'évolution sur 20 ans de la contamination métallique en menant les actions suivantes :

- Compléter la synthèse des données sur sédiments avec les années les plus récentes et les stations sur les cours d'eau non navigués afin d'avoir une spacialisation de la contamination (amont-aval de Paris, cours d'eau e la Petite et Grande Couronne etc...)
- Comprendre l'évolution de la contamination métallique en recherchant les données pertinentes (rejets, recyclage, traitements d'eaux usées, changements de processus industriels...) auprès des acteurs du bassin
- Mettre en perspective que les flux sortants à Poses représentent en fait les fuites des flux de métaux circulant dans le bassin ainsi que L. Lestel l'a remarqué pour le XIX^{ème} et le début du XX^{ème} siècle.

7. Références

Cossa, D., Meybeck, M., Idlafkih, Z. et Bomble, B. 1994. Etude pilote des apports en contaminants par la Seine. Agence de l'Eau Seine-Normandie / Ministère de l'environnement, Ifremer – Nantes, R. Int. Del/94-13, 151 p.

Idlafkih, Z. 1998. Transport des ions majeurs, éléments nutritifs, carbone organique et des métaux en traces particulières (Al, Fe, Mn, Cd, Cu, Hg, Pb et Zn) dans un fleuve anthropisé : la Seine. Importance des crues. Comparaison avec le Rhin moyen. Univ. Paris 6. 303p.

Thévenot, R., Meybeck, M., Chesterikov, A. et Chevreuil, M. 1998. Métaux : sources multiples et accumulation. In La Seine et son bassin, Elsevier eds., 749 p.