

# Evolution des teneurs en contaminants métalliques dans les sédiments du bassin de l'Oise au cours des 50 dernières années.

M.F. Le Cloarec<sup>1</sup>, Ph. Bonté<sup>1</sup>, N.D. Tran<sup>1</sup>, I. Lefèvre<sup>1</sup>, S. Ayrault<sup>1</sup>, L. Lestel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LSCE, Avenue de la Terrasse, 91198 Gif-sur-Yvette Cedex, [mflc@lsce.cnrs-gif.fr](mailto:mflc@lsce.cnrs-gif.fr)

<sup>2</sup>CDHTE-CNAM Paris

1. Introduction .....	1
2. Teneurs en métaux.....	5
2.1. Carotte PF01 .....	5
2.2. Carotte S01 .....	6
2.3. Discussion .....	7
3. Conclusions et perspectives.....	8
4. Bibliographie.....	8

## 1. Introduction

Dans la continuité de l'analyse des contaminations métalliques passées dans le bassin de la Seine par les signaux enregistrés dans les sédiments, nous nous sommes intéressés au Bassin de l'Oise, où l'implantation industrielle est intense depuis plus d'un siècle. Notre objectif est double : d'une part restituer la pollution métallique locale par l'analyse sédimentaire, et corrélérer les résultats obtenus avec une étude historique de l'évolution industrielle du bassin, d'autre part trouver des marqueurs métalliques permettant de remonter le temps au-delà des possibilités offertes par la radioactivité environnementale (<sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb).



Les carottages ont été effectués avec un carottier de sol en acier qui mesure dix centimètres de diamètre et un mètre de longueur. Il s'ouvre sur toute la longueur pour permettre le transfert immédiat de la carotte dans une chemise de PVC afin de limiter au mieux la contamination métallique. Un moteur à percussion permet d'atteindre sans problème la profondeur attendue.

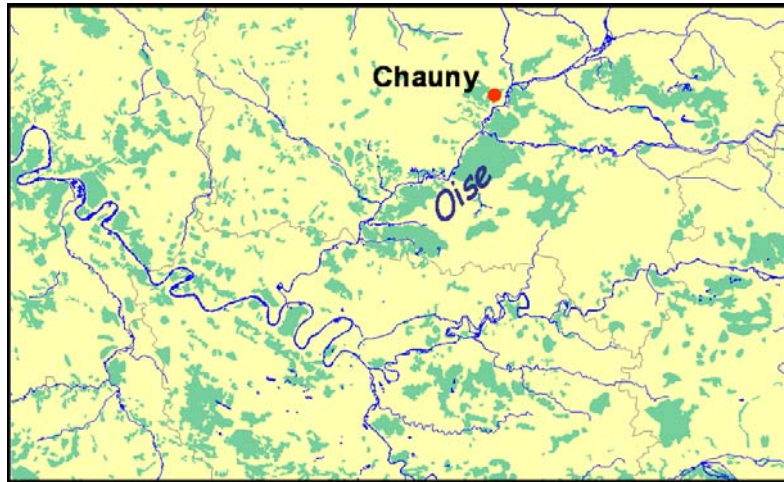


Figure 1: Situation de Chauny dans le bassin de l'Oise.

Avec l'aide des services de VNF de Compiègne, le 28 septembre 2004, nous avons choisi les environs de Chauny, petite ville située sur l'Oise, à 45 km au nord est de Compiègne (figure 1). Chauny a connu un fort essor industriel à la fin du XVII<sup>ème</sup> siècle avec la fondation de la Manufacture des glaces de Saint-Gobain.

D'abord simple entrepôt au bord de l'Oise, l'annexe de Saint-Gobain devient un important centre industriel lorsque des ateliers de polissage mécanique et de doucissage de glaces sont construits pour profiter de l'eau mais aussi de l'énergie motrice procurée par des chutes aménagées sur l'Oise. De même l'installation d'une usine de soude artificielle (avec Gay-Lussac) utilisée dans le travail du verre contribue au développement d'une véritable industrie chimique au XIX<sup>ème</sup> siècle.

C'est là que Gay-Lussac mit au point, à partir de 1830, un procédé qui avait pour but de prévenir la libération des oxydes d'azote dans l'atmosphère, indispensables à la fabrication de l'acide sulfurique, avec la technique des « chambres de plomb » à l'usine de Chauny. Depuis, cette ville est un centre de chimie industrielle dont l'histoire semble être bien connue.

Nous avons donc recherché des sites favorables à une sédimentation régulière non perturbée, et choisi un bras mort de l'Oise (bois de Mr Pierre Frossar, prélèvement le 28 septembre 2004, coordonnées du point de prélèvement : 49°35,495' ; 3°12,212').

L'ensemble des résultats de l'analyse par spectrométrie gamma sont présentés dans le tableau 1.

Sur la figure 3 sont présentés les résultats des marqueurs radioactifs environnementaux. On remarque une rapide décroissance de l'excès de  $^{210}\text{Pb}$ , qui disparaît totalement en dessous de 25 cm de profondeur. Compte tenu de la période du  $^{210}\text{Pb}$  (22 ans), on peut estimer qu'il s'est écoulé une cinquantaine d'années entre la surface et le niveau de disparition de ce radionuclide vers 25 cm de profondeur, ce qui correspond à une vitesse de sédimentation d'environ 0,5 cm/an. La sédimentation de cette carotte semble donc très lente, il est difficile de dire si elle est régulière et complète. Le  $^{137}\text{Cs}$  montre un fort pic entre 12 et 15 cm, puis diminue fortement entre 15 et 30 cm, où il disparaît pratiquement jusqu'à la base de la carotte. Le pic de  $^{137}\text{Cs}$  observé entre 12 et 15 cm correspondrait alors à l'accident de Tchernobyl, les pics attendus antérieurement étant effacés par des remaniements sédimentaires que nous n'avons pas eu la possibilité de documenter.

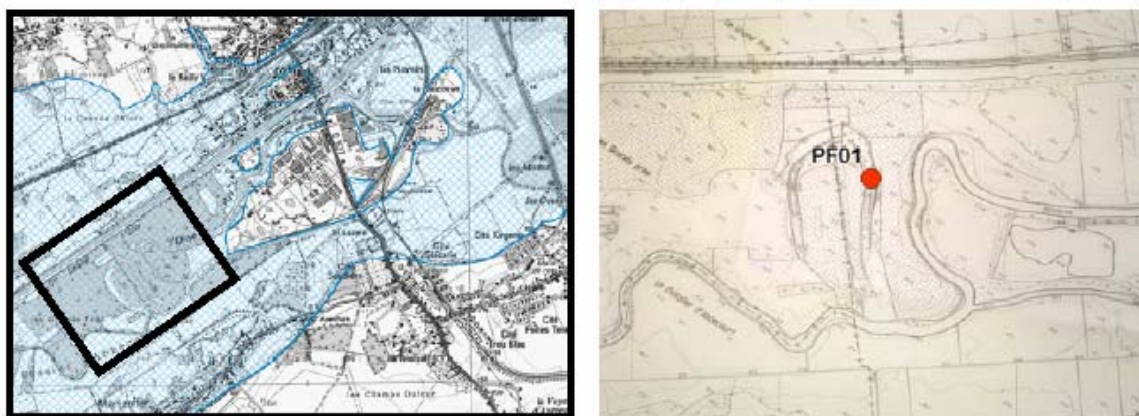


Fig. 2 – Site de prélèvement de la carotte PF01.

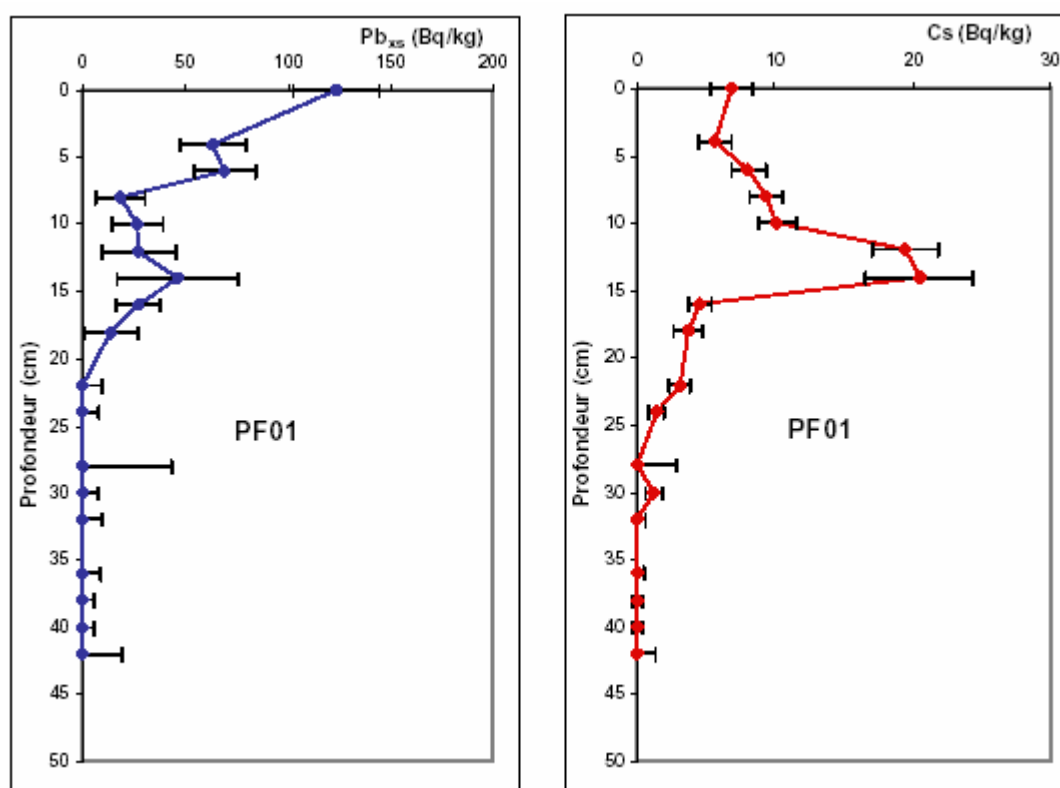


Fig3 – Profils de  $^{210}\text{Pb}$  en excès et de  $^{137}\text{Cs}$  dans la carotte PF01

Nous avons donc recherché d'autres sites d'échantillonnage, à la fois pour mieux circonscrire l'âge des horizons sédimentaires, et aussi pour circonscrire géographiquement les rejets des différentes industries de Chauny. Notre objectif est surtout de remonter plus loin dans le temps, à partir d'un site à longue sédimentation, où on pourra (i) avoir un profil « typique » de  $^{137}\text{Cs}$ , (ii) une décroissance régulière de  $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$  qu'on pourra extrapoler vers les temps plus anciens, et (iii) une succession de signatures multi-élémentaires traduisant l'histoire industrielle du site. A côté des questions touchant à l'étude rétrospective des pollutions, l'objectif final est d'obtenir des marqueurs chimiques temporels afin de jalonner dans le temps l'évolution morphologique des cours d'eau.

Notre choix s'est porté sur une prairie inondable, appartenant à Mr J.B. Soufflet dans une boucle de l'Oise, légèrement à l'aval de Chauny, près de Pontoise les Noyon (coordonnées de prélèvement :  $49^{\circ}32,921'$  ;  $03^{\circ}01,874'$ ). Trois carottes ont été prélevées à cet endroit le 24 mars 2005, nous présentons ici les résultats de l'analyse de l'une d'entre elles, S01.

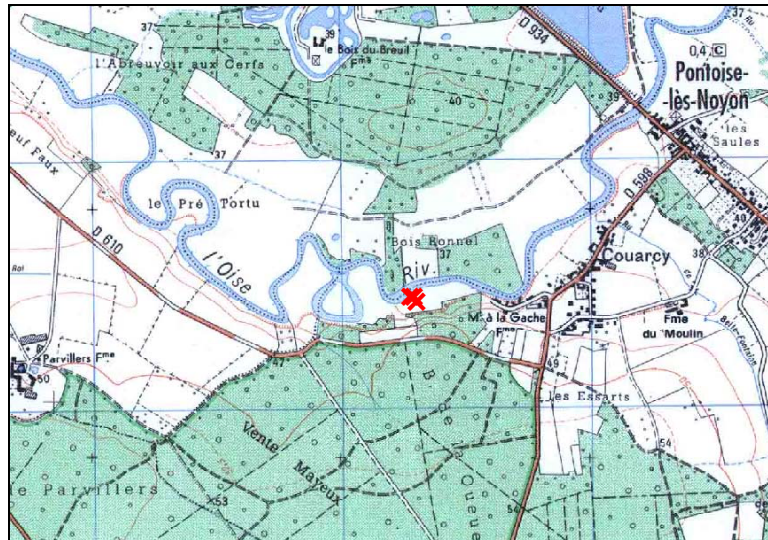


Fig4 – site de prélèvement de la carotte S01

La figure 5 montre les profils des marqueurs  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{210}\text{Pb}$  dans la carotte S01. Les activités des marqueurs sont normalisées au potassium, mesuré par comptage gamma, en même temps que les  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{210}\text{Pb}$ , pour corriger l'effet de granulométrie.

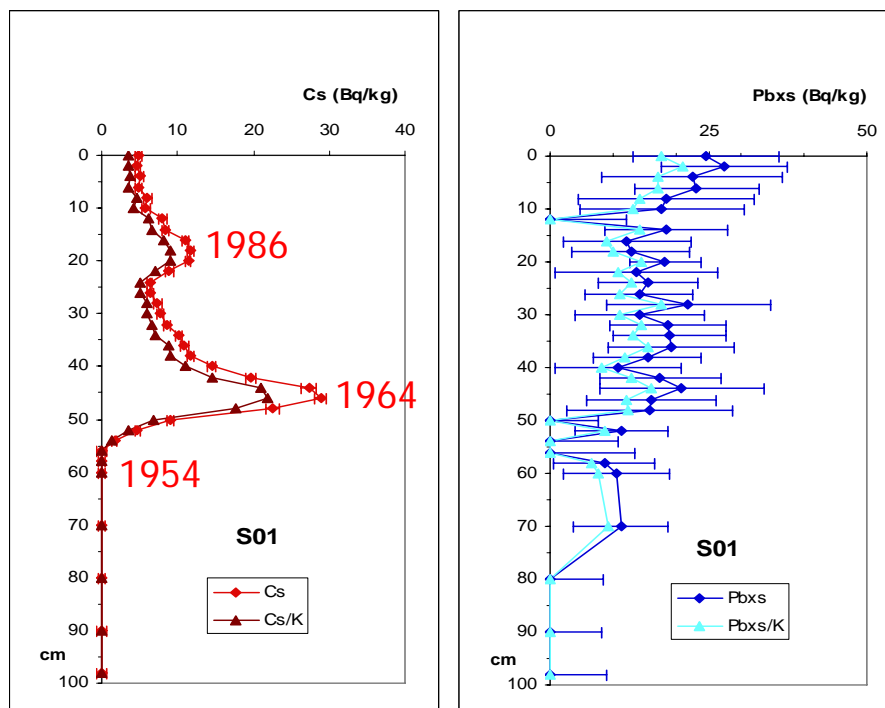


Fig5 – Profils de  $^{210}\text{Pb}$  en excès et de  $^{137}\text{Cs}$  dans la carotte S01

Le profil de  $^{137}\text{Cs}$  permet de bien dater les niveaux : premières retombées de  $^{137}\text{Cs}$  en 1954 au niveau 57 cm, maximum des retombées en 1964 au niveau 46 cm et enfin l'accident de Tchernobyl en 1986 au niveau 18 cm. La vitesse de sédimentation déduite de ces observations est estimée à 1,1 cm/an. En revanche le profil du  $^{210}\text{Pb}$  est difficile à exploiter compte tenu des faibles activités mesurées et de la grande incertitude qui leur est associée.

La figure 6 montre les deux carottes étudiées. PF 01 est riche en matière organique, principalement des feuilles d'arbres en décomposition, mêlées aux sédiments apportés par la rivière, ce qui pourrait expliquer les anomalies observées dans les concentrations en  $^{137}\text{Cs}$ . Le  $^{210}\text{Pb}$  est, lui,

d'origine atmosphérique et donc indépendant du support qui l'amène au sol. En revanche S01 est constituée essentiellement de sédiments qui donnent une bonne lecture de l'activité en  $^{137}\text{Cs}$ .



Fig. 6a – carotte PF01

Fig.6b – carotte S01

## 2. Teneurs en métaux

Les métaux ont été analysés par activation neutronique (AAN), méthode dont l'intérêt essentiel est la non destructivité des échantillons. Elle donne accès à une large palette d'éléments chimiques, sans risque de contamination par ajouts de réactifs (cette méthode a été décrite dans le rapport PIREN-2003). Toutefois, il s'agit d'une méthode très lourde, puisqu'il faut disposer d'un réacteur pour les irradiations, et de beaucoup de temps pour lire les spectres aux temps imposés par les périodes radioactives des éléments formés. Nous avons donc profité de l'acquisition par le laboratoire d'un appareil d'ICP-AES, qui, s'il nécessite une minéralisation des sédiments, donne de très bons résultats pour un grand nombre d'éléments. Enfin, nous avons mesuré les Pb, Cd et Cu par spectrométrie d'absorption atomique (AAS), les résultats, notamment pour le Cd, n'étant pas encore satisfaisants. Pour ces deux dernières méthodes, les protocoles de mise en solution ont été décrits dans des rapports PIREN antérieurs, et dans les deux cas la méthode des ajouts dosés a été utilisée pour s'affranchir des effets de matrice. Les résultats des analyses sont présentés dans les tableaux 2, 3 et 4.

Pour mieux comparer les carottes, nous avons tenté de corriger les effets de la granulométrie, sachant que les polluants se fixent préférentiellement sur la fraction fine des particules (fraction argileuse). Nous avons montré (rapport PIREN 2003) que le potassium et le scandium peuvent jouer le rôle d'élément normalisateur, ils sont très bien corrélés. Le potassium, nous l'avons signalé ci-dessus, est mesuré par spectrométrie gamma, le scandium par AAN ou ICP-AES. Les résultats sont présentés ici normalisés au scandium.

### 2.1. Carotte PF01

On a vu que les âges des différents niveaux analysés sont mal définis pour cette carotte. Une estimation grossière, basée sur la décroissance de  $^{210}\text{Pb}$ , et cohérente avec les teneurs en  $^{137}\text{Cs}$  permet de dire que les 25-30 cm supérieurs se sont déposés en 50 ans approximativement. Pendant cette période (figure 7), les variations de la contamination métallique en éléments majeurs sont peu significatives, à l'exception du Ca, qui montre un maximum à 20 cm (1965 ?). Pour les éléments trace, on note une augmentation importante de la concentration en Zn dans les niveaux récents, et un déficit en As et en Cd au niveau 10cm (1990).

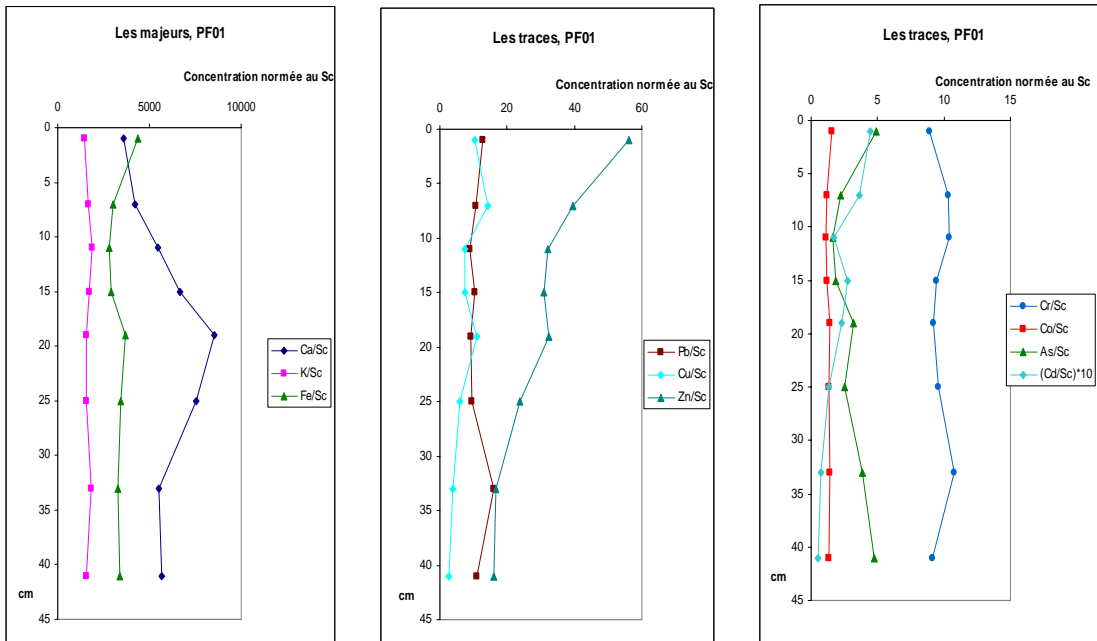


Fig. 7 PF01

-a - majeurs K, Ca, Fe

-b - traces Pb, Cu, Zn

-c - traces Cr, Co, As, Cd

## 2.2. Carotte S01

Les résultats obtenus par AAN, ICP-AES et AAS sont présentés sous forme de profils en fonction de la date et leur concentration est normalisée au scandium (figure 8).

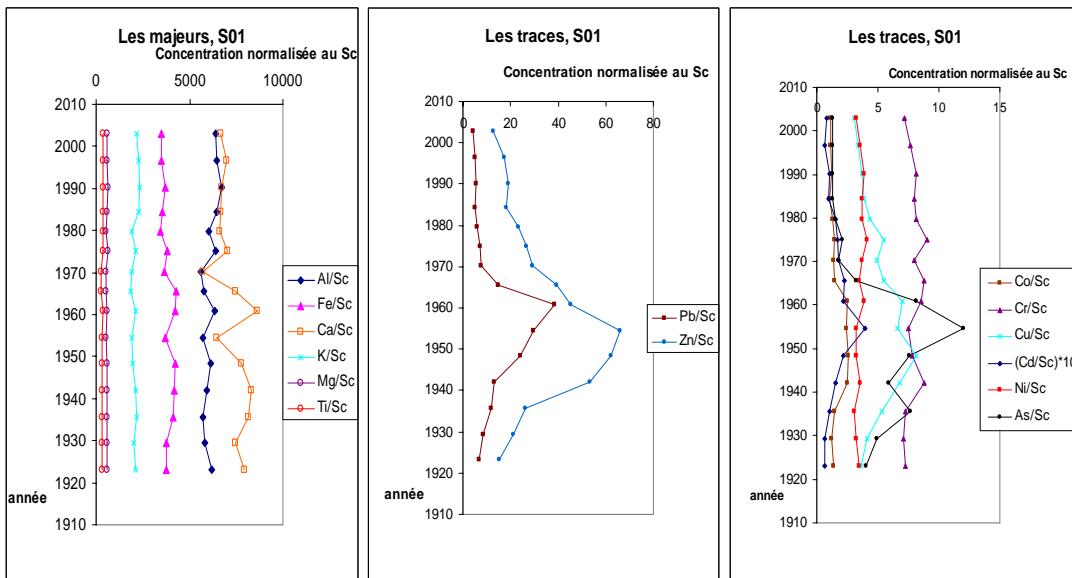


Fig. 8 – S01majeurs et traces

Al, Fe, Ca, K, Mg, Ti

Pb, Zn

Co, Cr, Cu, Cd, Ni, As

Parmi les majeurs, seul le calcium, et dans une moindre mesure le fer et l'aluminium montrent une accumulation vers 1960, phénomène également observé dans PF01. Presque tous les éléments en trace (Zn, Pb, Cd, Cu, As) sont en concentration maximale pendant la décennie 1950-1960. Le Cu est présent en excès pendant une période plus longue, depuis 1930 jusque vers 1980. Les Ni, Co, Cr ne montrent pas de tendance particulière au cours du XXème siècle.

La figure 9 présente ces mêmes résultats, normalisés à la concentration métallique actuelle (valeur à la surface)

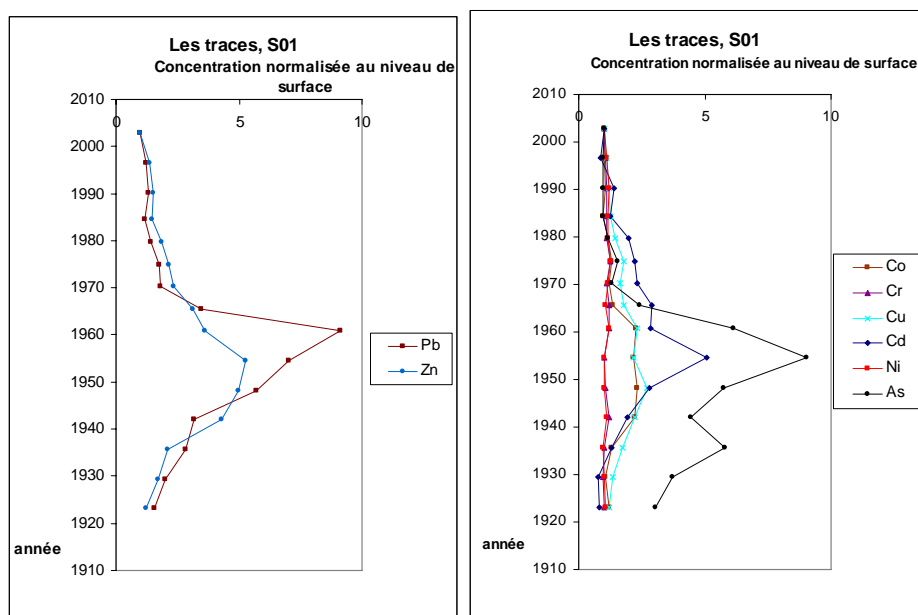


Fig. 9 – Pb et Zn éléments normalisés à la valeur actuelle

Pb et Zn

Co, Cr, Cu, Cd, Ni, As

L'enrichissement en Pb et en As atteint un facteur 10 dans les années 1950-1960, et est de l'ordre de 5 pour le Zn et le Cd. Les enrichissements du Cu et du Co semblent évoluer de façon analogue, et sont voisins de 2 entre 1940 et 1965.

### 2.3. Discussion

L'interprétation de ces résultats sur la base de données historiques relatives à l'évolution industrielle dans le bassin de l'Oise au cours des 50 dernières années est en cours. Toutefois, on peut déjà faire des remarques d'ordre général, notamment en ce qui concerne les concentrations en éléments métalliques majeurs obtenues aux différents niveaux des carottes PF01 et S01. Malgré des fluctuations notables des éléments calcium, fer et aluminium dans les années 1950-1960, les valeurs de leurs concentrations restent comparables aux valeurs de bruit de fond dans les sédiments (Meybeck, « la Seine en son bassin », p.368). Il est possible que les enrichissements observés témoignent de crues importantes de l'Oise dans ces années là, amenant sur les deux sites de grandes quantités de produits issus des nombreuses gravières situées en amont de Chauny.

Par ailleurs, les teneurs en Cr, Ni et Co sont relativement constantes sur les deux sites, proches également du bruit de fond sédimentaire.

Les profils en éléments trace ne montre pas d'évènement particulier dans PF01; on observe simplement une décroissance globale entre la surface et le fond, probablement représentative d'une sédimentation irrégulière.

En ce qui concerne S01, les métaux lourds, Pb, Zn, Cd, Cu et As sont enrichis pendant la période 1940-1975, et leurs concentrations diminuent progressivement dans les périodes récentes, conséquence de législations nouvelles mises en place dans les années 90 visant à l'amélioration de la qualité des eaux, telles que par exemple la diminution des rejets industriels ou l'abandon du Pb comme additif dans l'essence. Le cadmium et le cuivre sont traditionnellement associés à l'agriculture, le plomb et l'arsenic sont d'origine industrielle, le Zn provient principalement de la corrosion des surfaces métalliques de toitures ou gouttières, les villes de la vallée de l'Oise ayant bien souvent un

caractère historique. La pollution en arsenic est remarquable dans S01, la valeur maximale atteint 115 µg/g par rapport à 40µg/g observée dans PF01.

### 3. Conclusions et perspectives

Cette étude confirme l'importance du choix du site de prélèvement : une surface étendue, dégagée, proche du lit de la rivière, et régulièrement inondée est préférable aux berges rapprochées. Seule la carotte S01 présente une sédimentation régulière et pas trop rapide, susceptible d'apporter une information historique sur la pollution de la rivière. Notre prochain objectif est de confirmer ces résultats par l'étude de la deuxième carotte prélevée au voisinage de S01.

Il semble que les niveaux sédimentaires de ces carottes (S01 et sans doute S02) ne remontent pas au-delà de 50 ans de sédimentation, ce qui ne nous permet pas de mettre en évidence de nouveaux marqueurs temporels, caractéristiques d'époques plus anciennes que celles données par les marqueurs radioactifs. Faut-il chercher d'autres sites ?, encore en amont, car toute la zone autour de Chauny semble très perturbée par l'implantation de gravières.

Enfin il reste à préciser les corrélations entre enrichissements métalliques et contexte industriel au cours des 50 dernières années. L'observation de pics de pollution vers les années 1960 pourrait correspondre à une reprise de l'activité industrielle, ralentie pendant la dernière guerre puisqu'on n'observe aucun enrichissement pendant ces années-là.

### 4. Bibliographie

- BONTE PH., LE CLOAREC M.-F., SORNEIN M.-O., LEFEVRE I., TESSIER L., DESALLE TH., MOUCHEL J.-M., AYRAULT S., Enregistrement sédimentaire de la contamination métallique, Rapport PIREN-Seine « Mécanismes des émissions et transferts de micropolluants », 21 pp., <http://www.sisyphe.jussieu.fr/internet/piren/>, 2003.
- LE CLOAREC M.-F., BONTE P., TRAN N. D., BERNOLLIN A., DESALLE T., LEFEVRE I., AYRAULT S., MOUCHEL J.-M., LESTEL L., Enregistrement sédimentaire de la contamination métallique, comparaison de l'évolution dans le temps des teneurs en Pb, Cu et Cd en Seine-aval (pollution industrielle, agricole et urbaine) et Seine –amont (pollution agricole), Rapport PIREN-Seine « Transferts des contaminants », 18 pp., <http://www.sisyphe.jussieu.fr/internet/piren/>, 2004.
- THEVENOT D., MEYBECK M., CHESTERIKOV A., CHEVREUIL M., “La Seine en son bassin”, ed. Meybeck, De Marsily, Fustec, Elsevier, 1998, pp 391-437.
- TRAN N. D., rapport de DEA STE, Evolution des teneurs en contaminants métalliques dans les sédiments du bassin de l'Oise au cours des 5 à 100 dernières années, juin 2005.



Tableau 1 – résultats des analyses effectuées en spectrométrie gamma

**Carotte PF01**

prof. cm	K %	Ra-228 Bq kg <sup>-1</sup>	Th-228 Bq kg <sup>-1</sup>	Ra-226 Bq kg <sup>-1</sup>	Pb-210 Bq kg <sup>-1</sup>	Pb-210xs Bq kg <sup>-1</sup>	Cs-137 Bq kg <sup>-1</sup>
0	1.3	28.5	30.5	31.8	155.4	123.8	6.8
2	1.3	29.1	33.5	54.1	133.7	81.1	7.2
4	1.4	32.1	32.2	53.7	116.8	63.3	5.7
6	1.4	31.7	33.8	28.8	98.0	69.3	8.1
8	1.0	27.9	28.4	38.7	57.0	18.4	9.4
10	1.0	28.0	27.7	26.8	53.6	26.8	10.1
12	1.3	31.2	33.0	32.8	60.4	27.7	19.5
14	1.3	29.4	32.4	33.0	79.3	46.4	20.5
16	1.2	30.5	31.5	29.6	56.6	27.0	4.6
18	1.3	33.8	32.4	50.2	64.0	13.8	3.7
20	1.2	27.0	30.0	33.4	51.2	18.1	3.1
22	1.3	32.5	32.1	42.8	41.4	0.0	3.1
24	1.2	30.8	30.9	32.8	38.4	0.0	1.4
26	1.3	30.4	34.5	35.9	47.9	0.0	0.0
28	1.3	32.6	33.3	31.8	43.4	0.0	1.8
30	1.2	27.0	27.2	29.2	33.0	0.0	1.2
32	1.2	29.5	31.8	40.6	33.9	0.0	0.0
34	1.2	27.8	29.6	30.9	33.8	0.0	0.0
36	1.1	28.2	27.3	28.6	30.9	0.0	0.0
38	1.1	25.3	24.6	27.6	25.3	0.0	0.0
40	1.3	30.9	31.1	32.8	37.9	0.0	0.0
42	1.3	28.2	29.6	25.3	27.4	0.0	0.0

**Carotte S01**

prof. cm	K %	Ra-228 Bq kg <sup>-1</sup>	Th-228 Bq kg <sup>-1</sup>	Ra-226 Bq kg <sup>-1</sup>	Pb-210 Bq kg <sup>-1</sup>	Pb-210xs Bq kg <sup>-1</sup>	Cs-137 Bq kg <sup>-1</sup>
0	1.4	32.3	31.6	34.1	58.7	24.6	5.0
2	1.3	31.7	31.5	28.9	56.3	27.5	4.7
4	1.3	31.5	32.9	33.9	56.3	22.4	5.0
6	1.4	33.3	32.5	26.8	49.9	23.2	4.8
8	1.3	30.1	32.3	27.8	46.0	18.3	6.1
10	1.4	31.8	31.4	28.4	46.0	17.6	5.8
12	1.3	31.0	31.3	29.0	38.7	0.0	8.0
14	1.3	32.6	30.0	26.3	44.6	18.3	8.4
16	1.4	31.9	31.1	32.6	44.8	12.1	11.0
18	1.3	31.5	31.1	26.5	39.2	12.8	11.7
20	1.3	30.2	30.1	26.2	44.3	18.2	11.4
22	1.3	29.5	29.9	28.0	41.6	13.6	8.9
24	1.2	30.1	29.4	25.2	40.7	15.5	6.3
26	1.3	31.8	30.7	25.7	39.7	14.0	6.4
28	1.2	31.8	31.3	30.4	52.2	21.8	7.3
30	1.3	31.7	32.6	27.9	42.1	14.2	7.7
32	1.3	33.6	31.5	24.9	43.4	18.6	8.6
34	1.4	33.0	32.4	28.4	47.2	18.9	10.2
36	1.2	34.0	30.9	26.4	45.5	19.1	10.9
38	1.3	31.7	30.9	25.9	41.3	15.4	11.7
40	1.3	30.0	28.3	27.1	37.8	10.6	14.5
42	1.4	30.0	30.1	27.9	45.3	17.4	19.7
44	1.3	29.8	28.7	24.7	45.4	20.8	27.3
46	1.3	28.6	28.8	25.9	41.7	15.9	28.9
48	1.3	29.9	29.3	26.5	42.1	15.7	22.5
50	1.3	29.2	29.5	30.8	37.7	0.0	9.1
52	1.3	30.8	28.6	30.3	41.5	11.2	4.7
54	1.3	29.4	29.2	26.2	34.3	0.0	1.7
56	1.4	35.1	30.6	29.3	40.6	0.0	0.0
58	1.3	31.7	31.7	25.5	33.9	8.5	0.0
60	1.4	34.5	33.0	27.4	37.9	10.5	0.0
70	1.2	27.9	27.9	22.4	33.6	11.2	0.0
80	1.0	22.6	23.2	20.2	23.1	0.0	0.0
90	1.1	26.0	26.6	22.7	30.6	0.0	0.0
98	1.2	29.7	30.6	29.1	24.9	0.0	0.0

*Tableau 2a – PF01, mesures par AAN*

prof. cm	K %	Ca %	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Sc mg kg <sup>-1</sup>	Cr mg kg <sup>-1</sup>	Co mg kg <sup>-1</sup>	Zn mg kg <sup>-1</sup>	As mg kg <sup>-1</sup>
0	9950	24400	30000	6.8	61	10.8	383	33
6	9840	25100	17900	5.9	61	7.0	234	13
10	10300	30400	15700	5.5	57	6.1	178	9
14	12500	48500	21300	7.3	69	8.7	224	14
18	11200	62100	26809	7.3	67	10.1	236	23
24	11500	56400	25900	7.5	72	10.1	177	19
32	10600	31600	18800	5.8	62	7.9	96	22
40	11500	41300	24500	7.3	67	9.5	116	35

Tableau 2b – PF01, mesures par SAA

prof. cm	Pb %	Cu %	Cd mg kg <sup>-1</sup>
0	86.9	71.8	3.04
6	63.0	84.7	2.15
10	49.2	40.8	0.93
14	75.8	53.1	2.02
18	67.5	80.1	1.70
24	70.7	43.6	0.99
32	91.4	22.3	0.41
40	79.7	18.9	0.39

Tableau 3 – S01 traces, mesures par SAA et ICP-AES

	Prof. cm	Cd mg kg <sup>-1</sup>	Co mg kg <sup>-1</sup>	Cr mg kg <sup>-1</sup>	Cu mg kg <sup>-1</sup>	Ni mg kg <sup>-1</sup>	Pb mg kg <sup>-1</sup>	Zn mg kg <sup>-1</sup>
souflet 2 (µg/g)	3	0.7	9.5	62	26	28	36	108
souflet 5	9	0.6	9.6	65	29	30	43	147
souflet 8	15	0.9	9.8	67	31	32	45	155
souflet 11	21	0.8	8.8	65	32	30	40	149
souflet 14	27	1.4	11.2	72	38	33	52	205
souflet 17	33	1.5	12.7	79	48	36	64	234
souflet 20	39	1.7	12.6	75	47	35	73	276
souflet 23	45	2.0	13.3	79	49	31	132	353
souflet 26	51	2.0	22.4	76	62	34	342	402
souflet 30	59	3.8	23.2	72	64	31	284	634
souflet 34	67	1.8	21.2	64	67	27	198	511
souflet 38	75	1.0	16.5	59	45	24	89	358
souflet 42	83	0.7	9.5	48	35	21	80	175
souflet 46	91	0.5	8.8	53	31	24	63	158
souflet 50	99	0.5	10.8	58	29	28	53	123
Std IAEA SL1		0.4	19.4	108	37	48	42	
Valeur attendue pour SL1		0.3	19.8	104	30	45	38	

Tableau 4a – carotte S01 - Mesures par ICP-AES

Prof. cm	Al g kg <sup>-1</sup>	Fe g kg <sup>-1</sup>	Ca g kg <sup>-1</sup>	K g kg <sup>-1</sup>	Mg g kg <sup>-1</sup>	Ti g kg <sup>-1</sup>
3	55.03	30.10	57.59	18.69	4.99	3.11
9	55.08	29.62	59.57	19.22	4.99	3.08
15	55.43	30.42	55.24	18.96	5.25	3.24
21	52.82	29.01	54.47	18.69	4.79	3.00
27	53.24	30.63	58.64	17.03	4.90	3.07
33	55.80	33.38	61.22	18.44	5.35	3.15
39	53.15	34.71	54.19	17.85	4.96	2.68
45	51.98	38.53	67.26	16.63	4.85	2.55
51	56.24	37.81	76.72	18.79	5.39	3.09
59	54.80	35.52	62.00	18.05	5.15	2.86
67	50.39	34.69	64.12	16.15	4.78	2.62
75	39.62	28.14	55.70	14.32	3.83	2.06
83	37.80	27.54	54.10	14.35	3.84	2.00
91	43.63	28.24	55.56	15.16	4.19	2.29
99	49.81	30.51	64.01	16.93	4.57	2.44

Tableau 4b – carotte S01 - Mesures par AAN

Prof. cm	K mg kg <sup>-1</sup>	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Ca mg kg <sup>-1</sup>	Cr mg kg <sup>-1</sup>	Co mg kg <sup>-1</sup>	Zn mg kg <sup>-1</sup>	As mg kg <sup>-1</sup>	Sc mg kg <sup>-1</sup>
3	14000	28800	41900	96	11.0	159	11.4	8.6
9	14800	28400	40000	103	11.4	180	10.9	8.5
15	13600	26800	35200	101	10.1	198	10.5	8.2
21	14000	26600	37600	90	10.3	211	10.4	8.2
27	14300	30800	41500	105	12.3	315	13.7	8.8
33	14100	31700	42400	101	12.5	325	18	8.7
39	14000	35900	33600	109	13.6	344	16.6	9.5
45	13300	38700	55400	109	14.6	517	29	9.0
51	13800	41700	42800	100	21.1	528	72	8.9
59	15700	36200	51100	109	24.5	724	115	9.6
67	12900	32800	47100	88	20.8	547	62	8.2
75	11100	27700	44800	75	14.8	406	39	6.7
83	10300	27800	44800	69	10.9	187	51	6.6
91	12900	28300	43600	73	10.2	91	37	7.5
99	12600	28700	45800	80	11.2	124	32	8.1