

Évaluation de la pollution métallique des sédiments dans les ports du littoral de Loire-Atlantique

Daniel ROBBE

Docteur en océanographie
Responsable de la cellule Qualité des eaux
Service maritime et de navigation de Nantes

RÉSUMÉ

Depuis vingt-cinq ans, de nombreux auteurs ont proposé des méthodes d'interprétation concernant l'analyse des micropolluants métalliques dans les sédiments. Cependant, peu d'entre eux se sont attachés à élaborer des outils permettant de savoir si un matériau est, ou non, contaminé.

Jusqu'en 1989, peu de documents permettaient d'apprécier si un sédiment était ou non contaminé, c'est pourquoi la publication de la grille du Groupe d'Études Opérations de Dragage et Environnement (GEODE), proche d'un statut normatif, a représenté une avancée décisive.

À partir de campagnes systématiques d'analyses de sédiments réalisées dans le cadre d'un réseau de surveillance des ports du littoral d'un département, l'article tente de montrer, à l'heure où se mettent en place des valeurs de référence (grille GEODE) :

- le peu d'informations obtenues, qui résultent d'une simple comparaison des résultats par rapport à de telles valeurs de référence,
- *a contrario*, la richesse d'informations que procure une exploitation multiple sur un même lot d'échantillons à l'aide d'un panel de méthodes basées sur des concepts différents.

MOTS CLÉS : Pollution - Métal - Sol - Sédiment - Évaluation - Port - France - Méthode - Analyse (physicochim.) - Micro - Polluant - Surveillance - Échantillon (matér.) - // Loire-Atlantique.

Introduction

Il a été largement démontré, depuis les années 1970, qu'il y avait tout intérêt à analyser les micropolluants métalliques dans les sédiments plutôt que dans l'eau, en raison du rôle de « mémoire » que joue ce support vis-à-vis des pollutions.

Les différentes publications existantes s'attachent à préciser les méthodes permettant de comparer les résultats entre eux :

- > analyse sur une même classe granulométrique (De Groot, 1973),
- > corrections granulométriques (Thomas et *al.*, 1977),
- > correction selon la composition du sédiment (Jaquet et *al.*, 1978),
- > normalisation par rapport à un élément constitutif du matériau (Boust, 1981 ; Salomons, 1981),
- > recherches de corrélations entre les polluants et un élément constitutif du matériau (Etcheber et *al.*, 1977 ; Robbe, 1984),

plutôt que de proposer une approche permettant de préciser si le matériau doit être considéré ou non comme contaminé.

Peu de documents permettaient d'apprécier si un sédiment était ou non contaminé, excepté quelques approches par comparaison avec des échantillons moyens obtenus à l'échelle mondiale (Martin et Meybeck, 1979). C'est pourquoi la publication de la grille GEODE (Groupe d'Études Opérations de Dragage et Environnement) a représenté une avancée décisive en la matière, dans la mesure où elle est maintenant reconnue au niveau national et pas trop éloignée d'obtenir un statut normatif.

Toutefois, l'utilisation sans esprit critique d'une telle grille peut parfois être insuffisante et même conduire à des erreurs d'interprétation. Ainsi, la présente étude, basée sur des analyses de routine réalisées par un service chargé du contrôle de la qualité du milieu aquatique, tente de montrer :

- l'appauvrissement de l'information que génère une interprétation selon une seule méthode,
- quelques biais introduits par différentes méthodes,
- l'intérêt que présente une interprétation des résultats selon plusieurs méthodes.

Description du réseau de suivi

Des analyses de micropolluants contenus dans les sédiments des ports de Loire-Atlantique sont réalisées par la cellule Qualité des eaux du Service Maritime et de Navigation depuis 1989. Nous avons ainsi accumulé environ soixante-dix analyses (tableau I), auxquelles s'ajoutent trente-six analyses effectuées en zone ouverte.

Les analyses des micropolluants métalliques ont toujours été exécutées par un laboratoire agréé, après minéralisation dite « totale » faite selon le protocole défini par la norme **NF X 31-151**.

Ces analyses portent généralement sur :

- les micropolluants suivants : cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, étain et zinc,
- les caractéristiques du sédiment indispensables à l'interprétation des résultats : granulométrie, teneurs en carbone organique et en aluminium.

Ces analyses sont réalisées sur la fraction du sédiment inférieure à 2 mm (norme **NF X 31-150**). Dans les ports et l'estuaire de la Loire, cela représente généralement la totalité du matériau prélevé.

Concentrations en éléments métalliques observées

Les principales données statistiques relatives aux concentrations observées sont reportées dans le tableau II. Excepté pour le cuivre, il n'existe pas d'écart important entre la moyenne et la médiane. Ceci signifie qu'à l'exception du cuivre, il n'y a pas, ou seulement peu, d'échantillon(s) très contaminé(s) qui augmente(nt) fortement la moyenne.

La comparaison des médianes obtenues à partir de nos échantillons aux valeurs des médianes déterminées par l'analyse des déblais de dragage sur le littoral français de 1986 à 1988 montre une bonne homogénéité des résultats (tableau III).

TABLEAU I
Prélèvements effectués dans les ports de Loire-Atlantique

Site	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Port de pêche et de plaisance de Piriac-sur-Mer	●	●	●	●		●	●
Port de pêche de La Turballe	●	●	●	●		●	●
Port de plaisance de La Turballe		●		●		●	●
Port de pêche du Croisic			●				
Port de pêche du Croisic (Élevateur)	●	●	●	●		●	●
Port de plaisance du Croisic	●	●	●	●		●	●
Port de plaisance de La Baule/Le Pouliguen	●	●	●	●		●	●
Port de plaisance de Pornichet	●		●	●		●	●
Port de Saint-Nazaire (bassin de Penhoët)						●	
Port de Saint-Nazaire (Forme Joubert)						●	
Avant-port de Saint-Nazaire					●		
Port de Comberge à Saint-Michel-Chef-Chef		●		●		●	●
Port de plaisance de La Gravette à La Plaine-sur-Mer	●						
Port de pêche de Pornic	●		●			●	
Port de plaisance de Pornic (Anse aux Lapins)	●			●		●	●
Port de plaisance de Pornic (Noëveillard)	●		●	●		●	●

Plusieurs analyses peuvent être réalisées sur un port au cours d'une même année, notamment lorsqu'une opération de dragage est programmée.

TABLEAU II
Principaux résultats statistiques obtenus pour les sédiments de Loire-Atlantique (1989-1995)
Concentrations exprimées en mg/kg de sédiment sec

Élément métallique	Nombre d'échantillons	Moyenne	Médiane	Minimum	Quartile inférieur	Quartile supérieur	Maximum
Arsenic	14	22	20,5	13	18	27	32
Cadmium	94	0,39	0,32	0,10	0,20	0,50	1,3
Chrome	36	67	67	30	58	76	100
Cuivre	94	50	27	7	21	45	670
Mercure	94	0,108	0,097	0,01	0,070	0,120	0,520
Nickel	37	24	25	10	20	27	35
Plomb	94	58	60	20	45	68	110
Étain	83	8,9	8,5	2	6	11	19
Zinc	94	162	150	8	110	177	540

TABLEAU III
Médianes des teneurs (mg/kg) déterminées à partir des résultats obtenus pour les sédiments prélevés de 1986 à 1988 sur l'ensemble du littoral français et de 1989 à 1995 sur les sédiments de Loire-Atlantique

Élément métallique	Médianes des teneurs (mg/kg)	
	Sédiments prélevés de 1986 à 1988 (ensemble du littoral français)	Sédiments prélevés de 1989 à 1995 (Loire-Atlantique)
Arsenic	15	20,5
Cadmium	0,60	0,32
Cuivre	24	27
Chrome	49	67
Mercure	0,200	0,097
Nickel	24	25
Plomb	54	60
Zinc	155	150
Étain	non déterminé	8,5

TABLEAU IV
Nombre de dépassements observés sur les échantillons de sédiment de Loire-Atlantique par rapport aux seuils de la grille GEODE

Élément métallique	Médiane des teneurs (mg/kg)	Niveau 1				Niveau 2		
		Seuil (mg/kg)	Nombre de dépassements		Seuil (mg/kg)	Nombre de dépassements		
			Ports	Zones ouvertes		Ports	Zones ouvertes	
Mercure	0,2	0,4	1/63	0/31	0,8	0/63	0/31	
Cadmium	0,6	1,2	2/63	0/31	2,4	0/63	0/31	
Arsenic	12,5	25	0/1	4/13	50	0/1	0/13	
Plomb	50	100	2/63	0/31	200	0/63	0/31	
Chrome	45	90	1/23	0/13	180	0/23	0/13	
Cuivre	22,5	45	13/63	0/31	90	11/63	0/31	
Zinc	138	276	8/63	0/31	552	0/63	0/31	
Nickel	18,5	37	0/24	0/13	74	0/24	0/13	

Seuil de niveau 1 : deux fois la médiane - Seuil de niveau 2 : quatre fois la médiane.

Les seules différences significatives concernent le cadmium et le mercure, pour lesquels on constate des teneurs deux fois plus faibles.

Les teneurs en éléments métalliques risquent d'être à l'origine de problèmes de toxicité lors des opérations de dragage. Aussi, une réflexion a été menée, à l'initiative du groupe GEODE, afin que la France puisse présenter dans les instances internationales compétentes, pour chacun des éléments métalliques majeurs (mercure, cadmium, arsenic, plomb, chrome, cuivre, zinc et nickel) ainsi que pour les poly-chlorobiphenyls (PCB), des niveaux de référence et des valeurs plafonds permettant de situer de manière objective la qualité des matériaux à draguer. Le seuil inférieur a été défini afin d'éliminer tout risque de contamination lors des opérations de dragage (Massin, 1996 ; Sironneau *et al.*, 1996).

Il a été procédé, à cet effet, à la saisie et au traitement statistique de la majeure partie des analyses de sédiments disponibles (60 % environ provenaient des grands ports et 40 % des ports de plaisance et de divers ports secondaires) portant sur la période 1986-1993 et concernant l'ensemble des côtes françaises (Latouche, 1991).

Deux niveaux de référence ont été définis de façon provisoire :

- un premier niveau (niveau 1) comprenant les valeurs au-dessous desquelles l'immersion serait autorisée sans étude particulière ;
- un second niveau (niveau 2) correspondant aux teneurs au-delà desquelles l'immersion serait susceptible d'être interdite sous réserve que les autres modes d'élimination des matériaux de dragage soient moins dommageables pour l'environnement.

Entre ces deux niveaux, une étude plus approfondie pourrait être nécessaire.

Il est donc intéressant de situer les résultats obtenus en Loire-Atlantique par rapport aux seuils de cette grille d'appréciation, sachant que le niveau 1 représente deux fois la médiane, et le niveau 2 quatre fois la médiane (tableau IV).

D'après le tableau IV, il semble exister dans le département un léger problème pour le zinc, et plus important pour le cuivre, tandis que les autres éléments ne présentent pas d'enrichissement appréciable par rapport à cette grille. Ces problèmes sont essentiellement localisés au Croisic et à La Turballe.

Malgré l'existence d'une source de contamination importante dans l'estuaire de la Loire, il n'apparaît curieusement rien en ce qui concerne le plomb.

Analyse statistique des résultats

Lorsqu'il n'est pas possible d'exploiter les résultats par rapport aux paramètres constitutifs du sédiment, il est intéressant de classer les résultats par ordre de valeurs croissantes sur un graphique gaussio-arithmétique. Un tel mode de représentation met rapidement en évidence deux lots d'échantillons : l'un s'aligne sur une droite (droite de Henry) ; l'autre s'éloigne sensiblement de cette droite. Les premiers, répondant à une loi gaussienne, correspondent aux « teneurs naturelles », alors que les points qui s'éloignent de la droite correspondent à des échantillons contaminés (Robbe, 1989).

On peut donc déduire d'une telle exploitation :

- un taux naturel maximal observé (T0) correspondant au point de décrochage et un taux naturel maximal théorique (TF) correspondant à une fréquence cumulée de 100 %, appréciée par extrapolation,
- une mise en évidence des sites et échantillons pollués,
- une évaluation de l'état de pollution de l'ensemble des sites étudiés : un échantillon non contaminé se situe sur la droite de Henry quelle que soit sa granulométrie ; un décalage des points par rapport à la droite, au-delà des limites statistiquement acceptables (95 %), traduit un enrichissement anormal, donc une pollution.

À partir de ces graphiques, il est possible de calculer les valeurs de référence (fond continu régional) en admettant par hypothèse qu'elles correspondent à la limite statistiquement acceptable, soit 95 %.

Cette méthode a été appliquée dès 1989 aux déblais de dragage français (Robbe, 1989) et a, par la suite, été utilisée dans le cadre des réflexions menées par le groupe GEODE (Latouche, 1991).

L'exemple du cuivre est donné sur la figure 1.

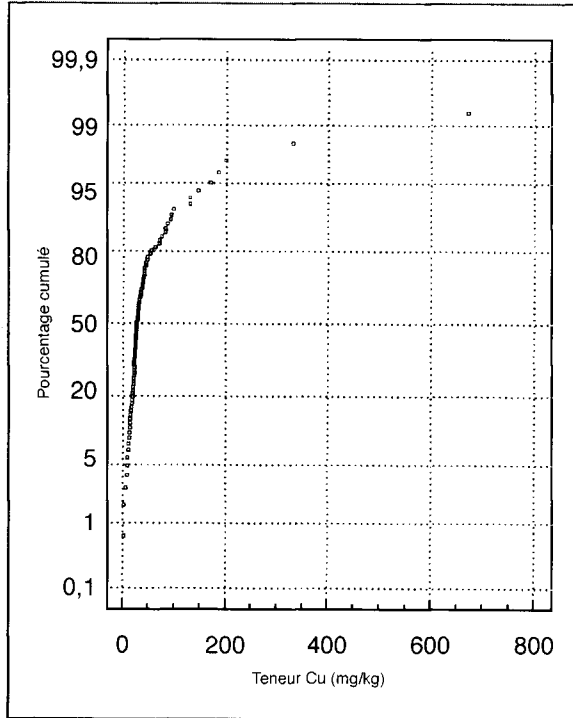
Les résultats obtenus pour les différents éléments métalliques ne présentent pas les mêmes caractéristiques. Ainsi, les résultats concernant le plomb (fig. 2) ne font apparaître pratiquement aucun enrichissement, ce qui, *a priori*, corrobore l'analyse précédente.

Les principaux résultats sont reportés dans le tableau V.

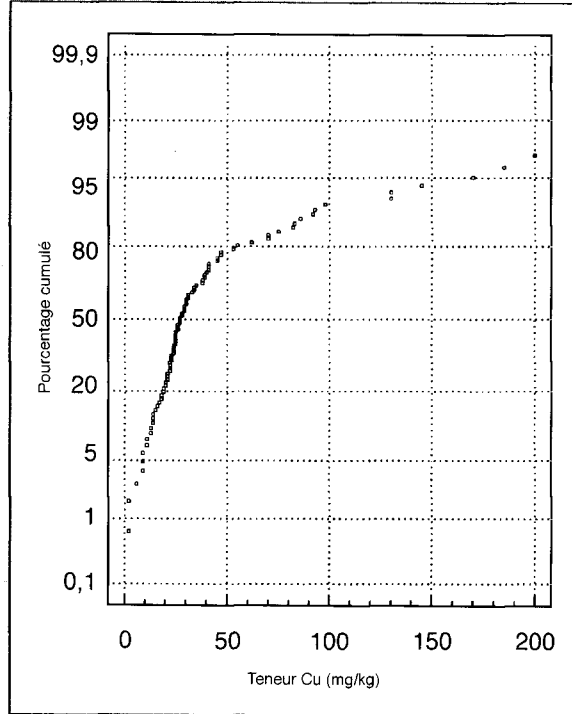
Il apparaît clairement qu'il existe un enrichissement plus ou moins fort de certains échantillons en cadmium, cuivre, mercure, étain et zinc. Par contre, cette méthode ne fait apparaître aucun enrichissement en chrome, nickel et plomb. La situation se comprend aisément pour le chrome et le nickel, qui ne peuvent être dus qu'à des origines industrielles spécifiques (tannerie, papeterie, industrie métallurgique) à peu près inexistantes dans la région étudiée.

Droites de Henry

Fig. 1 - Cuivre



Totalité des échantillons.



Même courbe après élimination des échantillons supérieurs à 200 mg/kg de cuivre.

Fig. 2 - Plomb

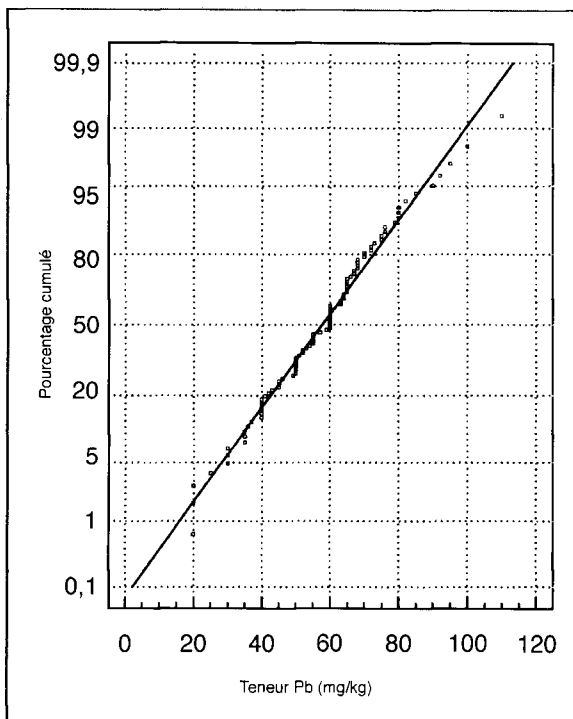


TABLEAU V
Principaux résultats obtenus

Élément métallique	Existence point inflexion	Médiane (mg/kg)	Teneur maximale « normale » à 95 %
Cadmium	oui	0,32	0,43
Chrome	non	67	89
Cuivre	oui	27	44
Mercure	oui	0,097	0,155
Nickel	non	25	33
Plomb	non	60	85
Étain	oui	8,5	14,5
Zinc	oui	150	220

Par contre, en ce qui concerne le plomb, il est de notoriété qu'un très gros rejet industriel situé sur l'estuaire de la Loire est à l'origine d'apports notables. Il est donc probable que l'ensemble des sédiments de la région soit influencé par cet apport et qu'il n'existe pas, en revanche, d'autres rejets significatifs. Une telle hypothèse est confortée, d'une part, par le fait que la médiane en plomb observée en Loire-Atlantique est élevée par rapport aux standards communément admis et, d'autre part, parce que la médiane déterminée par le groupe GEODE est certainement surestimée dans la mesure où le poids des échantillons provenant de Loire-Atlantique est exagéré dans cet échantillonnage : 55 échantillons sur 236, soit 23,3%.

Ceci explique probablement que la médiane déterminée à partir des échantillons de Loire-Atlantique soit proche de celle établie par le groupe GEODE.

Évaluation de la contamination de certains échantillons

Il a été largement démontré que divers sédiments soumis à un même flux polluant retiennent différemment ces polluants en fonction de la taille

des particules constituant ces matériaux, de leur contenu en argile et de leur contenu en matière organique. Afin de comparer entre eux différents échantillons, il est d'usage de rapporter la teneur en polluant à celle des paramètres dits « de normalisation ». Dans cette optique, le GCCSC (Groupe Conjoint sur le Contrôle et la Surveillance Continu de la convention d'Oslo) a recommandé, dans ses lignes directrices, d'utiliser la granulométrie, le carbone organique et l'aluminium.

Cette technique a été appliquée aux échantillons de Loire-Atlantique. L'exemple du zinc exploité par rapport à l'aluminium est donné sur la figure 3.

Sur cette figure, quatre sites se distinguent, avec :

- une forte contamination des sédiments du port de pêche de La Turballe,
- une légère contamination des sédiments des ports de plaisance de La Turballe et du Croisic et du bassin de Penhoët à Saint-Nazaire.

Cette exploitation a permis de mettre en évidence les contaminations indiquées dans le tableau VI.

Il est à noter qu'aucune contamination n'a été observée dans les ports de Piriac, Pornichet et Pornic (Anse aux Lapins et La Noëveillard) depuis qu'ils sont contrôlés.

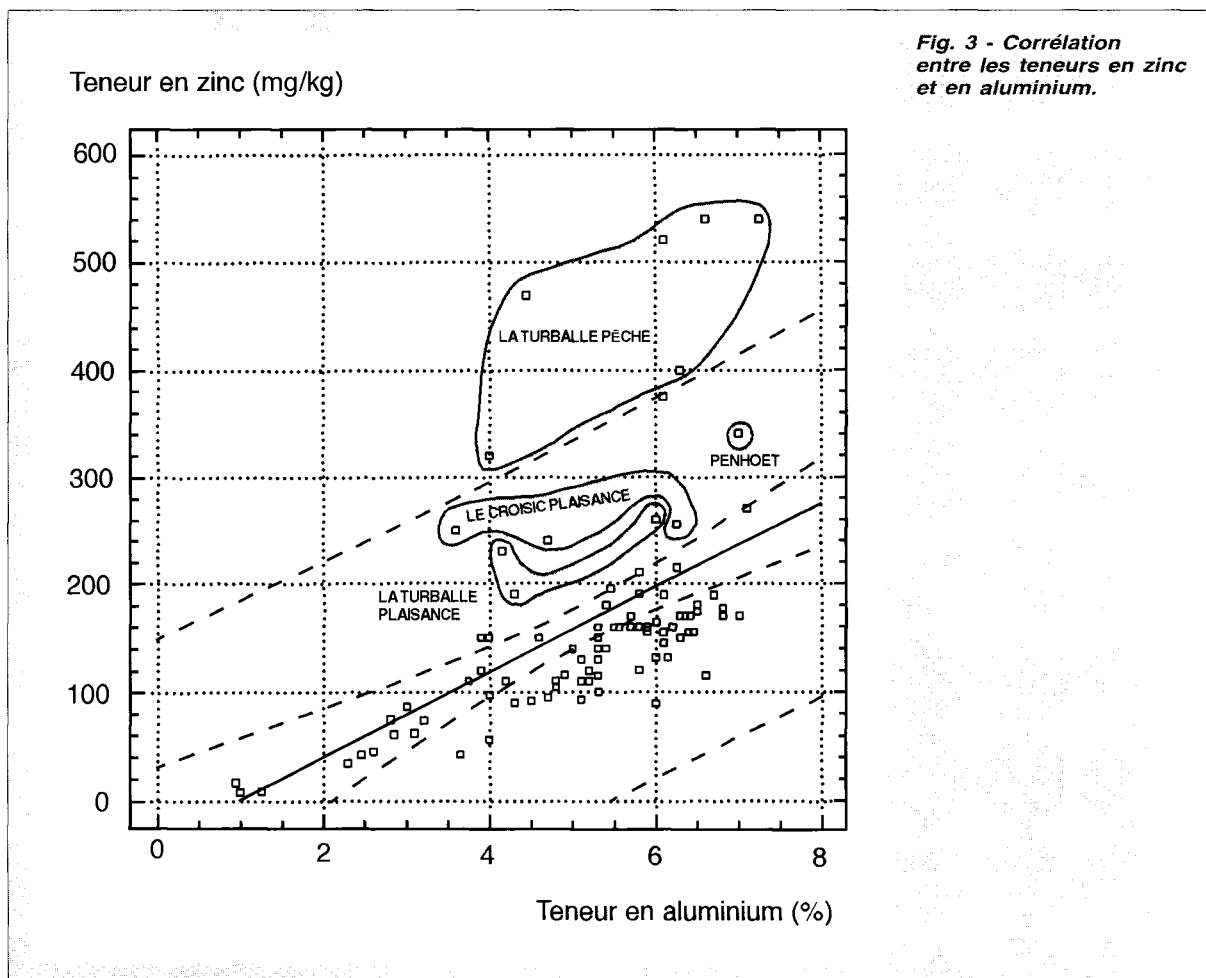


Fig. 3 - Corrélation entre les teneurs en zinc et en aluminium.

TABLEAU VI
Périodes de mesures où des contaminations ont été observées dans les sédiments

Site	Cadmium	Chrome	Cuivre	Mercure	Nickel	Plomb	Étain	Zinc
PORTS								
Port de Piriac-sur-Mer								
Port de pêche de La Turballe	1989-1990 1992-1994 1995		1989-1990 1991-1992 1994-1995				1989-1990	1989-1990 1991-1992 1994-1995
Port de plaisance de La Turballe	1990-1992			1990-1992			1989-1990	1989-1990 1991-1992 1994-1995
Port de pêche du Croisic	1991		1991					
Port de pêche du Croisic (Élévateur)			1989-1991			1991	1990	1991
Port de plaisance du Croisic	1990-1991 1992		1991 1992-1994			1989-1992		1990-1991 1992
Port de plaisance de La Baule	1990-1991							
Port de plaisance de Pornichet								
Port de Saint-Nazaire (1) (bassin de Penhoët)	1994		1994	1994				1994
Avant-port de Saint-Nazaire (1)				1993				
Port de Comberge à Saint-Michel- Chef-Chef				1990				
Port de pêche de Pornic				1989-1991				
Port de plaisance de Pornic (Anse aux Lapins)								
Port de plaisance de Pornic (La Noëveillard)								
ZONES OUVERTES								
Quartier Martin à Saint-Nazaire				1990		1990	1990	
Rade de Saint-Nazaire				1994				
Chenal de la Pierre à Pornic	1991							

(1) Port ayant fait l'objet d'une seule campagne de prélèvements.

Évolution des teneurs observées dans les différents ports

Dans l'ensemble, on note sur la période considérée (1989-1995) une assez grande stabilité sans aucune dégradation mais, au contraire, avec deux améliorations notables.

• **La première concerne le mercure.** Si l'on ne tient pas compte du port de Saint-Nazaire, les données obtenues de 1989 à 1991 varient de 0,06 à 0,23 mg/kg avec une moyenne de 0,134, alors que, de 1992 à 1995, les teneurs observées varient de 0,01 à 0,12 avec une moyenne de 0,076 mg/kg.

Le phénomène semblant général, nous avons contacté le laboratoire d'analyses, qui a précisé ne pas avoir modifié ses pratiques analytiques

depuis 1989. Une interférence analytique étant exclue, il faut admettre que les apports ont globalement diminué.

Cette diminution générale est sensible de La Turballe à Pornic. Ainsi, à Pornic, on notait :

- en 1989
 - 0,195 mg/kg dans le port de pêche,
 - 0,18 mg/kg à l'Anse aux Lapins,
 - 0,145 mg/kg à La Noëveillard ;
- en 1991
 - 0,21 mg/kg dans le port de pêche,
 - 0,16 mg/kg à La Noëveillard ;

alors que, depuis 1992, les plus mauvais résultats obtenus sont de 0,10 mg/kg (Anse aux Lapins en 1994 et 1995 et port de pêche en 1994) et le meilleur de 0,050 mg/kg à La Noëveillard en 1994.

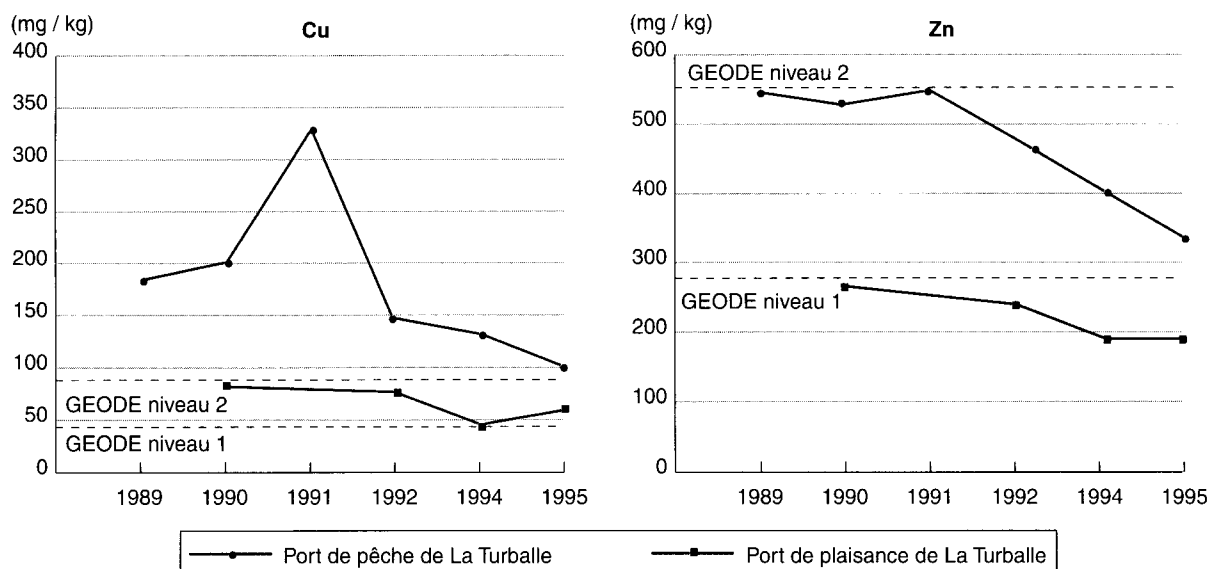


Fig. 4 - Évolution des teneurs observées en cuivre et en zinc dans les sédiments du port de La Turballe.

• **La seconde amélioration concerne le port de La Turballe.** Lors des premiers contrôles, ce port présentait des teneurs élevées, notamment en cuivre et en zinc, éléments pour lesquels le niveau 2 de la grille de GEODE avait été atteint (fig. 4).

Cette diminution peut, au moins en partie, être attribuée à l'amélioration de la gestion des eaux pluviales provenant du chantier naval. Elle est extrêmement intéressante dans la mesure où elle évitera des difficultés lors du renouvellement du permis d'immersion des matériaux issus des dragages de ce port.

Conclusion

L'étude présentée dans cet article a conduit aux conclusions suivantes :

■ l'observation de la distorsion moyennes/médianes a permis de mettre en évidence de sédiments nettement contaminés uniquement en cuivre ;

■ la comparaison des médianes de cette étude par rapport aux médianes de l'étude nationale 1986-1988 n'a permis d'observer que peu d'écarts, sauf une diminution nette pour le cadmium et le mercure ;

■ la comparaison des teneurs observées par rapport aux seuils de la grille GEODE a fait apparaître un léger problème pour le zinc, plus fort pour le cuivre, mais rien pour le plomb malgré l'existence d'une importante source de contamination (localisée sur l'estuaire de la Loire) ;

■ l'examen des droites de Henry a mis en évidence l'existence d'un enrichissement en cadmium, cuivre, mercure, étain et zinc, mais rien pour le chrome, le nickel et le plomb ;

■ enfin, l'évolution des teneurs au cours du temps a fait apparaître une amélioration générale pour le mercure et une amélioration locale à La Turballe, notamment pour le cuivre et le zinc.

Il nous semble qu'un mode unique d'exploitation des résultats ne permet pas d'extraire toute l'information contenue dans de telles analyses. En effet, la grille GEODE présente clairement un biais pour le plomb, biais qui ne peut être éliminé qu'en pondérant régionalement le nombre d'échantillons servant à l'établissement de cette grille. De plus, cette grille ne permet pas de mettre en évidence de faibles contaminations locales (mercure). Une analyse fine de la contamination d'une zone géographique donnée nécessite donc de faire référence à une grille d'appréciation de la qualité basée sur des mesures locales.

Dans l'ensemble, le niveau moyen de contamination exprimé par rapport à la grille GEODE est indiscernable (pour le chrome, le nickel, le mercure, le cadmium et curieusement pour le plomb) ou reste modéré (pour le zinc), sauf pour le cuivre.

Il existe des apports évidents en cadmium, cuivre, mercure, étain et zinc.

Les apports notables du plomb ne peuvent être mis en évidence ni au plan local (ensemble de la zone contaminée), ni par rapport à la grille GEODE (sur représentation de l'estuaire de la Loire dans l'échantillonnage ayant servi à l'établissement de la grille).

Il y a sur le département peu de pollutions élevées (essentiellement cuivre). Quand elles existent, ces fortes pollutions sont très localisées (port de pêche de La Turballe). Lorsque des anomalies ont été constatées, la situation a plutôt tendance à s'améliorer (mercure, à La Turballe), au cours du temps, qu'à se dégrader.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOUST D. (1981), *Les métaux traces dans l'estuaire de la Seine et ses abords*, Thèse de 3e cycle, Université de Caen, 186 pages + annexes.
- ETCHEBER H., JOUANNEAU J.-M., LATOUCHE C. (1977), Méthodologie d'étude de la distribution de quelques oligo-éléments métalliques associés aux sédiments d'un estuaire. Cas de la Gironde, *Rev. Int. Oceanog. Méd.*, **Tome XLVIII**, pp. 91-95.
- FORSTNER U., MULLER G. (1974), *Schwermetalle in flüssen und seen*, Springer-Verlag Ed., 235 pages.
- DE GROOT A.J. (1973), Occurrence and behaviour of heavy metals in river deltas, with special reference to the Rhône and Ems rivers, *North Sea Science*, pp. 308-325.
- JACQUET J.-M., DAVAUD E., VERNET J.-P. (1978), *Impact des rejets des stations d'épuration sur les sédiments côtiers du Léman*, Colloque sur les lacs naturels, Chambéry, 18-21 sept. 1978.
- LATOUCHE C. (1991), *Rapport sur l'analyse des données relatives aux matériaux dragués dans les ports français en 1986-1987 et 1988*, Rapport IGBA-Université de Bordeaux I, 27 pages + annexes.
- MARTIN J.M., MEYBECK M. (1979), Elemental mass balance of material carried by major world rivers, *Marine Chemistry*, **Vol. 7**, pp. 173-206.
- MASSIN J.-M. (1986), *Aspects normatifs et techniques du dragage des ports français*, Document interne, Ministère de l'Environnement, 1996, 19 pages.
- ROBBE D. (1984), *Interprétation des teneurs en éléments métalliques associés aux sédiments*, Rapport des LPC, série Environnement et génie urbain, **EG1**, 149 pages.
- ROBBE D. (1989), *Stratégie d'évaluation. Échelle spatio-temporelle. Relation entre les sites d'immersion et les zones de sédimentation*, in : Actes du séminaire international sur les aspects environnementaux liés aux activités de dragage, 27 nov.-1er déc. 1989, pp. 335-346.
- SALOMONS W. (1981), *Impact of civil engineering on the pathway of heavy metals from river to the Southern North Sea*, in : Proceedings of the international conference « Heavy metal in the environment », Amsterdam, sept. 1981, published by CEP Consultants, pp. 359-362.
- SIRONNEAU J., MASSIN J.-M., BOIZARD P. (1996), Lamy Environnement, *L'eau*, Éd. Lamy SA.
- THOMAS R.L., JACQUET J.M., MUDROCH A. (1977), *Sedimentation processes and associated changes in surface sediment trace metal concentrations in lake St. Clair, 1970-1974*, in : Proceedings of the International Conference on heavy metals in the environment, Toronto, 27-31 oct. 1975, 3 tomes, **T. II**, part. 2, pp. 691-708.

ABSTRACT

Evaluation of metal pollution in the sediments in the coastal ports of the Département of Loire-Atlantique

D. ROBBE

A considerable number of publications deal with

- analysis methods for pollution in sediments
- methods for comparing the results obtained for materials of different types and from different sources.

However few authors have attempted to develop tools which are capable of determining whether or not a material is contaminated.

Concurrent with the creation of reference values (GEODE scale) the author uses systematic sediment analysis campaigns conducted as part of a programme to monitor the coastal ports of one French Département to show the small amount of information which can be obtained by simply comparing results with such reference values and, in contrast, the wealth of information which can be obtained from the same batch of samples with multiple exploitation by applying a number of methods based on different concepts to the same batch of samples.