

UTILISATION D'INDICES POUR L'EVALUATION DE LA QUALITE DES SEDIMENTS : CAS DU BASSIN BOUMERZOUG (ALGERIE)

Leila Sahli

Mohamed El Hadeff El Okki

Fatima-Zohra Afri-Mehennaoui

Laboratoire de Biologie et Environnement, Université Constantine1

Smail Mehennaoui

Laboratoire d'Environnement Santé et Production Animale,
Université Batna-Algérie

Abstract

The objectives of this study are to use different indexes to assess the current pollution status in Boumerzoug basin. Indexes used in this study were Geo-accumulation Index (Igeo), Contamination Factor (CF), Contamination Degree (CD) and Sediment Pollution Index (SPI).

Before, sediment trace metal concentrations (cadmium, chromium, copper, lead, nickel, zinc) have been investigated on surface sediments from permanent wadis of Boumerzoug basin in different seasons (winter, spring, summer and autumn).

Trace metal concentrations followed the order: Zn>Pb>Cr>Cu>Ni>Cd. Indexes used give several status of sediment quality. Igeo, CF, CD and SPI reveal a polymetallic contamination dominated by two or more elements in which Cd, Cu and Pb are of greatest concern. Igeo gives more precision than CF, because it is classified into six classes. SPI has an advantage over the earlier indexes and viewed as a simple summary of the state of the sediment. However, the trace metal assessment indices are not to be used as the only indicator for sediment quality. More detailed analysis such as biological testing and analysis of existing benthic community related to sediment contamination should be performed for a better understanding about the nature, the fate and the toxic effects of contaminants in this ecosystem.

Keywords: Trace metals, indexes, sediment quality

Résumé

Cette étude a porté sur l'évaluation du niveau de contamination par les ETM des sédiments des oueds du bassin Boumerzoug au nord-est algérien. Pour cela, les sédiments superficiels (0-5cm) ont été échantillonnés dans 11 stations en hiver, printemps, été et automne. Nos investigations relatives à l'évaluation du niveau de contamination par les ETM ont porté sur : le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le plomb (Pb) et le zinc (Zn). Afin d'appréhender les objectifs visés, nous nous sommes basé sur le calcul d'indices de contamination/pollution : indice de géoaccumulation (Igeo), Facteur de Contamination (FC), degré de contamination (DC) et indice de pollution sédimentaire (IPS).

Les teneurs en ETM des sédiments enregistrent l'ordre d'abondance suivant : Zn>Pb>Cr>Cu>Ni>Cd. L'indice de géoaccumulation "Igeo", le facteur de contamination "FC" et le degré de contamination "DC" révèlent des contaminations polymétalliques dominées par deux ou plusieurs éléments ; Cd, Cu et Pb étant les plus préoccupants.

L'approche des indices permet de prédire l'ampleur de la pollution des sédiments et d'identifier les sites pollués prioritaires. Néanmoins, les tests d'écotoxicité et l'étude de la structure des communautés benthiques s'avèrent indispensables.

Mots clés: Eléments traces métalliques, indices, qualité des sédiments.

1. Introduction

Pendant longtemps, les hommes se sont peu préoccupés de leur milieu naturel. Le constat aujourd'hui est dramatique en particulier pour les écosystèmes aquatiques. Les contaminants qui atteignent ces milieux constituent toujours un problème environnemental majeur. En effet, la concentration de la plupart de ces contaminants s'élève parfois jusqu'à des niveaux qui sont toxiques pour la vie aquatique tant dans l'eau que dans les sédiments. Les oueds algériens notamment ceux du bassin versant Boumerzoug ont été le réceptacle des eaux usées des agglomérations qui les longent pendant longtemps.

L'évaluation de la pollution par les ETM et l'identification des sources de pollution reposent sur des principes relativement simples de mesure des concentrations, de calcul d'indices et de leur comparaison avec les normes établies qui varient en fonction de la nature de l'élément, de sa toxicité et du milieu récepteur. Les méthodes d'évaluation visent généralement à s'affranchir du bruit de fond naturel. Les études fondamentales ou appliquées normalisent les teneurs en ETM par rapport à celles d'un matériel de référence (*Upper Continental Crust*) qui n'a parfois aucun rapport avec l'environnement immédiat. Les indices peuvent prendre

la forme de l'indice de géoaccumulation (Müller 1969, Rubio et al. 2000, Manjunatha et al. 2001). Une autre manière consiste à présenter l'enrichissement relatif d'un ETM par rapport à un élément immobile non affecté par les activités anthropiques (Al, Th, Ti, Sc) tel que le facteur d'enrichissement et l'indice de pollution métallique (Meybeck et al. 1997). D'autres méthodes comparent les concentrations mesurées à des seuils réglementaires spécifiques (TEC : Threshold Effect Concentration, PEC : Probable Effect Concentration). Ces seuils sont considérés représentatifs d'un niveau acceptable de protection du biote associé au sédiment, et toute concentration supérieure au seuil est jugée inacceptable (MacDonald et al. 2000). Enfin, certaines études combinent les deux approches en appliquant l'indice de pollution sédimentaire (Singh et al. 2002 ; Rubio et al. 2000) et l'indicateur de toxicité métallique (Meybeck et al. 2003).

Dans une optique d'évaluation de la qualité, de préservation et de maintien de oueds du bassin Boumerzoug, nous nous sommes proposé à travers cette étude de quantifier les teneurs en 6 éléments traces métalliques (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) dans les sédiments superficiels, et d'évaluer le niveau de la contamination/pollution métallique en se basant sur le calcul d'indices (indice de géoaccumulation (Igeo), facteur de contamination (FC), degré de contamination (DC) et indice de pollution sédimentaire (IPS)).

2. Matériel et méthodes

Le bassin Boumerzoug au Nord-est algérien (figure1) est l'un des sous bassins du bassin versant Kebir Rhumel. Il s'étend sur une superficie de 1832 km². Sur le bassin du Kebir Rhumel, la pluviométrie croît du Sud au Nord, les pluies varient en moyenne de 318 mm au Sud (cas du sous bassin Boumerzoug) à 1000 mm au Nord (cas du sous bassin Kebir-Maritime). Pour les températures, le minimum enregistré est de l'ordre de 9.53°C, la moyenne est de 15°C et le maximum est de 21.7°C.

Dans cette étude, nos investigations ont porté sur 5 cours d'eau permanents du bassin Boumerzoug : oued El Melah, oued El Kleb, oued El Berda, oued Boumerzoug et oued Hamimime. Les prélèvements ont été effectués en période de débit de base mais également en période de crues de façon à couvrir les quatre saisons. L'échantillonnage a été effectué selon la méthode de *judgement linéaire* (Tauw Environnement et Ophrys, 2001), qui consiste à prélever des échantillons aux endroits stratégiques (zones d'accumulation des sédiments, aval des rejets industriels ou urbains, aval d'arrivée d'un effluent,...), 11 stations ont été échantillonnées en quadruplicats.

Outre les ETM qui sont le cœur de ce travail, des analyses complémentaires sont entreprises pour mieux comprendre la physico-chimie du milieu dans sa globalité. Ainsi pour l'eau, nous avons déterminés : la

température, le pH et la conductivité électrique *in situ* ainsi que les teneurs en matière en suspension au laboratoire. Alors que pour les sédiments, nous avons déterminés le pH, la conductivité électrique (CE), le calcaire total (CT), la perte au feu (PF) ainsi que la granulométrie. Préalablement aux analyses, les sédiments sont séchés à 85°C pendant 48 heures, puis broyés dans un mortier en agate et tamisés à 2mm et 63µm.

Les teneurs en ETM (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) des sédiments ont été déterminés dans la fraction argilo-limoneuse (<63µm ; fraction la plus importante quantitativement et la plus réactive), (Stone et Dropo, 1996). L'extraction des ETM a été effectuée par digestion humide à l'eau régale dans un four micro-ondes (modèle Speedwave MWS-2. BERGHOF B). La technique est inspirée de la norme (NF-ISO 11466, 1995) appliquée au four micro-onde. La digestion à chaud a été effectuée en deux étapes : étape1 (puissance 80 %, 150°C, 15 mn) et étape 2 (puissance 40 %, 100°C, 15 mn). Le dosage des ETM a été effectué par SAA à Flamme de type PERKIN-ELMER. A Analyst 100. La reproductibilité du protocole d'extraction des ETM dans les sédiments est vérifiée à l'aide d'analyse de standards internationaux (Lake Sediment Reference Materials, LKSD-1). Les valeurs trouvées sur quatre mesures sont comprises dans des niveaux certifiés par CCRMP (Projet Canadien de Matériaux de Référence).

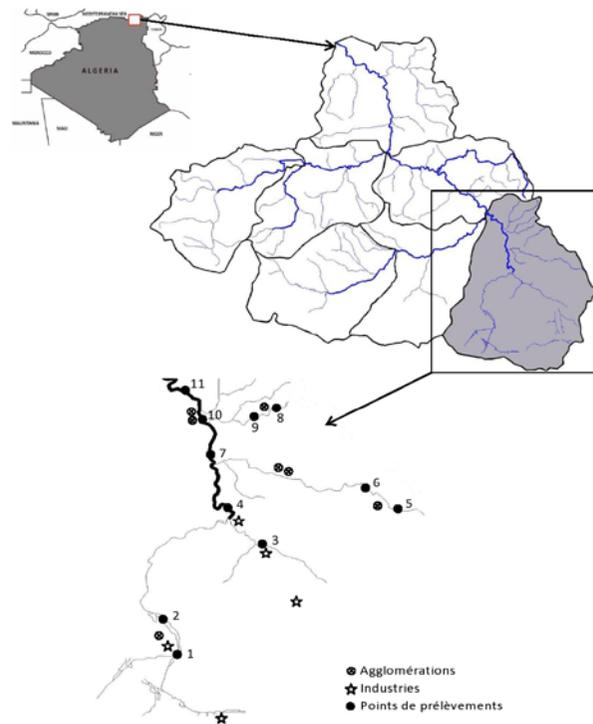


Figure 1 : Zone d'étude et localisation des points de prélèvements.

3. Résultats et discussion

Les données statistiques des caractéristiques physico-chimiques et des teneurs en ETM des sédiments sont récapitulées dans les tableaux 1 et 2 respectivement. En plus des indices de contamination/pollution, nous avons jugé utile le calcul des indicateurs statistiques suivants : minimum, 1^{er} quartile, moyenne, médiane, 3^{ème} quartile, maximum et écartype.

Tableau 1 : Données statistiques des caractéristiques physico-chimiques des sédiments.

	pH	CE (μS/cm)	CT (%)	PF (%)	A (%)	LT (%)	ST (%)
Minimum	6.15	169.0	10.02	0.47	1.00	28.0	12.0
1^{er} quartile	7.72	280.2	24.30	4.54	4.50	43.0	18.0
Moyenne	7.90	616.7	31.61	7.29	12.2	58.7	29.8
Médiane	7.95	488.0	32.31	6.48	9.00	62.0	29.0
3^{ème} quartile	8.09	826.0	40.60	8.71	21.0	76.5	37.0
Maximum	8.51	2730.0	49.19	21.7	30.0	85.0	54.0
Ecartype	0.40	459.90	11.42	4.16	10.5	20.8	14.3
n	44						

Tableau 2 : Données statistiques des teneurs en ETM des sédiments (μ g/g).

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Minimum	0.56	14.93	9.59	12.00	11.00	55.41
1^{er} quartile	0.60	34.83	17.39	22.75	55.37	92.30
Moyenne	1.19	46.82	52.19	24.19	66.23	181.75
Médiane	1.11	46.40	31.18	25.00	55.60	123.60
3^{ème} quartile	1.67	62.21	50.36	27.00	77.78	200.36
Maximum	3.34	87.60	446.04	34.00	166.70	641.45
Ecartype	0.68	17.54	79.15	05.02	32.56	150.11
Background*	0.30	120.0	50.00	80.00	40.00	240.00
n	44					

*Thomas et Meybeck (1992)

Le tableau 1 montre que : le pH des sédiments varie d'environ 2 unités pH. Les valeurs enregistrées indiquent un milieu légèrement basique avec une basicité légèrement plus importante pour certaines stations probablement liée à la présence plus importante de carbonates. La conductivité électrique semble typique à une conductivité observée dans les milieux des eaux douces comprises entre 100 et 1000 μ S/cm. Notons que des valeurs relativement importantes ont été enregistrées au niveau de quelques stations reflétant ainsi une forte minéralisation qui peut être attribuée à des rejets industriels et/ou urbains ainsi qu'à la nature salée du sous bassin en question. Les teneurs en carbonates (CaCO_3) sont importantes et peuvent être attribuées à la nature du milieu ; la couverture néogène à sédimentation continentale du bassin repose directement sur une formation carbonatée. Les teneurs en matières organiques des sédiments exprimées par la perte au feu à 450 °C montrent que les sédiments étudiés sont considérés

comme fortement chargés en matière organique notamment ceux prélevés dans les stations à proximité des rejets urbains et/ou industriels et ceux prélevés en période d'étiage. L'analyse granulométrique montre que les sédiments sont à caractère limoneux sableux argileux à limoneux sableux.

Les résultats des teneurs en ETM (tableau 2) révèlent la présence du Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn dans tous les échantillons de sédiments. L'ordre d'abondance des éléments est le suivant : Zn>Pb>Cr>Cu>Ni>Cd. Les sédiments du bassin Boumerzoug sont caractérisés par des concentrations en cadmium qui s'échelonnent de 0,56 µg/g à 3,34 µg/g avec 75 % de valeurs inférieures à 1,67 µg/g (Q₃), de 14,93 à 87.60 µg/g et Q₃=62.21 µg/g pour le chrome, de 12 à 34 µg/g et Q₃=27 µg/g pour nickel. Pour ces trois éléments, il est à noter que les moyennes sont très proches des médianes ; il y a donc, à l'échelle de la zone d'étude, peu de dispersion dans les concentrations. Ainsi, les moyennes peuvent être considérées comme peu influencées par les valeurs atypiques (suspectes et extrêmes).

Pour le cuivre, le plomb et le zinc, la distribution des valeurs est dissymétrique et a une tendance générale à être plus allongée vers les valeurs élevées. Etant donné que 75 % de valeurs sont inférieures à 50,36 µg/g pour Cu, à 77,78 µg/g pour Pb et à 200,36 µg/g pour Zn, les moyennes sont considérées comme très influencées par les valeurs atypiques (suspectes et extrêmes).

Sur la base des seuils réglementaires proposés par (Thomas et Meybeck, 1992) spécifiques aux substrats carbonatés, d'importants enrichissements par les ETM ont été enregistrés en particulier pour le cadmium, le plomb, le cuivre et le zinc (100 % des cas pour Cd, 84 % pour Pb, 28 % pour Cu, 19 % pour Zn). Cette situation reflète les influences directes des apports anthropiques véhiculés par les oueds du bassin Boumerzoug, véritables égouts à ciel ouvert, sur l'ensemble des zones situées sur leurs parcours immédiat notamment ceux de l'entreprise des cabines sahariennes (CCS), des activités du complexe de réparation du matériel militaire et de la société de transformation de pierres de marbre ainsi que des rejets domestiques. Contrairement à ces éléments, les teneurs en chrome et en nickel reflètent le bruit de fond géochimique de la zone d'étude.

Un critère d'évaluation de l'intensité de la contamination métallique est l'indice de géoaccumulation (Müller, 1969). Cet indice de caractère empirique compare une concentration donnée versus une valeur considérée comme fond géochimique. En effet, le coefficient 1,5 (facteur de correction) rend compte des variations dans les niveaux de background pouvant être causées par des effets de lithologie. L'Igeo est calculé selon la formule suivante :

$$Igeo_x = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5Bg_x} \right)$$

où :

- ✓ C : concentration mesurée pour un élément x ,
- ✓ Bg : fond géochimique pour un élément n ,

Müller (1981) a défini une échelle avec six classes d'indice de géoaccumulation : $Igeo < 0$ (Background), $0 \leq Igeo < 1$ (non pollué à légèrement pollué), $1 \leq Igeo < 2$ (légèrement à moyennement pollué), $2 \leq Igeo < 3$ (moyennement pollué), $3 \leq Igeo < 4$ (moyennement à fortement pollué), $4 \leq Igeo < 5$ (fortement pollué) et $5 \leq Igeo$ (extrêmement pollué).

Pour le calcul de cet indice, nous avons utilisé comme bruit de fond les concentrations spécifiques aux substrats carbonatés définies par Thomas et Meybeck (1992). Le calcul des $Igeo$ a permis d'estimer l'importance de la contamination des sédiments du bassin Boumerzoug par les ETM dont les teneurs dépassent le background de la zone d'étude. Les moyennes des indices de géoaccumulation sont données dans le tableau 2. Les résultats révèlent une pollution par le cadmium dans toutes les stations ; les sédiments sont légèrement à moyennement pollués. Une seule station (st2) est légèrement à moyennement polluée par le cuivre, et trois (st1, st2, st3) sont légèrement à moyennement pollués par le plomb. Les $Igeo$ calculés pour le chrome, le nickel et le zinc ne reflètent aucune pollution ; ces derniers étant négatifs.

L'indice $Igeo$ a permis d'établir un classement des sédiments en fonction des concentrations en contaminants métalliques. Néanmoins, le coefficient 1,5 qui à priori tient compte de l'hétérogénéité du sédiment ne représente pas toujours la réalité. En effet, les ETM sont principalement associés aux particules des sédiments (argiles, carbonates, oxydes et hydroxydes de fer, matière organique, ...), et il serait donc nécessaire d'exprimer les concentrations des ETM en fonction d'un paramètre lié à la nature du sédiment. Cette normalisation qui consiste à exprimer le ratio de la teneur d'une substance donnée par rapport à celle du facteur normalisant, permet de définir le facteur de contamination "FC" d'un élément trace donné dans le sédiment. Ce facteur de contamination est exprimé par la formule suivante :

$$FC_x = \left(\frac{C_x}{Bg_x} \right)$$

Ou :

- ✓ C_x : concentration mesurée pour un élément x ,
- ✓ Bg : Background pour un élément x ,

De même que pour l' $Igeo$, des classes de contamination sont définies pour le FC (Hakanson, 1980 ; Förstner et al. 1981 ; Carballeira et al. 1997 in

Rubio et al. 2000) : $FC < 1$ (contamination absente à faible), $1 \leq FC < 3$ (contamination modérée), $3 \leq FC < 6$ (contamination considérable), $6 \leq FC$ (contamination très forte).

Les sédiments des 11 sites de prélèvements ont des FC en Cd et en Pb supérieurs à 1, reflétant un enrichissement voir une contamination par ces éléments considérés comme extrêmement toxiques pour la faune benthique. La contamination est modérée à très forte pour le cadmium, et modérée à considérable pour le plomb. Pour le cuivre, trois stations sont considérées comme moyennement contaminées (st1, st3) à considérablement contaminée (st2). Pour le cuivre, les stations (st2, st3 et st4) sont moyennement contaminées. Contrairement à ces éléments, les enrichissements en chrome et en nickel sont faibles. Les FC-Cr et FC-Ni ne dépassent jamais le seuil de la première classe ($FC < 1$) indiquant ainsi une contamination faible voir absente quelque soit le point de prélèvement.

Le degré de contamination (DC) est la somme des FC, permet l'estimation de la contamination *a priori* polymétallique pour chaque point de prélèvement. Il est calculé selon la formule suivante :

$$DC_i = \sum FC$$

Cet indice est associé à 4 classes de qualité (Hakanson, 1980) : $DC < 6$ (contamination faible), $6 \leq DC < 12$ (contamination modérée), $12 \leq DC < 24$ (contamination considérable), $24 \leq DC$ (contamination très élevée). L'analyse des résultats (tableau 2) révèle une contamination polymétallique dominée par deux ou plusieurs éléments. Les DC moyens ne dépassent jamais le seuil maximal de la deuxième classe définie par Hakanson (1980) indiquant une contamination modérée excepté pour la station 2 ou le degré de contamination est de l'ordre de 13,49 indiquant ainsi une contamination polymétallique considérable. Cette valeur critique est due principalement au cadmium, cuivre et plomb dont les contributions sont de l'ordre de 24 %, 36 % et 25 % respectivement. Cet état des lieux pourrait provenir principalement de l'entreprise des cabines sahariennes (CCS), des activités du complexe de réparation du matériel militaire et de la société de transformation de pierres de marbre ainsi que des rejets domestiques des communes localisées en amont de ces points de prélèvements.

Les facteurs d'enrichissement et le degré de contamination permettent d'obtenir des informations sur la contamination des sédiments mais ne prennent pas en compte la notion de toxicité liée à chaque métal. Ainsi, Rubio et al. (2000) ont introduit l'indice de pollution sédimentaire (IPS). Cet indice se définit comme une somme linéaire des FC et prend en compte la toxicité relative des ETM par un facteur pondérateur (W). Il s'agit du poids de chaque métal qui est fonction de sa toxicité relative. Un poids de 1 est assigné au Cr et Zn car ils sont les moins toxiques ; Ni et Cu se voient

affecter la valeur 2 ; Pb la valeur 5 et Cd la valeur 300 (Singh et al. 2002 ; Rubio et al. 2000). L'IPS est calculé selon la formule suivante :

$$IPS_x = \left(\frac{\sum FC_x * W_x}{\sum W_t} \right)$$

où :

✓ W_x : poids affecté au métal considéré,

✓ W_t : $\sum W_x$

L'IPS est associé à cinq classes de qualité : $0 \leq IPS < 2$ (sédiment sain), $2 \leq IPS < 5$ (sédiment faiblement pollué), $5 \leq IPS < 10$ (sédiment moyennement pollué), $10 \leq IPS < 20$ (sédiment très pollué) et $IPS \geq 20$ (sédiment dangereux).

L'indice de pollution sédimentaire le plus élevé est enregistré au niveau de la station 7 et le plus faible au niveau de la station 4. Globalement, les résultats indiquent une pollution faible à moyenne des sédiments.

Tableau 2 : Moyennes des Igeo, FC, DC et IPS des sédiments du bassin Boumerzoug

	Igeo						FC						DC	IPS
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn		
st1	0,56	-2,42	-0,69	-2,54	0,45	-1,16	2,33	0,30	1,04	0,26	2,15	0,76	6,84	2,29
st2	0,81	-1,94	1,37	-2,42	1,17	-0,38	3,25	0,41	4,89	0,29	3,40	1,24	13,49	3,23
st3	1,60	-2,07	-0,84	-2,55	0,38	-0,80	5,10	0,36	1,04	0,26	2,01	1,23	10,01	4,97
st4	0,33	-1,88	-2,12	-2,40	-0,63	-0,69	1,87	0,41	0,40	0,30	1,18	1,49	5,64	1,83
st5	1,20	-1,58	-1,93	-2,24	-0,40	-1,54	3,71	0,52	0,42	0,32	1,25	0,59	6,81	3,61
st6	1,35	-1,81	-1,51	-2,36	-0,44	-1,86	4,18	0,47	0,59	0,31	1,18	0,44	7,17	4,06
st7	2,00	-2,35	-1,58	-2,36	-0,38	-2,11	7,41	0,34	0,52	0,30	1,18	0,35	10,11	7,17
st8	1,31	-2,05	-1,84	-2,22	-0,19	-1,89	3,70	0,39	0,46	0,33	1,32	0,41	6,61	3,60
st9	1,20	-2,34	-1,65	-2,19	-0,15	-1,07	3,71	0,34	0,68	0,33	1,53	0,79	7,37	3,61
st10	1,60	-1,62	-1,42	-2,19	0,04	-1,28	4,63	0,49	0,65	0,33	1,67	0,63	8,40	4,51
st11	0,96	-2,58	-0,96	-2,33	-0,23	-1,94	3,25	0,25	0,79	0,30	1,32	0,40	6,31	3,17

4. Conclusion

Globalement, il apparaît que les teneurs en ETM révèlent un enrichissement par le cadmium, le plomb, le cuivre et le zinc. Cet état des lieux reflète les influences directes des apports anthropiques véhiculés par les oueds dudit bassin, véritables égouts à ciel ouvert, sur l'ensemble des zones situées sur leurs parcours immédiat.

Les différents indices de contamination et/ou de toxicité calculés ont révélés des situations préoccupantes pour plusieurs stations et plusieurs ETM. Des cas de contaminations polymétalliques dominées par deux ou plusieurs éléments ont été enregistrés (Cd, Cu et Pb étant les plus préoccupants).

Les indices utilisés, dans leur principe même, sont certainement utiles lorsqu'il convient d'établir un outil de gestion (valeurs guides, valeurs d'interventions, etc.), mais présentent une utilité limitée pour différencier plusieurs sources de pollution ou discriminer une source de contamination

ponctuelle d'un signal de contamination diffus. Ces indices se révèlent aussi d'une efficacité limitée lorsqu'il s'agit d'évaluer l'impact réel de la contamination métallique des écosystèmes aquatiques, car les effets dépendent davantage de la forme chimique (spéciation) des ETM plutôt que de leurs concentrations totales. C'est pourquoi, il est important que ces derniers soient complétés de surveillance biologique sur matrice solide (sédiments) afin de s'assurer de la toxicité ou l'innocuité de cette dernière.

References:

- Förstner U. et Wittmann G.T.W. 1981. Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 486 p.
- Hakanson L. 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14, 5, 975-1001
- MacDonald D.D., Dipinto L.M., Field J., Ingersoll C.G., Long E.R. and Swartz C. 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment effect concentrations for polychlorinated biphenyls, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19, 5, 1404-1413.
- Manjunatha B.R., Balakrishna K., Shanker R. and Mahalingam T.R. 2001. Geochemistry and assessment of metal pollution in soils and river India. components of a monsoon-dominated environment near Karwar, southwest Coast. *Environmental Geology*, 40, 1462-1470.
- Meybeck M., Guéguen Y., Dürr H., Grosbois C., Lachartre L., Bacq N., Théry S. and Horowitz A. 2003. Vers un système expert pour réaliser le bilan de la contamination métallique du réseau hydrographique. Rapport PIREN-Seine 2002, thème "Transferts des contaminants".
- Müller G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geology Journal*, 2, 109-118.
- Müller G. 1981. The heavy metal pollution of the sediments of Neckars and its tributary: a stock taking. *Chemical Zeitung*, 105, 157-164.
- NF ISO 11466. 1995. Qualité du sol-Extraction des éléments en traces solubles dans l'eau régale in AFNOR (1999). Qualité des sols. Volume 1. AFNOR Paris, 566 p.
- Rubio B., Nombela M.A. et Vilas F. 2000. Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ría de Vigo (NW Spain): An assessment of metal pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 40, 968-980.
- Singh M., Müller G. et Singh I.B. 2002. Heavy Metals in freshly deposited stream sediments of rivers associated with urbanisation of the Ganga Plain, India. *Water Air and Soil Pollution*, 141, 35-54.
- Stone M and Droppo I.G. 1996. Distribution of lead, copper and zinc in size-fractionated river bed sediment in two agricultural catchment of southern Ontario, Canada. *Environmental Pollution*, 93, 353-362.

Tauw Environnement et Ophrys. 2001. Guide méthodologique de la caractérisation des sédiments, projet de curage et surveillance des sédiments. Version 1. 410 pp.

Thomas R. et Meybeck M. 1992. The use of particulate material, *In* Chapman D. Eds. Water Quality Assessments. A guide to the use of Biota sediments and Water in environmental monitoring. Chapman & Hall Ltd. London, 121-170.