



## **Analyse des éléments traces métalliques (ETM) dans les baies estuariennes d'Abidjan en Côte d'Ivoire**

**Aoua S. COULIBALY\***, Sylvain MONDE, Valérie A. WOGNIN et Kouamé AKA

*Université de Cocody, UFR-STRM, Département de géosciences marines, 22 B.P. 582  
Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

---

\* Correspondance, courriel : [aouasougo@yahoo.fr](mailto:aouasougo@yahoo.fr)

### **Résumé**

Les sédiments superficiels dans les baies estuariennes d'Abidjan montrent un dosage de métaux à taux anormalement élevés pour certains ETM. Quantitativement, seuls le V, Co, CU, et Fe ne présentent pas de pollution et leurs concentrations se retrouvent dans les classes 0-1 de l'indice de Müller. Les autres éléments appartiennent aux classes 2-3 et varient de modérément pollués à fortement pollués. En outre, on note une augmentation du taux de Ni, Cr, Pb, Fe, Cd, Cu sur une vingtaine d'année.

**Mots-clés :** *Pollution métallique, ETM, lagune Ebrié, Côte d'Ivoire*

### **Abstract**

#### **Metal elements analysis in Abidjan bays in Côte d'Ivoire**

The metal proportioning in the surface sediments of Abidjan bays shows for certain MET, abnormally high rates. Quantitatively, only V, Co, CU, and Fe do not present pollution and their concentrations are found in classes 0-1 of the index of Müller. The other elements belong to classes 2-3 and vary moderately polluted to strongly polluted. Moreover, one notes an increase in Ni rate, Cr, Pb, Fe, Cd, Cu on twenty years.

**Keywords :** *Metal pollution, MET, Ebrié lagoon, Côte d'Ivoire*

## 1. Introduction

Les Eléments Traces Métalliques (ETM) sont des polluants pour les écosystèmes aquatiques du fait de leur toxicité et leur capacité de s'accumuler dans le biota. En outre ils sont non biodégradables et leur concentration dans les environnements aquatiques s'accroît considérablement car elle résulte des activités de production et de consommation anthropiques.

Ainsi, la compréhension des processus contrôlant le cycle des ETM dans les eaux naturelles est indispensable pour qualifier, quantifier et anticiper les impacts anthropiques sur les baies. Exceptions faites de quelques études, les tentatives pour quantifier la variabilité des concentrations en ETM en relation avec la lithologie et l'hydrologie du bassin versant, les sources de pollution, et les processus géochimiques intervenant au sein même de la rivière ont été limités par l'insuffisance de données fiables sur les ETM des eaux douces. Ce n'est que récemment que les progrès en technique ultrapropre d'échantillonnages et d'analyses, ont été adoptées par la communauté de géochimistes, hydrologistes et les agences gouvernementales pour la qualité des eaux. Ces études utilisant des techniques ultraproces ont rapporté des concentrations métalliques significativement plus basses que les valeurs précédemment publiées, indiquant que les données les plus significatives pourraient être entachées d'erreur par contamination durant l'échantillonnage et le traitement. De plus, peu d'études intègrent à la fois les phases particulaire et dissoute. Cependant, des données fiables, associées à la quantification de la répartition entre phases dissoute et particulaire sont nécessaires pour construire des modèles prédictifs pertinents du comportement métallique dans les rivières. Une autre limite importante, associée à la nécessité de base de données de qualité, est la résolution temporelle. En effet, seule peu d'études ont produit des séries temporelles. Ce qui a permis de déterminer les mécanismes contrôlant les ETM dans les systèmes fluviaux et d'estimer les flux moyens de métaux.

La détermination et la quantification des processus de répartition métallique entre phase dissoute et particulaire des systèmes fluviaux se justifie par :

- (i) l'évaluation du transport et de la biodisponibilité des ETM nécessite des données précises sur les concentrations et la spéciation métallique ;
- (ii) l'estimation des flux métalliques journaliers et annuels incorporant les relations entre concentrations métalliques et débits sont critiques pour l'établissement des budgets géochimiques des bassins versants ;
- (iii) la variabilité des flux métalliques fluviaux des écosystèmes marins côtiers joue un rôle important dans la distribution métallique et les interactions métal/biota au niveau des marges continentales ;

(iv) des corrélations temporelles entre les concentrations métalliques et les variables fondamentales, tels que la quantité de particules en suspension, le débit ou encore le pH, peuvent être utilisés pour déterminer quels sont les paramètres et les mécanismes contrôlant les flux métalliques fluviaux.

L'analyse des concentrations métalliques totales est insuffisante à elle seule pour apprécier l'impact environnemental de la pollution des environnements aquatiques. En effet, les ETM sont présents sous diverses formes chimiques dans les sédiments et dans les particules en suspension. Ces formes déterminent leur mobilité et leur biodisponibilité. Les études de spéciation, visant à déterminer ces différentes formes chimiques, ont essentiellement porté sur les sédiments de rivières et de barrages car ces derniers sont les puits principaux pour les ETM et peuvent agir comme source lorsque quand les conditions environnementales varient. Par contre, les matières en suspension sont connues pour leur capacité à interagir physico-chimiquement avec une quantité de polluants organiques et inorganiques et qu'elles soient responsables du transport de ces polluants au milieu océanique.

La présente note analyse, quantifie et modélise les impacts anthropiques des ETM sur les baies estuariennes. En outre, elle intègre l'évolution de la pollution métallique dans l'estuaire de la lagune Ebrié de 1983 à 2005.

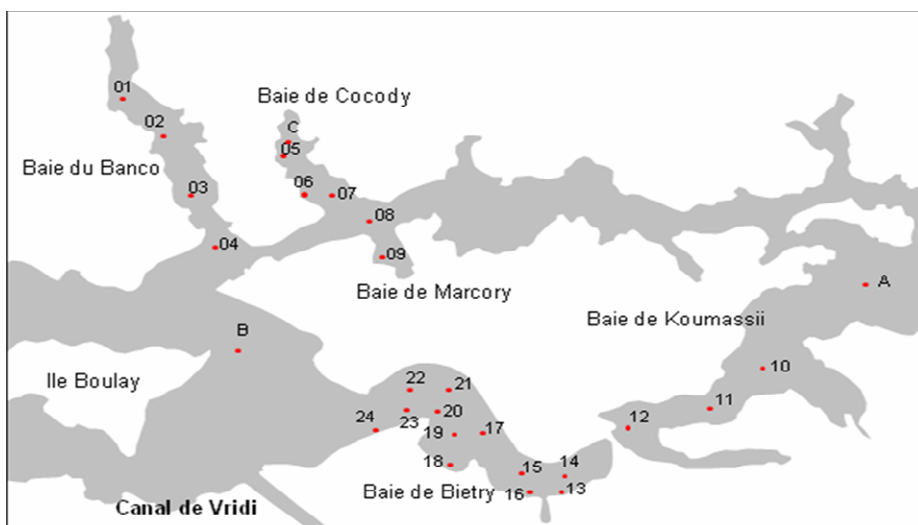
## 2. Méthodologie

### 2-1. Échantillonnage

L'échantillonnage se définit comme une procédure dans laquelle une portion de substance est prélevée pour faire un échantillonnage représentatif de l'ensemble.

Une campagne d'échantillonnage a été organisée en janvier 2006 dans la lagune Ebrié par l'Université d'Abidjan-Cocody, en collaboration avec le CIAPOL (Centre Ivoirien Anti-Pollution). Les échantillons ont été prélevés dans les baies (Banco, Bietry, Cocody, Marcory, Koumassi) qui bordent Abidjan (*Figure 1*). Au total 24 échantillons de sédiments de surface ont été prélevés à l'aide d'une benne Van Veen, à des stations bien précises repérées un *GPS*. Pour éviter toute contamination métallique due à la benne, les échantillons de sédiments sont recueillis au cœur de la benne avec des spatules en plastiques. En plus des échantillons de sédiments, certains paramètres physico-chimiques (température, pH, salinité) ont été mesurés à chaque station de prélèvement. Ils ont été conditionnés dans des flacons de 50 ml pré-lavés, puis acheminés au laboratoire pour les différentes analyses. Tout le matériel en contact avec les échantillons était du polypropylène, préalablement décontaminé. Le traitement s'effectuait en plusieurs étapes. D'abord on laisse tremper le matériel dans du  $\text{HNO}_3$  à 20% pendant 6 jours,

ensuite on le rince avec de l'eau Milli-Q et enfin on procède au séchage à température ambiante sous une hotte.



**Figure 1 :** Stations d'échantillonnage des sédiments superficiels

## 2-2. Traitement physique

Au laboratoire, chacun des 24 échantillons a été divisé en 2 sous échantillons : la première partie a été passée au tamis de  $63 \mu\text{m}$ , afin de séparer les fractions supérieures et inférieures à  $63 \mu\text{m}$ , la seconde partie représentant le sédiment total a été séchée à l'étuve à  $50^\circ\text{C}$ . La fraction supérieure à  $63 \mu\text{m}$  a été séchée et pesée pour obtenir le poids sec. Le dosage des métaux a été réalisé sur deux fractions: le sédiment total et la fraction fine ( $>63 \mu\text{m}$ ). La granulométrie a été déterminée à l'aide d'un diffractomètre laser Malvern Mastersizer. Pour les analyses chimiques, tous les échantillons ont été broyés à l'aide d'un mortier et d'un pilon en agate pour avoir une meilleure homogénéité.

## 2-3. Dosage des métaux

### 2-3-1. Protocole d'extraction

Pour chaque extraction, des blancs de réactifs sont réalisés ; ces blancs sont ensuite soustraits des concentrations de métaux.

Le dosage des métaux s'est effectué sur deux fractions : le sédiment total et la fraction inférieure à  $63 \mu\text{m}$  suivant la méthode utilisée par Audry et al. [1] qui est une modification de celle de Loring & Rantala [2].

30 mg de sédiments sont digérés à l'eau régale (1,5 mL HCl «suprapur» à 30,9% + 0,5 mL HNO<sub>3</sub> «suprapur» à 65,5%) et 2 mL de HF «suprapur» à 65 % dans des flacons en téflon (Savilex®) fermés hermétiquement et maintenus pendant 2 heures à 110°C sur une plaque chauffante. Après refroidissement, les gouttelettes condensées sur les bouchons des flacons sont récupérées à l'aide d'un rinçage d'eau Milli-Q® effectué à la pissette. L'évaporation du contenu des flacons est réalisée par chauffage à 100°C pendant 12 heures. On laisse refroidir de nouveau pour effectuer la reprise du résidu de digestion avec 0,250 mL de HNO<sub>3</sub> à 65,5% et 5 mL d'eau Milli-Q® ; la nouvelle solution est chauffée une dernière fois à 80°C pendant 10 min. Après refroidissement et décantation, 3,5 mL de surnageant est prélevé par pipetage et conservé dans un flacon en polypropylène auquel on ajoute 6,5 mL d'eau Milli-Q®. La dilution finale de l'échantillon est de 2/3.

### ***2-3-2. Dosages des métaux par FAAS et ICP-MS***

La réalisation des objectifs de ce travail nécessitait le dosage précis des ETM contenus dans les solutions d'attaques de la fraction solide de nos échantillons. Cela passait par la mise en place et l'application stricte de protocoles analytiques rigoureux. La validation de nos résultats a été réalisée par un contrôle de la justesse de nos dosages à l'aide de standards internationaux d'eaux et de sédiments.

#### ***2-3-2-1. Spectrométrie d'Absorption Atomique de Flamme (FAAS)***

Ces mesures ont été réalisées sur un spectromètre d'absorption atomique Perkin-Elmer 420 double faisceau : un de référence et un traversant la flamme. Elles concernent le dosage du Fe et du Mn.

*(i) Principe* : L'échantillon est nébulisé dans une flamme air/acétylène (2500°C) qui atomise alors les éléments métalliques. Le rayonnement lumineux spécifique des particules est émis vers la flamme permettant aux atomes d'absorber l'énergie nécessaire pour se trouver à un état excité et émettre une longueur d'onde ( $\lambda$ ) d'absorption spécifique. C'est la différence du signal électrique transmis entre les deux faisceaux lumineux qui donneront l'absorbance de l'élément mesuré. Cette absorbance est, selon la loi de Beer-Lambert, fonction de la concentration de l'élément dans la solution. Pour l'analyse de Fe et de Mn nous avons utilisé une lampe à cathode creuse.

*(ii) Étalonnage* : Des solutions standards (AccuTrace™ Reference standard) à 1000 mg.L<sup>-1</sup> de Fe et de Mn ont été diluées pour préparer des gammes d'étalonnage couvrant tout l'éventail de concentrations de nos échantillons. La dérive du signal d'absorbance au cours du temps a été calculée en intercalant tous les 10 échantillons un étalon de milieu

de gamme ; les absorbances de nos échantillons sont ensuite corrigées de cette dérive. Pour les dosages des solutions issues des attaques spécifiques et totales, l'absorbance des blancs d'attaques est retranchée de l'absorbance des échantillons.

### 2-3-2-2. Spectrométrie de masse à plasma couplé (ICP-MS)

Les mesures de ETM (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Ag, Cd, Sb, Pb, Th, U et Al) ont été réalisées à l'aide d'un spectromètre de masse couplé à un plasma d'ionisation (Perkin-Elmer type Elan 5000) permettant de détecter des éléments en trace à des concentrations minimales de  $10^{-3} \mu\text{g.L}^{-1}$ . Les analyses ont été réalisées en mode quantitatif.

(i) *Principe* : Les échantillons liquides sont injectés et nébulisés dans une torche ( $8000^{\circ}\text{K}$ , P atm.) en quartz maintenant un plasma d'argon (ICP), celui-ci induit l'ionisation des éléments contenus dans la solution par transfert d'énergie (par collision). Les ions traversent ensuite une interface en nickel de 1 mm de diamètre, dont le rôle est d'extraire les ions de la torche vers le spectromètre de masse (MS) par un vide permanent ( $10^{-6}$  Torr). Les ions traversent ensuite des lentilles polarisées (réglées dans notre cas pour l'analyse des cations) ; puis les isotopes sont séparés dans le spectromètre de masse quadripôle par déviation de leur trajet dans un champ électromagnétique de haute fréquence en fonction de leur rapport masse/charge. Le détecteur enregistre le nombre d'ions d'un isotope ayant traversés le spectromètre. Les mesures ont été réalisées en mode «Peak-Hop» : la mesure est la moyenne de 21 lectures sur 3 dosages successifs.

(ii) *Protocole d'analyse* : Tous les étalons et les échantillons sont dilués dans une matrice de  $\text{HNO}_3$  (qualité «ultrapure») à 1%. La sensibilité de l'appareil est ajustée à l'aide d'une solution de  $10 \mu\text{g.L}^{-1}$  d'isotopes couvrant une large gamme de masse ( $^{207,208}\text{Pb}$ ,  $^{24}\text{Mg}$  et  $^{103}\text{Rh}$ ). Le bruit de fond est mesuré à la masse 220. Le taux d'oxydes et le taux d'ions doublement chargés sont également vérifiés pour ne pas excéder 3% lors de nos dosages (typiquement autour de 2%). Une calibration interne et externe est réalisée. Une solution mère a été réalisée par dilution de solutions standards de concentrations connues (AccuTrace™ Reference standard) : Zn =  $2500 \mu\text{g.L}^{-1}$ , V, Cu, Pb, Ni, Cr.

## 2-4. Indice de géoaccumulation (Igeo)

L'indice de géoaccumulation présenté par Müller [3] est un critère de détermination du niveau de la pollution métallique. Il distingue six classes (**Tableau 1**). L'indice se détermine à partir du niveau de base de la teneur en métaux dans le sédiment selon la formule suivante :  $I_{\text{geo}} = \log_2 (C_n / 1,5 B_n)$

Avec :

$C_n$  : Concentration dans le sédiment pour l'élément n

B<sub>n</sub> : Bruit de fond géochimique pour l'élément n

1,5 : Constante qui permet de prendre en compte à la fois les fluctuations naturelles de la teneur d'une substance donnée dans un environnement ainsi que de faibles influences anthropiques.

**Tableau 1** : *Classification de l'Igeo [3]*

Classe	Valeur	Intensité de pollution
0	$I_{geo} \leq 0$	Pas de pollution
1	$0 < I_{geo} < 1$	De non pollué à modèrément pollué
2	$1 < I_{geo} < 2$	Modèrément pollué
3	$2 < I_{geo} < 3$	De modèrément pollué à fortement pollué
4	$3 < I_{geo} < 4$	Fortement pollué
5	$4 < I_{geo} < 5$	De fortement pollué à extrêmement pollué
6	$5 < I_{geo}$	Extrêmement pollué

### 3. Résultats et discussion

#### 3-1. Dosage des métaux dans les sédiments de surface

Des éléments trace, au nombre de 17 ont été dosés pour la totalité des sédiments récoltés. Les résultats (mg/kg) sont présentés dans le **Tableau 2**, conjointement avec les mesures de physico-chimie et les teneurs relatives de la croûte continentale (UCC : *Upper Continental Crust*) de Wedepohl [4]. Avant toute comparaison avec ces données de référence, il est à noter que les concentrations en métaux dans cette étude ont été déterminées sur le sédiment total. Malgré ce facteur (limitant), nos teneurs sont largement supérieures (2 fois plus) aux valeurs de la croûte continentale.

##### **3-1-1. Effet granulométrique : Analyse statistique des concentrations**

Pour analyser l'effet de la granulométrie sur la composition chimique des sédiments, nous avons effectuée une analyse statistique des données qui a nécessitée l'utilisation de composantes principales -ACP [5]. Les composantes principales ont été calculées à partir d'une matrice de corrélation. Les résultats de l'ACP de la teneur en métaux et de la fraction supérieure à 63 µm sont présentés dans le **Tableau 3**.

Tableau 2 : Propriétés physico-chimiques du sédiment total

Stations	V(mg/kg)	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Cd	Sb	Pb	Th	U	Mn	Fe	Hg( $\mu$ g/kg)	pH	T (°C)	Sal (‰)
1	158	144	5,38	28,8	31,5	356	12,0	21,2	1,20	0,83	1,35	101	19,2	5,14	106	60000	544	8,2	28,9	31,1
2	140	124	6,83	28,5	39,1	253	12,3	18,4	0,99	0,64	0,90	69,4	15,1	4,07	113	54469	335	8,2	29,2	37,1
3	119	105	11,9	34,2	43,5	184	11,2	5,93	0,78	0,42	0,64	40,4	9,53	4,05	141	54000	257	8,2	28,8	37,2
4	133	115	15,6	43,7	31,2	115	12,3	1,70	0,49	0,27	0,52	27,2	8,84	2,54	195	41108	133	8,2	28,6	37,1
5	144	150	5,22	20,5	55,5	358	11,7	6,69	2,37	0,87	1,93	149	17,9	3,48	159	67324	722	7,9	29,1	35
6	64,6	62,2	4,40	14,0	22,1	146,2	5,79	2,56	1,68	0,22	0,51	46,3	5,45	1,49	64,3	18723	334	7,9	28,8	35,5
7	113	110	12,2	35,8	40,3	122	10,4	2,06	0,80	0,23	0,50	30,7	6,16	2,40	67,7	54158	252	7,9	29,2	33,5
8	6,24	8,68	0,56	0,60	0,51	3,79	0,96	0,21	0,05	0,03	0,09	2,05	0,58	0,28	6,82	3091	12,1	7,9	28,8	32,5
9	11,5	10,9	3,11	4,13	4,13	24,4	1,53	0,32	0,27	0,07	0,10	5,52	0,92	0,71	17,6	6101	103	7,9	28,7	32,3
10	127	126	21,2	46,2	32,6	126	10,3	2,17	0,37	0,89	0,77	31,4	9,23	10,3	170	54811	242	7,5	29,2	21,1
11	137	144	20,2	51,2	63,0	212	9,19	12,2	1,07	6,30	0,80	64,6	9,22	6,81	308	56027	654	7,5	29	23,4
12	11,5	12,5	2,65	5,26	4,11	25,0	0,92	0,57	0,25	0,18	0,09	8,42	1,02	0,82	54,3	5914	106	7,5	29,6	24,7
13	99,9	2059	10,3	31,0	79,1	499	5,92	35,1	1,56	1,39	1,54	209	5,92	11,5	191	41091	1460	7,3	29,9	19,2
14	17,6	36,3	3,90	6,00	6,13	51,3	3,19	2,05	0,20	0,21	0,16	10,9	1,26	1,22	76,9	10385	301	7,3	29,7	17,5
15	7,95	11,1	3,43	5,01	2,75	25,2	1,15	0,63	0,07	0,07	0,07	5,39	0,62	0,48	55,1	3878	112	7,3	29,7	19,3
16	17,0	24,9	3,94	4,89	9,96	48,9	2,41	2,85	0,21	0,24	0,19	12,1	1,20	1,75	68,6	7042	185	7,7	30,1	20,5
17	120	101	16,1	35,8	70,4	308	17,2	29,5	1,50	1,69	13,73	115	6,64	6,64	273	43636	893	7	29,6	20,5
18	25,8	25,8	5,53	13,3	6,67	53,0	3,05	1,89	0,14	0,22	0,19	11,4	2,00	2,10	91,7	11500	101	7	29,3	21,8
19	18,2	14,6	2,78	3,57	2,80	27,2	1,47	0,41	0,07	0,07	0,09	4,91	0,80	0,86	58,8	8559	44,2	7,7	29,5	21,2
20	124	181	16,3	59,3	64,5	249	11,3	10,5	0,98	0,76	1,59	114	9,34	6,34	200	52167	511	7,7	28,7	21,8
21	8,05	9,22	1,57	3,50	2,70	18,9	0,91	0,51	0,08	0,07	0,11	4,72	0,73	0,83	43,3	3548	43,0	7,3	29	20,6
22	104	131	21,5	52,2	43,6	264	16,8	13,6	0,76	1,12	1,01	73,1	8,47	6,12	333	68333	605	7,7	28,6	22,6
23	12,7	28,3	1,24	5,30	1,83	16,4	2,17	0,61	0,06	0,06	0,10	6,53	0,72	0,54	21,8	13227	27,9	8,4	28,6	22
24	23,6	54,8	3,78	20,6	18,2	87,3	2,92	1,71	0,14	0,16	0,17	19,4	1,99	1,43	70,6	11941	251	8,2	28,8	22,5
Min	6,24	8,68	0,56	0,60	0,51	3,79	0,91	0,21	0,05	0,03	0,07	2,05	0,58	0,28	6,82	3091	12,06	7,00	28,60	17,50
Max	158	2059	21,5	59,3	79,1	499	17,18	35,1	2,37	6,30	13,73	209	19,2	11,5	333	68333	1460	8,4	30,1	37,2
Mean	72,6	157,9	8,32	23,1	28,2	149	6,96	7,22	0,67	0,71	1,13	48,4	5,95	3,41	120	31293	343			
Ecartype	57,4	409	6,8	18,5	25,0	136	5,4	9,8	0,6	1,3	2,7	54,3	5,6	3,1	91	24140	339			
<b>UCC</b>	<b>53</b>	<b>35</b>	<b>12</b>	<b>19</b>	<b>14</b>	<b>52</b>	<b>2,0</b>	<b>1,4</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>2,5</b>	<b>527</b>	<b>30890</b>	<b>0,056</b>			



**Tableau 3 : Coefficients de corrélation**

	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Cd	Sb	Pb	Th	U	Salinité	pH	Temp	% >63
<b>V</b>	1																	
<b>Cr</b>	0.92	1																
<b>Co</b>	0.74	0.73	1															
<b>Ni</b>	0.84	0.87	0.92	1														
<b>Cu</b>	0.84	0.92	0.69	0.83	1													
<b>Zn</b>	0.77	0.86	0.48	0.62	0.91	1												
<b>As</b>	0.90	0.80	0.73	0.82	0.79	0.73	1											
<b>Mo</b>	0.58	0.70	0.40	0.47	0.77	0.90	0.56	1										
<b>Ag</b>	0.72	0.74	0.32	0.49	0.81	0.84	0.66	0.64	1									
<b>Cd</b>	0.44	0.46	0.50	0.52	0.58	0.46	0.35	0.42	0.41	1								
<b>Sb</b>	0.34	0.27	0.30	0.30	0.53	0.55	0.52	0.60	0.47	0.27	1							
<b>Pb</b>	0.67	0.83	0.36	0.54	0.88	0.97	0.61	0.84	0.86	0.40	0.46	1						
<b>Th</b>	0.92	0.82	0.50	0.63	0.69	0.74	0.80	0.53	0.74	0.32	0.22	0.66	1					
<b>U</b>	0.70	0.84	0.74	0.74	0.81	0.78	0.61	0.76	0.54	0.52	0.37	0.74	0.56	1				
<b>Salinité</b>	0.36	0.17	-0.03	0.05	0.10	0.08	0.27	-0.03	0.34	-0.13	-0.12	0.05	0.46	-0.11	1			
<b>pH</b>	0.12	0.03	-0.05	0.00	-0.16	-0.18	0.06	-0.23	-0.10	-0.27	-0.36	-0.19	0.21	-0.24	0.50	1		
<b>Temp</b>	-0.07	0.02	-0.13	-0.13	0.17	0.26	-0.11	0.28	0.20	0.15	0.23	0.25	-0.07	0.18	-0.24	-0.69	1	
<b>% &gt;63</b>	-0.94	-0.91	-0.78	-0.85	-0.83	-0.73	-0.83	-0.58	-0.73	-0.39	-0.31	-0.65	-0.83	-0.73	-0.38	-0.13	0.05	1

*b. Coefficients de corrélations*

Pour une meilleure compréhension de la relation qui existe entre la concentration en métaux et la taille des grains, les coefficients de corrélations ont été calculés et sont présentés dans le **Tableau 3**. Tous les métaux présentent des coefficients de corrélations négatifs avec le facteur granulométrique qui est ici représenté par le pourcentage de la fraction supérieure à 63 µm. Ces coefficients varient entre -0,73 et -0,94, à l'exception du Mo (-0,58), Cd (-0,39) et Sb (-0,31). La dernière ligne du tableau montre une anti-corrélation entre la granulométrie et la teneur en éléments chimiques. Ce qui tend à prouver que les concentrations déterminées pour les sédiments de la lagune Ebrié sont fortement influencées par la granulométrie, et que les métaux sont contenus dans la fraction inférieure à 63 µm.

*b. Analyse en composantes principales*

Trois composantes principales (F1, F2, F3) ont été considérées dans cette analyse, avec une variance totale de 82%. Les paramètres physiques sont indépendants des paramètres chimiques. On observe une opposition entre la composition chimique et la granulométrie (**Figure 2 et Tableau 4**).

L'effet de la granularité dans l'analyse des métaux a déjà été noté et il est admis que les métaux trace sont contenus dans la fraction fine du sédiment. Cela est dû au fait qu'ils sont des cibles privilégiées pour l'adsorption des éléments naturels et plus particulièrement pour les éléments traces en raison de leur grande surface spécifique et de leurs grandes forces d'attraction ionique.

Pour la suite de l'étude, nous avons extraits et analysés la fraction inférieure à 63 µm, pour s'affranchir de l'influence de la granulométrie sur nos dosages de métaux trace.

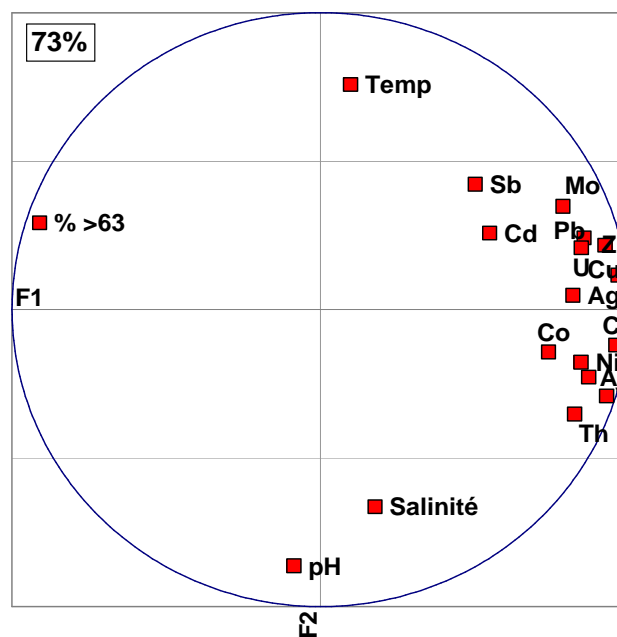


Figure 2 : Analyse corrélative des paramètres physico-chimiques

Tableau 4: Analyse en composantes principales

	F1	F2	F3
V	0.93	-0.29	0.02
Cr	0.96	-0.12	0.05
Co	0.74	-0.14	0.60
Ni	0.84	-0.18	0.45
Cu	0.96	0.12	0.01
Zn	0.92	0.22	-0.24
As	0.87	-0.23	0.06
Mo	0.79	0.35	-0.20
Ag	0.82	0.05	-0.44
Cd	0.55	0.26	0.33
Sb	0.50	0.42	-0.11
Pb	0.85	0.24	-0.31
Th	0.82	-0.35	-0.23
U	0.84	0.21	0.23
Salinité	0.18	-0.66	-0.52
pH	-0.09	-0.86	-0.12
Temp	0.10	0.76	-0.26
% >63	-0.91	0.29	-0.04
<b>% variance</b>	<b>58%</b>	<b>15%</b>	<b>9%</b>

### 3-2. Analyse des métaux dans la fraction inférieure à 63 $\mu\text{m}$

Les concentrations des métaux trace ont été déterminées sur la fraction inférieure à 63  $\mu\text{m}$  et sont présentés dans le **Tableau 5**. En comparant les teneurs obtenus pour le sédiment total et la fraction inférieure à 63  $\mu\text{m}$ , on observe une variation très nette des valeurs. Pour une grande partie des métaux étudiés, les concentrations minimales sont supérieures à celles de l'UCC.

**Tableau 5 : Concentrations métalliques (mg/kg) dans la fraction <math><63\mu\text{m}</math>**

Stations	V(mg/kg)	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Cd	Sb	Pb	Th	U	Mn	Fe	Hg ( $\mu\text{g/g}$ )	D(v,0.50)	COP %	S %
1	187	172	6,6	35,3	50,9	427	13,5	27,1	1,33	0,77	1,76	133	22,5	5,82	181	65390	0,70	5,23	3,7	1,86
2	180	160	7,6	36,1	47,0	294	14,3	19,1	0,72	0,55	1,40	89,6	20,3	4,82	179	44680	0,37	5,85	3,2	1,56
3	155	143	15,9	55,3	88,7	296	14,4	9,06	1,04	0,46	1,07	56,9	13,5	5,33	193	78245	0,32	5,34	3,7	1,69
4	130	118	16,0	57,2	44,5	115	9,65	1,66	0,84	0,17	0,54	22,4	9,03	2,42	320	58109	0,16	3,38	2,3	0,762
5	169	173	5,0	31,6	57,6	401	14,9	9,21	2,15	0,75	2,33	172	22,8	4,09	223	66391	0,77	7,38	4,0	0,738
6	174	164	13,2	52,8	54,7	208	14,4	7,65	3,66	0,49	1,46	76,9	16,6	4,54	227	48043	0,30	3,35	2,8	0,835
7	142	139	15,7	62,1	44,8	157	12,4	2,80	0,90	0,24	1,30	45,5	11,5	3,08	166	54981	0,29	4,49	3,4	0,929
8	134	140	23,6	69,3	41,3	143	12,5	2,90	0,43	0,25	0,78	28,0	11,0	5,43	263	60577	0,22	5,31	3,7	0,856
9	128	146	17,1	107	52,5	220	17,3	3,69	0,98	0,50	0,76	40,8	10,9	4,76	6452	38301	7,66	-	-	-
10	139	145	21,4	68,8	49,0	165	10,2	2,26	0,42	0,76	0,92	35,6	10,1	10,2	223	67119	0,31	6,84	5	3,47
11	114	124	17,0	64,6	49,0	210	6,68	7,82	0,82	5,11	0,82	52,4	8,12	5,80	317	59711	0,83	6,36	5,1	3,72
12	48,8	65,1	10,9	55,1	41,3	141	5,88	2,91	1,35	0,79	0,58	34,1	4,43	3,94	417	81477	13,06	-	-	-
13	40,7	1012	5,3	19,4	31,8	230	5,15	11,1	0,98	0,49	1,88	97,7	2,81	4,07	417	39754	1,93	15,63	20,1	5,74
14	120	192	14,5	55,3	73,6	200	19,4	16,3	0,83	0,46	1,09	78,5	8,25	9,04	455	73723	2,34	8,13	8,3	6,55
15	81,1	367	21,4	101	113	346	11,7	4,25	1,22	0,92	1,17	61,8	8,19	8,03	151	17267	-	-	-	-
16	148	256	19,8	76,3	108	390	21,5	28,2	1,46	1,04	7,51	108	9,31	14,3	475	94006	2,42	10,46	9,2	5,42
17	196	159	21,2	90,5	111	515	15,1	41,0	2,08	1,50	1,46	109	8,97	9,16	473	70268	1,23	8,37	7,4	5,59
18	136	148	17,8	80,0	64,6	184	22,1	9,52	0,55	0,33	1,03	59,9	10,9	11,7	183	83997	0,78	9,4	6,8	8,265
19	118	191	18,09	75,9	92,5	332	9,92	2,61	0,92	0,53	1,13	77,9	8,33	5,94	243	59880	9,99	8,5	8,5	1,38
20	136	200	18,1	83,7	69,6	292	13,6	11,4	0,97	0,76	1,21	93,9	8,60	5,75	328	66575	0,77	4,53	4,6	4,03
21	128	196	15,5	73,7	87,5	177	18,0	10,7	1,28	0,30	2,23	90,6	10,4	13,8	153	51922	0,84	8,02	6,9	2,24
22	121	148	24,2	78,2	65,9	320	22,3	17,1	0,87	0,84	1,05	71,6	9,60	6,98	509	91092	0,57	6	4,3	7,7
23	162	379	16,9	142	86,6	274	25,1	14,1	0,57	0,47	4,22	148	10,6	10,4	247	72752	0,66	6,33	4,9	2,15
24	141	194	21,5	112	60,8	430	15,1	9,21	0,50	0,63	1,03	83,9	9,50	8,23	305	40872	2,89	4,54	3,6	3,46
Min	40,68	65,08	5,03	19,44	31,77	115,22	5,15	1,66	0,42	0,17	0,54	22,39	2,81	2,42	151,16	17267	0,16			
Max	196	1012	24,2	141,7	113,2	515	25,06	41,0	3,66	5,11	7,51	172	22,8	14,3	6452	94006	2,89			
Mean	134,6	213,8	16,01	70,1	66,1	269	14,37	11,32	1,12	0,80	1,61	77,8	11,09	6,98	546	61881	0,93			
Ecartype	38,0	184	5,5	27,8	23,8	108	5,2	9,7	0,7	1,0	1,5	37,9	4,9	3,3	1263	18146	0,81			
<b>UCC</b>	<b>53</b>	<b>35</b>	<b>12</b>	<b>19</b>	<b>14</b>	<b>52</b>	<b>2,0</b>	<b>1,4</b>	<b>0,055</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>527</b>	<b>30890</b>				

### 3-3. Évaluation du niveau de la pollution

Les données en éléments trace sont très éparées en lagune Ebrié, et lorsqu'elles existent, elles sont incomplètes. Il s'avère de ce fait difficile d'établir le bruit de fonds géochimiques (Bn) précisément pour s'affranchir des influences anthropiques. Le choix du Bn dans cette étude s'est adapté à ces insuffisances. 3 échantillons A, B, C ont été prélevés en marge de cette étude, dans la lagune Ebrié. Ce choix a été fait en fonction de leur localisation et conforté par les résultats des analyses chimiques faits au laboratoire. Le Bn de cette étude correspond à la moyenne des teneurs obtenus dans les 3 stations A, B, C. L'échantillon A éloigné des impacts anthropiques, présente de faibles teneurs métalliques, mais est très sableux. Il est constitué de 97% de la fraction supérieure à 63  $\mu\text{m}$ . Les échantillons B et C quant à eux présentent de faibles valeurs et très peu influencés par la granulométrie. Le **Tableau 6** présente les valeurs utilisées pour le calcul de l'Igeo. Notre choix paraît approprié lorsque l'on compare nos valeurs de Bn à celles du Cd et du Pb disponible (**Tableau 7**) pour les sédiments non pollués des lagunes côtières du Golfe de Guinée [6]. Comparée au bruit de fond GEODE [7] pour les ports français.

L'indice de géoaccumulation a été calculé pour chaque élément en utilisant 2 valeurs de Bn : GEODE et présente étude. La **Figure 3** présente le pourcentage des échantillons obtenus pour les différentes classes de Müller, pour le V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Ag, Cd, Sb, Pb, Th, U, Al, Fe, Mn et Hg. Selon l'échelle de Müller, la zone étudiée est sujet à une pollution métallique, avec un large intervalle de moyennes d'Igeo qui varie de la classe 0 à la classe 3. Seul le Fe présente 100% d'échantillons dans la classe 0, donc pas de pollution en fer.

En considérant le bruit de fond des 8 métaux (Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg) étudiés par le GEODE et le Bn de ces mêmes éléments obtenus dans notre étude, on note une pollution métallique dans la zone étudiée. Avec toutefois une augmentation du pourcentage d'échantillons dans les classes 1, 2, 3 de Müller lorsqu'on passe du Bn de l'étude au Bn GEODE (**Figure 4**).

### 3-4. Évaluation de la qualité environnementale du sédiment

Plusieurs modèles numériques (guides) de la qualité du sédiment SQGs (*Sediment Quality Guidelines*) ont été développés récemment, en vue d'obtenir des outils d'interprétations adéquats pour pouvoir évaluer l'effet biologique et écologique de la pollution chimique sur le sédiment [12]. Parmi ceux-ci citons le TEC (*Threshold Effect Concentration*) et le PEC (*Probable Effect Concentration*) établis par MacDonald *et al* [13] pour évaluer la qualité des sédiments d'eau douce. Le TEC identifie les concentrations des contaminants en dessous desquels les organismes vivants dans les sédiments ne sont pas affectés. Le PEC identifie les concentrations des contaminants au dessus desquels on observe des effets néfastes sur les organismes vivants dans les sédiments [14, 15, 16]. L'utilisation de ces références (**Tableau 8**) a été efficacement prouvé pour 8 métaux traces As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni et Zn (**Tableau 9**). Si 75 à 100% des échantillons dépassent le PEC pour l'un des éléments donné, cet élément s'avère toxique pour les organismes vivant dans le sédiment [13].

Les concentrations métalliques pour chaque échantillon ont été comparées aux valeurs de TEC et PEC relatives. On observe que 77 à 100% des échantillons présentent des teneurs supérieures au TEC pour les métaux trace considérés sauf pour le Cd (10% d'échantillons). Pour le PEC, aucun effet négatif n'est à prévoir pour le Cu, Zn, As, Cd et Pb, car aucune valeur ne dépasse le PEC. 15% des échantillons présentent des teneurs supérieures au PEC pour le Hg et 3/4 des échantillons pour le Cr et le Ni.

**Tableau 6 : Détermination du bruit de fond Bn (A,B,C)**

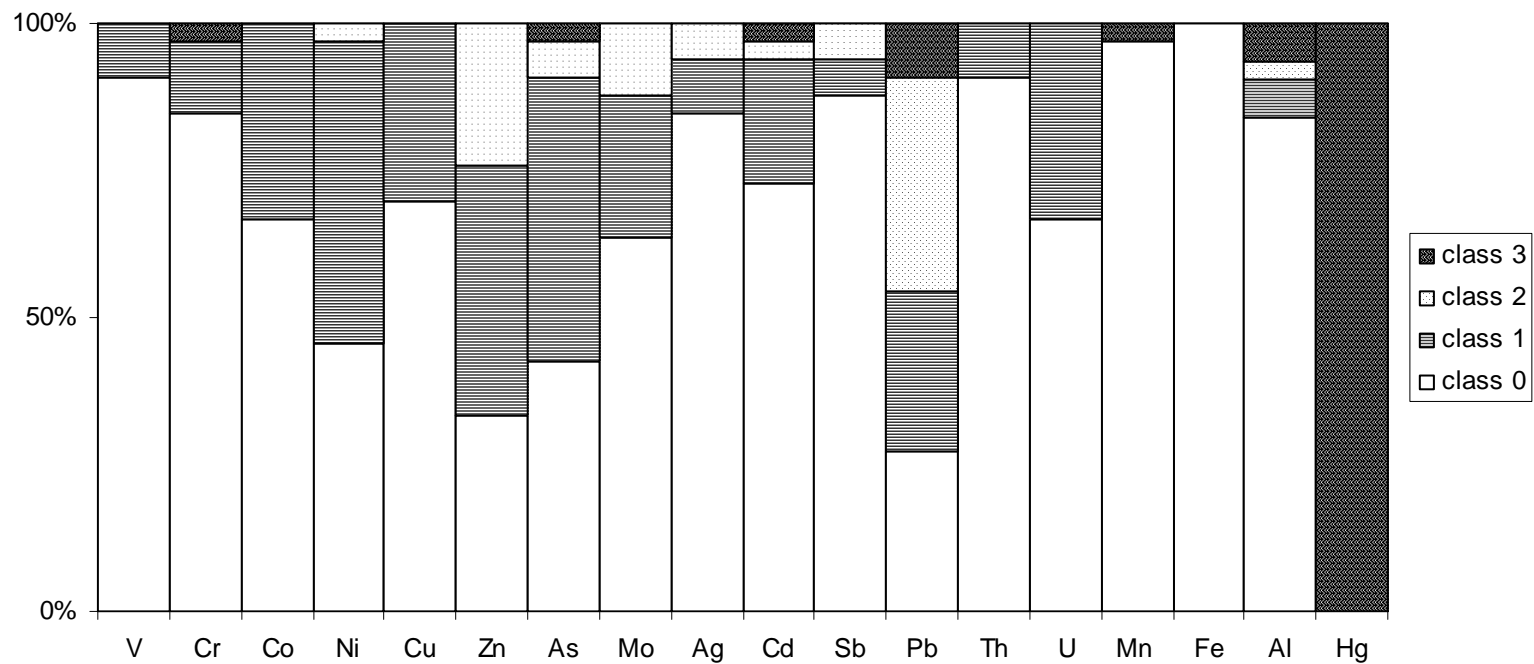
Stations	V(mg/kg)	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Cd	Sb	Pb	Th	U	Mn	Fe	Hg (µg/g)
1	187	172	6,6	35,3	50,9	427	13,5	27,1	1,33	0,77	1,76	133	22,5	5,82	181	65390	0,70
2	180	160	7,6	36,1	47,0	294	14,3	19,1	0,72	0,55	1,40	89,6	20,3	4,82	179	44680	0,37
3	155	143	15,9	55,3	88,7	296	14,4	9,06	1,04	0,46	1,07	56,9	13,5	5,33	193	78245	0,32
4	130	118	16,0	57,2	44,5	115	9,65	1,66	0,84	0,17	0,54	22,4	9,03	2,42	320	58109	0,16
5	169	173	5,0	31,6	57,6	401	14,9	9,21	2,15	0,75	2,33	172	22,8	4,09	223	66391	0,77
6	174	164	13,2	52,8	54,7	208	14,4	7,65	3,66	0,49	1,46	76,9	16,6	4,54	227	48043	0,30
7	142	139	15,7	62,1	44,8	157	12,4	2,80	0,90	0,24	1,30	45,5	11,5	3,08	166	54981	0,29
8	134	140	23,6	69,3	41,3	143	12,5	2,90	0,43	0,25	0,78	28,0	11,0	5,43	263	60577	0,22
9	128	146	17,1	107	52,5	220	17,3	3,69	0,98	0,50	0,76	40,8	10,9	4,76	6452	38301	
10	139	145	21,4	68,8	49,0	165	10,2	2,26	0,42	0,76	0,92	35,6	10,1	10,2	223	67119	0,31
11	114	124	17,0	64,6	49,0	210	6,68	7,82	0,82	5,11	0,82	52,4	8,12	5,80	317	59711	0,83
12	48,8	65,1	10,9	55,1	41,3	141	5,88	2,91	1,35	0,79	0,58	34,1	4,43	3,94	417	81477	
13	40,7	1012	5,3	19,4	31,8	230	5,15	11,1	0,98	0,49	1,88	97,7	2,81	4,07	417	39754	1,93
14	120	192	14,5	55,3	73,6	200	19,4	16,3	0,83	0,46	1,09	78,5	8,25	9,04	455	73723	2,34
15	81,1	367	21,4	101	113	346	11,7	4,25	1,22	0,92	1,17	61,8	8,19	8,03	151	17267	
16	148	256	19,8	76,3	108	390	21,5	28,2	1,46	1,04	7,51	108	9,31	14,3	475	94006	2,42
17	196	159	21,2	90,5	111	515	15,1	41,0	2,08	1,50	1,46	109	8,97	9,16	473	70268	1,23
18	136	148	17,8	80,0	64,6	184	22,1	9,52	0,55	0,33	1,03	59,9	10,9	11,7	183	83997	0,78
19	118	191	18,09	75,9	92,5	332	9,92	2,61	0,92	0,53	1,13	77,9	8,33	5,94	243	59880	
20	136	200	18,1	83,7	69,6	292	13,6	11,4	0,97	0,76	1,21	93,9	8,60	5,75	328	66575	0,77
21	128	196	15,5	73,7	87,5	177	18,0	10,7	1,28	0,30	2,23	90,6	10,4	13,8	153	51922	0,84
22	121	148	24,2	78,2	65,9	320	22,3	17,1	0,87	0,84	1,05	71,6	9,60	6,98	509	91092	0,57
23	162	379	16,9	142	86,6	274	25,1	14,1	0,57	0,47	4,22	148	10,6	10,4	247	72752	0,66
24	141	194	21,5	112	60,8	430	15,1	9,21	0,50	0,63	1,03	83,9	9,50	8,23	305	40872	2,89
Min	40,68	65,08	5,03	19,44	31,77	115,22	5,15	1,66	0,42	0,17	0,54	22,39	2,81	2,42	151,16	17267	0,16
Max	196	1012	24,2	141,7	113,2	515	25,06	41,0	3,66	5,11	7,51	172	22,8	14,3	6452	94006	2,89
A	71,3	75,3	12,8	39,8	42,4	130	6,79	1,27	0,40	0,58	1,08	21,0	6,69	2,26	801	55855	134541
B	169	173	5,0	31,6	57,6	401	14,9	9,21	2,15	0,75	2,33	172	22,8	4,09	223	66391	121542
C	111	144	19,1	57,0	39,8	90	4,40	10,7	0,20	0,17	0,39	21,1	9,76	5,51	634	91668	103561
<b>BDF(A,B,C)</b>	<b>117</b>	<b>131</b>	<b>12</b>	<b>43</b>	<b>47</b>	<b>207</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>71</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>553</b>	<b>71305</b>	<b>119881</b>
<b>BDF Geode</b>		<b>45</b>		<b>20</b>	<b>35</b>	<b>115</b>	<b>4,4</b>			<b>0,50</b>		<b>47</b>					

**Tableau 7** : Analyse comparative de la concentration (mg/kg) des métaux (sédiments <63 µm) à d'autres références

	Côte d'Ivoire Baies / Lagune Ebrié	Lagos lagoon Nigeria [8]	New Calabar river Nigeria [9]	River Wiwa Ghana [10]	Sédiments non pollués, Golf de Guinée [11]	GEODE [7]	UCC [4]
V	130,8(moy)+ 40,68-196 (min-max)*						53
Cr	190,9 65,08-1012					45	35
Co	16,42 5,03-24,2		0,9 23-56				12
Ni	68,9 19,44-141,7		3,2 2,0-4,2			20	19
Cu	62,7 31,70-113,2	15	25,5 10,3-51,0	4,7		35	14
Zn	244 89,99-515	147	31,6 10,6-40,7	16		115	52
As	15,96 4,40-53,78					4,4	2
Mo	9,97 1,27-41,0						1,4
Ag	1,01 0,20-3,66						0,055
Cd	0,68 0,13-5,11	4,1	12,8 1,0-30,0	0,16	0,2-5,0	0,5	0,1
Sb	1,42 0,39-7,51						0,3
Pb	64,8 18,05-172	178,9	41,6 23-56	13,4	8 _ 60	47	17
Th	10,57 2,81-22,8						10
U	6,39 2,19-14,3						3
Mn	540 151,16-6452						527
Fe	60641 159000-94000						3034 80
Al	209100 15970-1729000						7744 0
Hg	0,803 0,11-2,89					0,2	0,056

+ 130,8 (Moy.) : Teneur moyenne du V

\* 40,68-196 (min-max) : 40,68 Teneur minimale du V – 196 Teneur maximale du V



**Figure 3 : Niveau de pollution Igeo (A, B, C)**

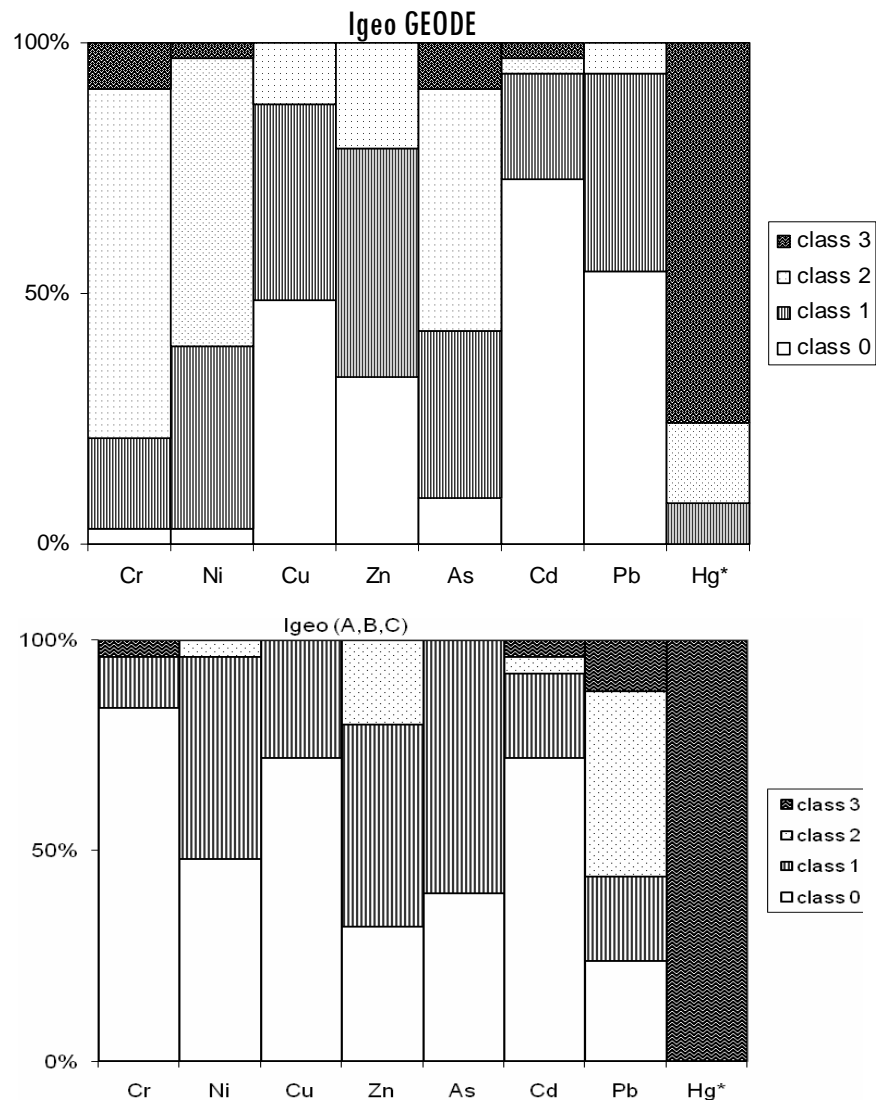


Figure 4 : Niveau de pollution avec Igeo GEODE et Igeo (A, B, C)

Tableau 8 : Métaux polluants pour quelques valeurs de références

Métaux	Igeo A,B,C	Igeo GEODE	TEC	PEC
Cr	x	x	x	x
Ni	x	x	x	x
Cu	-	x	x	-
Zn	x	x	x	-
As	x	x	x	-
Mo	x	-	-	-
Ag	x	-	-	-
Cd	x	x	x	-
Sb	x	-	-	-
Pb	x	x	x	-
Mn	x	-	-	-
Al	x	-	-	-
Hg	x	x	x	x

x : Métaux polluants

- : Métaux non polluants



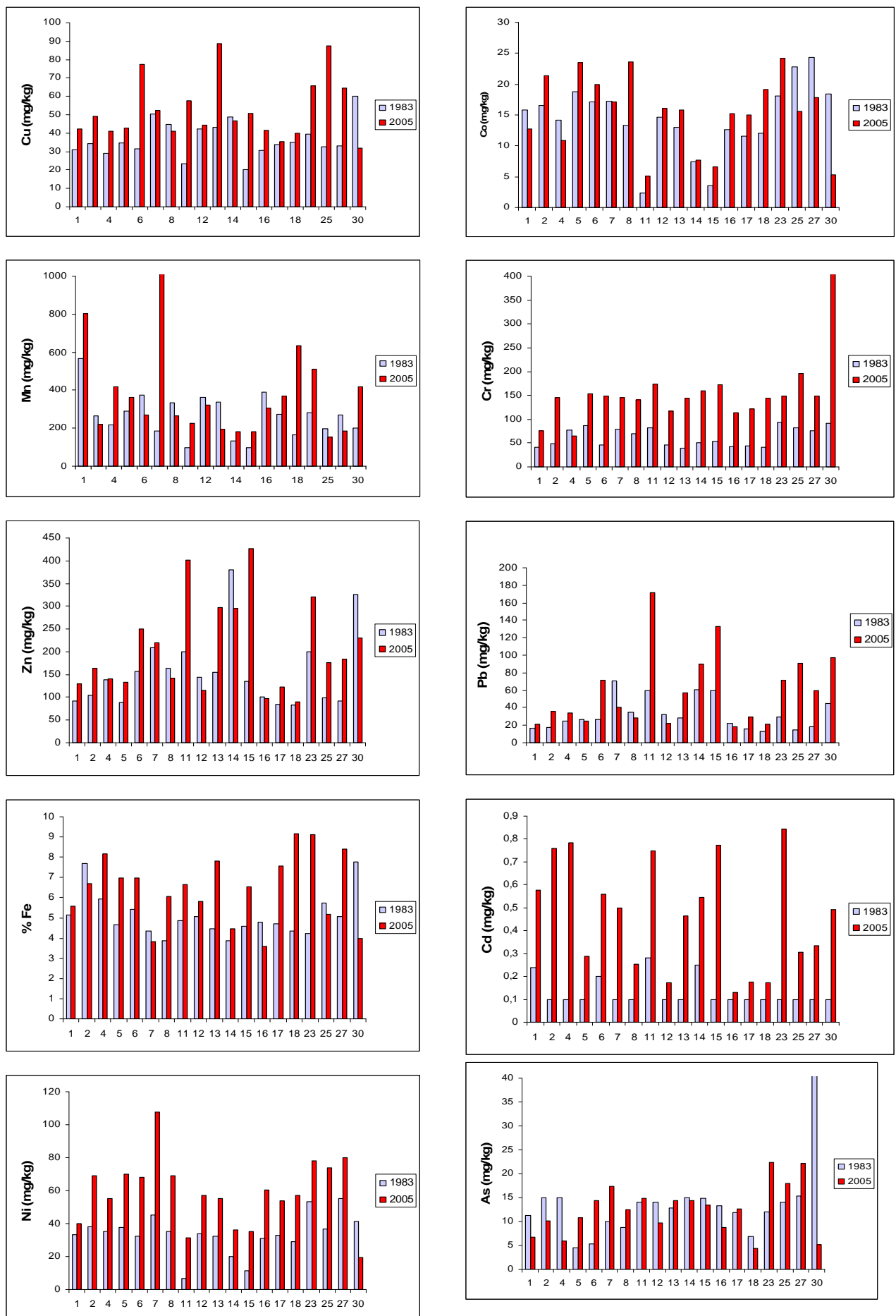
**Tableau 9:** Teneurs moyennes des SQGs ( $\mu\text{g/g}$ ) dans la lagune Ebrié

	Cr	N	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg
TEC	43.3	22.7	31.6	121	9.79	0.99	35.6	0.18
PEC	111	48.6	149	459	33	4.98	128	1.06
Valeurs moyennes en lagune Ebrié	190.9	68.9	62.7	244	15.96	0.68	64.8	803
% d'échantillons excédentaire en TEC	100%	100%	100%	94%	85%	10%	77%	91%
% d'échantillons excédentaire en PEC	94%	79%	0%	0%	0%	0%	0%	15%

### 3-5. Evolution des ETM de 1985 à 2005

Les résultats obtenus dans notre étude pour 10 métaux (Cu, Mn, Zn, Fe, Ni, Cr, Co, Pb, Cd, et As) ont pu être comparés à ceux effectués par Marchand et Martin [17]. Ces auteurs avaient conclu qu'aucune concentration observée pour ces métaux n'indiquait une pollution aiguë du milieu. En 2005 soit 10 ans plus tard, les analyses effectuées donnent des teneurs métalliques en très nette augmentation (**Tableau 10**). Deux hypothèses expliqueraient cette variation des concentrations. Elle pourrait être attribuée à une différence de méthode analytique ou à une réelle augmentation de la pollution métallique. Dans l'étude de Marchand et Martin [17], la minéralisation des échantillons pour le dosage des métaux est effectuée à l'aide d'un mélange bi-acide, mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique (3:1) concentrés. Le résidu de la minéralisation est ensuite repris dans de l'acide chlorhydrique puis une dilution adéquate est effectuée avec de l'eau bidistillée. Dans cette étude le dosage débute par une attaque tri-acide (mélange d'acide chlorhydrique, d'acide nitrique et d'acide fluorhydrique). Le résidu obtenu après chauffage est repris dans de l'acide nitrique puis dilué avec de l'eau Milli-Q®. Avec cette attaque, l'extraction des métaux est totale. L'influence de l'urbanisation, l'industrialisation et de l'évolution démographique est certaine pour les fortes concentrations métalliques observées dans cette étude.

**Tableau 10 : Évolution temporelle des teneurs en métaux de 1983 - 2005**



#### 4. Conclusion

Le dosage de métaux dans les sédiments de surface prélevés dans les baies estuariennes de la lagune Ebrié montre pour certains ETM, des taux anormalement élevés. Quantitativement, seuls le V, Co, CU, et Fe ne présentent pas de pollution et leurs concentrations se retrouvent dans les classes 0-1 de l'indice de Müller [3]. Les autres éléments appartiennent aux classes 2-3 et varient de modérément pollués à fortement pollués. On observe que 77 à 100% des sédiments estuariens présentent des teneurs supérieures au TEC pour les métaux trace considérés. Pour le PEC, aucun effet négatif n'est à prévoir pour le Cu, Zn, As, Cd et Pb. Le taux de Ni, Cr, Pb, Fe, Cd, Cu augmente fortement entre 1983 à 2005.

#### Remerciements

*Nous exprimons nos sincères remerciements à l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), CIAPOL (Abidjan) et le laboratoire TGM de l'université Bordeaux I (UMR CNRS 5805 EPOC) du Professeur G. BLANC.*

#### Références

- [1] - S. AUDRY, J. SCHÄFER, G. BLANC, C. BOSSY, G. LAVAUX Anthropogenic components on heavy metal (Cd, Zn, Cu, and Pb) budgets in the Lot-Garonne fluvial system (France). *Appl. Geochem*, 19 (2004) 769-86.
- [2] - D.H. LORING, R.T.T. RANTALA Manual for the geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth Science Review*, 32 (1992) 235-283.
- [3] - G. MÜLLER Die Schwermetallbelastung der sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse: eine Bestandsaufnahme. *Chemical Zeitung* 105 (1981) 157-164.
- [4] - K.H. WEDEPOHL The composition of continental crust. *Goechimica and Cosmochimica Acta*. Vol. 59, n° 7 (1995) 1217-1232.
- [5] - A. GRANT Multivariate statistical analyses of sediment geochemistry. *Mar. Pollut. Bull.* 21 (1990) 297-299.
- [6] - P.A. SCHEREN, A.C. IBE, F.J. JANSEN, A.M. LEMMENS Environmental pollution in the Gulf of Guinea-a regional approach. *Mar. Pol. Bull.* 44 vol. 7 (2002) 633-641.
- [7] - GEODE - Groupe d'Etude et d'Observation sur le Dragage et l'Environnement, Bilan d'activité (1993).
- [8] - B.C.O. OKOYE, O.A. AFOLABI, E.A. AJAO, Heavy metals in the Lagos Lagoon sediments. *Int. J. Environ. Stud.*, 37 (1991) 35-41
- [9] - M. JR. HORSFALL, A. I. SPIFF Distribution and partitioning of trace metals in sediments of the lower reaches of the New Calabar River, Port Harcourt, Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 78, (2001) 309-326
- [10] - C.A, BINEY, D. CALAMARI, H. NAEVE, T.W. MAEMBE, B. NYAKAGENI, M.A.H. SAAD Scientific basis for pollution control. *FAO (CIFA) Tech. paper* 25 (1994) 7-20
- [11] - GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). Review of potentially harmful substances- Arsenic, mercury and selenium. *Rep.Stud.,GESAMP (28) and UNEP Reg.Seas Rep.Stud.*, 92 (1988) 172p.
- [12] - E.R. LONG, D.D. MACDONALD, Recommended uses of empirically derived, sediment quality guidelines for marine and estuarine ecosystems. *Hum. Ecol. Risk Assess.* 4 (1998) 1019-1039.
- [13] - D.D. MACDONALD, C.G. INGERSOLL, T.A. BERGER, Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Con. Tox.* 39 (2000) 20-31.

- [14] - E.R. LONG, D.D. MACDONALD, S.L. SMITH, F.D. CALDER, Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environ. Management* 199 (1995) 81-97.
- [15] - C.G. INGERSOLL, P.S. HAVERLAND, E.L. BRUNSON, T.J. CANFIELD, F.J. DWYER, C.E. HENKE, N.E. KEMBLE, D.R. MOUNT, R.G. FOX, Calculation and evaluation of sediment effect concentrations for the amphipod *Hyacella azteca* and the midge *Chironomus riparius*. *J. Great lakes res.* 22 (1996) 2-623.
- [16] - D.D. MACDONALD, Sediment injury in the Southern California Bight: review of the toxic effects of DDTs and PCBs in sediments. Prepared for National Oceanic and Atmospheric Administration, US Department of Commerce, Long Beach, CA. (1997)
- [17] - M. MARCHAND, J.L. MARTIN, Détermination de la pollution chimique (hydrocarbures, organochlorés, métaux) dans la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) par l'étude des sédiments. *Océanogr. Trop.* 20, 1 (1985) 26-39.