

Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences



An International Peer Review E-3 Journal of Science

Available online at www.jcbpsc.org

Section D: Environmental Sciences

Cod (USA): JCBPAT

Research Article

Seasonal fluctuations of the content of metals (Ni, Cu, Zn and Cd) from the sediments of the estuarine bays of the Ebrié lagoon in Côte d'Ivoire.

Aka. A. Maurice*, Wognin A. Valérie, Irie Bi. T.J.G, Coulibaly A. Sougo,
World S. and AKA Kouamé

University Felix Houphouet Boigny of Abidjan, UFR-STRM, Department of
Marine Geosciences, 22 B.P. 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Received: 14 May 2016; revised: 01 July 2016; accepted: 06 July 2016

Summary: The estuarine bays of the Ebrié lagoon know a pollution problem the more worrisome because of the strong anthropogenic pressure of Commons they delimit. The levels of metals (Ni, Cu, Zn and Cd) were determined in the surficial sediments collected during the dry seasons and wet (February and August 2014). As well, total metal concentrations of sediments are on average higher than those of the continental crust (UCC), which reflects a case of pollution. Taken in the order, of the metal the most concentrated in the less concentrated we have: Zn > Cu > Ni > Cd. This concentration increases the dry season to the rainy season. Also, the determination of the indices of geoaccumulation (I_{geo}) of metals has shown a pollution more intense in the rainy season than in dry season. As well as the metal, the more polluting at least pollutant, it was: Cd > Cu > Zn > Ni. According to the classification of Müller (1981), Sediments studied evolve of non polluted (class 1) to very severely polluted (class 6). In addition, the content of the sediment in Ni, Cu, Zn and Cd has increased considerably from 2005 to 2014.

Keywords: pollution, metals, estuarine bays, seasons, Côte d'Ivoire.

Abstract: Estuary bays of Ebrié lagoon have one of the most alarming question pollution caused by the strong human pressure in Abidjan townships where they move around. The levels of metals (Ni, Cu, Zn and Cd) in surface sediments collected during the dry and rainy seasons (February and August 2014) have been determined. Moreover, we found out that concentrations in metals of the sediments are higher than those of the continental crust (UCC), which confirms pollution. From the most to the less concentration of metals, we have Zn> Cu> nor> CD. These concentrations increase from the dry to the rainy season. On the other hand, the determination of metal geo-accumulation indices (Igeo) has showed that pollution by metals is more in rainy season than in the dry one. About metals the most polluting to the less, we have Cd> Cu Zn>> nor. Selon Müller classification (1981), the sediments studied, progress unpolluted (Class 1) TB very severely polluted (class 6). Furthermore, the concentrations of Ni, Cu, Zn and Cd in the sediments have increased significantly from 2005 to 2014.

Keywords: pollution, metals, estuarine bays, seasons, Ivory Coast.

INTRODUCTION

The sediments of estuaries or lagoons are the ultimate tanks of various metals from the continent. Since a few years, the metal enrichment of sediments by anthropogenic activities has increased considerably. As well, many aquatic ecosystems whose shores are urbanized and industrialized countries and are characterized by sediments rich in metallic elements. The stock of metals can reach proportions if important that a sudden desorption would be a great danger^{1,2}. Similarly, pollution of the Ebrié lagoon by the metals is become a serious problem of environment. The significant flow of these elements, their toxicity and especially their strong capacity to accumulate in biota³. This metal enrichment of the sediments is strongly controlled by the hydroclimat marked by the seasonal inputs of inland waters and marine areas in the Ebrié lagoon. Thus the level of contamination and the increase in the content of the sediment in heavy metals of this ecosystem they emphasize the urgency of provide adequate solutions for its remediation. The present study assesses the seasonal evolution of the metals copper (Cu), zinc (Zn), nickel (Ni) and cadmium (Cd) in the sediment of estuarine bays of the Ebrié lagoon in Abidjan.

Methodology: In February 2014 to August 2014, two semi-annual campaigns (dry season and rainy season) of sampling surface sediments have been carried out by the (CIAPOL Center Ivorian antipollution) in the estuarine bays of the Ebrié lagoon. Only the surface sediments have been retained. They represent the area most inhabited but also the most likely to be re-suspended during the tides Geffard⁴. In addition to sediments, some hydrological parameters (temperature, pH, salinity) have been measured at each station. The mix of metals has been carried out on the fine fraction (fraction <63 µm) in order to avoid the effect of the particle size distribution. The percentage of organic matter has been determined by calculating the difference in weight, on a sample of 1 g dry sediment (60°C, 24 hours), before and after calcination at 450°C for 3 hours. The sediments have been digested by total decomposition according to the Protocol UNEP 5. The principle of the digestion procedure is based on the decomposition of sediments by the hydrofluorique acid (HF) in combination with the aqua regia (HNO₃: HCl; 1:3, v/v) to hot. The metals were assayed by atomic absorption spectrometry (AAS) electro-thermic using a Varian (model AA-20). The quality of the assays has been validated by performing of

whites extraction, which have suffered the same treatment that the samples, but also by checking the metal content of a sediment certified reference CRM CBSS-1 provided by the Division of standards for analytical chemistry Marine of Canada. The standards for the calibration curve were prepared with the same reagents that the samples.



Figure-1: Sampling Stations of the surficial sediments in the estuarine bays

Index of géoaccumulation of Müller

The index of géoaccumulation of Müller⁶ allows you to estimate the degree of accumulation of heavy metals in the sediments and is determined according to the following formula (Eq 1):

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 \times B_n} \right)$$

(Eq. 1) With:

Cn: Measured concentration in the sediment for the item n; BN: Noise of geochemical background for the n element; 1.5: constant taking into account the natural fluctuations of the content of a given substance in the environment as well as the anthropogenic influences. The data in the metallic elements are very sparse in the lagoon Ebrié, and where they exist they are incomplete⁴. It is this fact difficult to establish the background noise (geochemical Bn) to be free of anthropogenic influences. The degree of pollution of sediments has been estimated by report to the levels of the continental crust (UCC: upper continental crust) of Wedepohl 7 (**Table A-1**).

Table A-1: Different classes of Igéo of metals according to Müller (1981).

The Classes	The values	Pollution intensity
0	Igéo≤ 0	Non-polluted environment
1	0<Igéo<1	Non polluted to moderately polluted
2	1<Igéo<2	Moderately polluted
3	2<Igéo<3	Moderately polluted to severely polluted
4	3<Igéo<4	Severely polluted
5	4<Igéo<5	Of severely polluted to very severely polluted
6	5<Igéo	Very severely polluted

RESULTS AND DISCUSSION

Seasonal evolution of hydrological parameters from the sediments of the estuarine bays.

Table-2: hydrological parameters of surface sediment of the bays to dry seasons and rain.

The seasons	Dry				Rain			
	Mb	T	Sal	PH	Mb	T	Sal	PH
Banco	40,98	28.76	29.53	8.03	57,60	28,49	16.83	7.23
Cocody	48,82	29,16	26.7	7.52	63,97	28,05	15.6	6.78
Marcory	56.8	29.43	27.36	7.86	69,60	26,85	12.71	6.96
	43.75	30.24	28,84	8,00	62,04	28.2	19,25	7.1
Biétri	36.38	29.51	30.2	8.25	63.88	27,72	20.3	7.39
	34,89	30.5	27.35	7.98	50,27	29.21	14.94	6.49
Koumassi	38,28	30.75	21,67	7.47	52.06	29,22	13.79	6.68
Min	36.38	29,16	21,67	7.47	50,27	26,85	12.71	6.49
Max	56,80	30.75	30,20	8.25	69,60	29,22	20.30	7.39
Avg	42,84	29,76	27.38	7.87	59,91	28.24	16.20	6.94

The analysis in **Table-2** shows that the dry season is characterized by sediment at high temperatures (29,16 to 30.75°C), the pH relatively alkaline (7.47 to 8.25) with high values of salinity (21,67 to 30,20) % and of the levels of organic matter less important (36.38 to 56,80%).

By against the rainy season is marked by sediments with high concentrations of organic materials (50,27 to 69,60%). The temperature and salinity are less important with values respectively of (26,85 to 29,22°C) and (12.71 to 20.3%). The pH is relatively acid to alkaline (6.49 to 7.39). In effect, the organic matter in the sediments originates in large part of human activities or may exist naturally (a very low). The high levels of salinity of sediments correspond to the period where the extension of marine water is maximum

and where the contribution of inland waters is low. The Bays closest to the Vridi channel, main point of exchange between the Atlantic Ocean and the sea have the highest levels of salinity (Bay of Biétri).

In contrast, the low salinities are attributable to the waters of rivers (River Comoé) and the local rains which Dilute the salt waters which are taught in the bays. The slight alkalinity is due to the influence of the marine waters generally more basic compared to those of continental origins⁸. The pH of the sediment relatively acid in the rainy season, translated the direct effects of acidic waters of rain and continental⁹.

Table-3: Total concentrations of metals (mg/kg) in the fraction < 63 µm from the sediments of the estuarine bays.

The seasons	Dry				Rain			
	Neither	Cu	Zn Cd		Neither	Cu	Zn	Cd
Banco	123,51	134,97	380,79	2.69	202,27	183,72	492,78	3.62
Cocody	60,08	117,06	436,85	0.86	114,13	156,91	462,78	2.04
Marcory	80,09	110,52	291,57	1.91	148,22	140,35	313,17	2.93
	98,35	129,85	420,14	0.94	176,37	177,37	390,79	2.05
Biétri	132,14	127,21	689,39	6.84	122,06	174,59	703,83	8.27
	85,14	73,27	218,32	0.85	103,19	86,38	421,27	5.98
Koumassi	88,11	The 58.25	236,49	5.32	109,36	75,94	207,23	5.53
Min	60,08	The 58.25	291,57	0.85	109,36	85,94	207,23	1.98
Max	123,51	134,97	689,39	6.84	176,37	203,72	703,83	8.27
Avg	88,63	103,01	427,65	2.81	136,51	149,32	428,16	2.57
UCC	19	14	52	0.1	19	14	52	0.1

Seasonal variation of the Metals in the surficial sediments of the estuarine bays

Metal concentrations in sediments are on average higher in rainy seasons (NI = 136, 51 mg/kg; Cu = 149,32 mg/kg; Zn = 428,16 mg/kg and Cd = 2.57 mg/kg) than in dry season (NI = 88,63 mg/lg; Cu = 103,01 mg/kg; Zn = 427,65 mg/kg and Cd = 2.81 mg/kg) (**Figure 2**).

This is made of the mass arrival of the waters of the rain that drain the domestic sewage and industrial responsible for metals.

The work of Yao *et al*¹⁰, have also shown that the concentrations of metals in the sediments of the bays in Abidjan are more important in the rainy season.

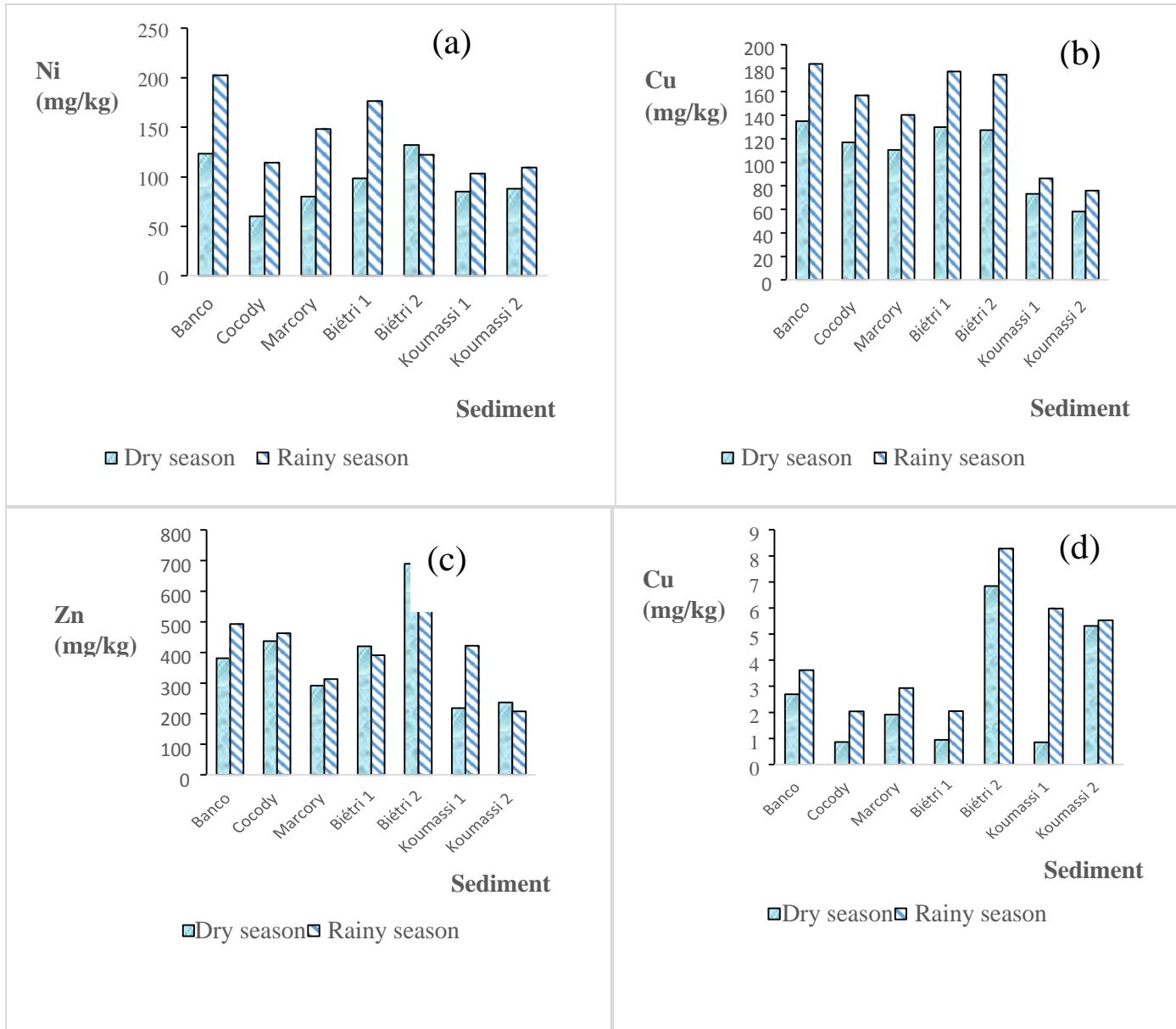


Figure 2: Total Levels of metals in surficial sediments in dry seasons and wet.

Principal components analysis (standardized acac) of hydrological parameters and metals in the sediments of estuarine bays

Correlations between the different hydrological parameters and metals: The different correlations between the different parameters testify of the affinity that exists between them (**Table-4**).

They are either from a common evolution or originate from an identical process of placing in solution in the middle.

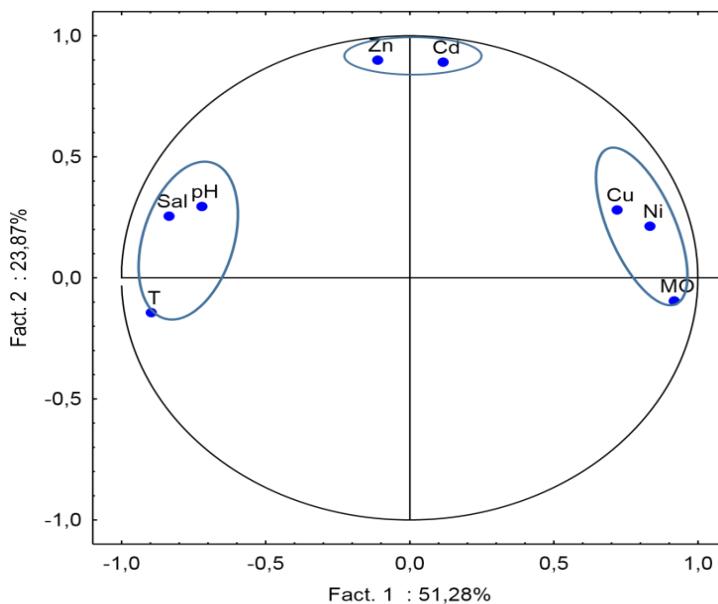
Table-4: Correlation matrix of the hydrological parameters and metals.

	T	PH	Mb	Sal	Neither	Cu	Zn	Cd
T	1.00							
PH	0.47	1.00						
Mb	-0,86	-0,62	1.00					
Sal	0,58	0,93	-0,71	1.00				
Neither	-0,73	-0.39	0,63	-,61	1.00			
Cu	-0,74	-0.14	0,66	-0.28	0,72	1.00		
Zn	0.015	0.17	-0.15	0.21	-0.01	0.05	1.00	
Cd	-0.17	0.005	-0.02	-0.01	0.25	0.14	0,76	1.00

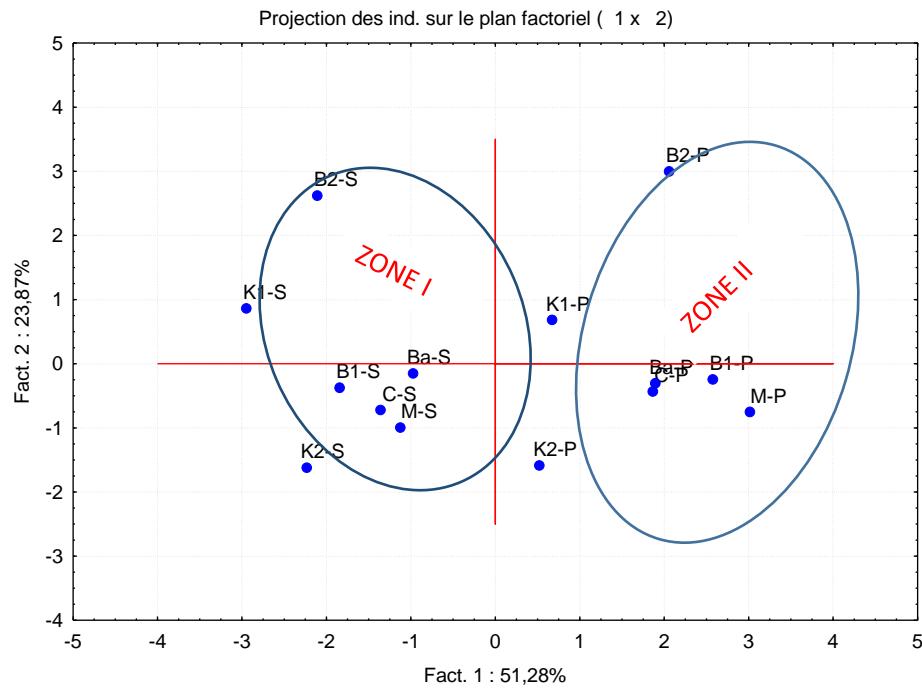
Space of variables: the F1 factor is determined by the Ni, Cu and Mo in its positive part and by the temperature, the pH and salinity in its negative part (**Figure 3**). F1 sets on the one hand the phenomenon of mounting and of complexation of metals by the organic matter in the sediments purposes and on the other hand it characterizes the seasons lagoonal while determining the periods of predominance of marine waters and Continental. The abundance of organic matter increases the retention of metals by the formation of stable complexes between metal-clay-organic materials 11.

As well, the good correlation between the metals Cu and Ni ($r \geq 0.72$) testifies to their common origin, predominantly anthropogenic. (Table-4). The factor F2 is determined in its positive part by Zn and Cd. It presents the phenomenon of enrichment of the sediment in the Metals especially the Zn and Cd.

Variables (axs, F1 and F2: 75,15%)

**Figure 3:** Space of the variables in the factorial plan F1-F2

Space of the sediments of dry seasons and wet: The overall analysis allows you to define two main groups of samples (**Figure 4**). The area I is constituted by the sediments of the dry season (CS, bottom, MS, K1S, K2S, B1S, B2S). They are characterized by sediment to t, pH and Sal high and by a concentration of Cd, Cu and Ni less important. With respect to the Area II: It is constituted by the sediments of the rainy season (CP, BaP, MS, K1P, K2P, B1P, B2P) rich in organic matter and metals. The high salinities, temperature and pH control the concentration and distribution of metals in sediments ¹².



Nb : S = dry and P = rain; Ba: Banco; C: Cocody; M: Marcory; B: Biétri; K: Koumassi;

Figure 4: Circle of community of the variables of the factorial plan F1-F2

Intensity of metal pollution of sediments

Table-5: Igeo of sediments of the Bays of Abidjan in the course of the Seasons dry and wet.

Igeo Metals	Neither	Dry			Neither	Rain		
		Cu	Zn	Cd		Cu	Zn	Cd
Banco	1.13	2.21	1.44	1.72	1.52	2.62	1.87	4.09
Cocody	0.72	1.67	1.54	3.43	1.02	2.24	1.41	6.28
Marcory	0.90	1.58	0.87	1.88	1.38	2.00	1.10	4.57
	1.02	1.81	1.97	9.23	2.67	2.5	2.67	18.16
Biétri	1.32	2.14	2.92	11.71	3.10	2.49	3.10	18.6
	0.82	0.8	0.8	1.7	1.10	0.9	1.4	2.6
Koumassi	0.88	0.9	0.9	5.7	1.20	1.4	1.5	7.86
Min	0.27	0.56	0.44	0.96	0.61	0.76	0.57	1.56
Max	1.32	2.21	2.92	11.71	3.10	2.62	3.10	18.60
Avg	0.89	1.47	1.37	4.16	1.50	1.85	1.67	7.39

During the dry season, the Igéo Ni in the sediments are between 0 and 2 (**Table-5**). This corresponds to the classes 1 and 2 of the indices of Müller. These sediments are therefore not polluted to moderately polluted by Ni. In the rainy season, les Igéo Ni belong to the classes (1 to 4) ($0 < \text{Igéo} < 4$). The sediments are not polluted to severely polluted. Sediment samples collected in the dry season by Coulibaly *et al*⁴ were non-polluted to moderately polluted by the NOR (classes 0, 1 and 2). With regard to the CU to the dry seasons and rainy, sediment samples collected are non polluted to severely polluted by the Cu with values of Igeo between ($0 < \text{Igeo} < 3$; classes 1, 2 and 3). The pollution of sediments of the bays of the Ebrié lagoon by Cu varies little reflecting a little contribution of moderate Cu¹³.

All sediments analyzed are not polluted to severely polluted by the Zn. Those in the dry season belong to classes 1, 2 and 3 ($0 < \text{Igéo} < 3$) and those of the rainy season, to classes 2, 3 and 4 ($0 < \text{Igéo} < 4$). The sediments of the bays were non-polluted to moderately polluted (classes 1 and 2) by Zn during the dry seasons and wet¹³. The Igeo of cadmium in sediments belong to classes 0 to 6. The sediments are not polluted to very severely polluted by the CD during the dry seasons rainy weather. Kouassi 13 has shown that the sediment of the bays of the Ebrié lagoon were moderately to severely polluted by cadmium (classes 3 and 4).

Evolution of the content of metals from 2005 to 2014.

Table-6: Total concentrations of metals (mg/kg) in the fraction $< 63 \mu\text{m}$ of sediments from 2005 to 2014.

Years Metals	2005				2014			
	Neither	Cu	Zn	Cd	Neither	Cu	Zn	Cd
Banco	55.3	88.7	296	0.46	113,51	154,97	380,79	0.86
Cocody	52,08	57.6	401	0.75	72,08	117,06	406,85	1.71
Marcory	68.01	52.5	220	0.50	90.09	110,52	231,57	0.94
	78.2	65.9	320	0.84	90,35	149,85	520,14	5.84
Biétri	101	113	346	0.92	132,14	127,21	689,39	4.6
	68.8	49.0	165	0.76	85,14	73,27	218,32	0.85
Koumassi	64.6	49.0	210	5.11	88,11	The 58.25	236,49	5.32
UCC	19	14	52	0.1	19	14	52	0.1

The results obtained in our study for the four metals (Cu, Zn, Ni, and CD) on the fraction $< 63 \mu\text{m}$ of surficial sediments collected during the dry season have been compared with those carried out by Coulibaly *et al*³ in 2005 with the same characteristics (**Table-6**). These authors concluded that the concentrations of Ni, Cu, Zn, and Cd into the sediment of berries were superior to those of the continental crust (UCC). This reflects that already in 2005, sediments showed signs of pollution. In 2014 or 9 years later, the analyzes carried out are in the whole of the metal levels higher than those determined by Coulibaly *et al*³ in 2005. This increase of the metal contamination of the sediments can be explained by two assumptions. It could be attributed to a difference of device of dosage or to a real intensification of the metal pollution. In the study of Coulibaly *et al*³ as in the present work, the metering begins by an

attack tri-acid (mixture of hydrochloric acid, nitric acid and hydrofluoric acid). With this attack, the extraction of metals is total. By contrast, in the study of Coulibaly and Al 3, the measures of the metals have been carried out with the help of a mass spectrometer coupled to a plasma of ionization (Perkin Elmer type Elan 5000) to detect trace elements, to minimum concentrations of 10^{-3} Ng/L. With regard to our study, metals were assayed by atomic absorption spectrometry (AAS) electro-thermic using a Varian (model AA-20). The intensification of industrialization, population growth, rapid urbanization and the absence of sanitation policy are between other factors which justify the high metal concentrations observed in this study. Figure 5 shows the evolution of the concentrations of sediment in Ni, Cu, Zn and Cd from 2005 to 2014.

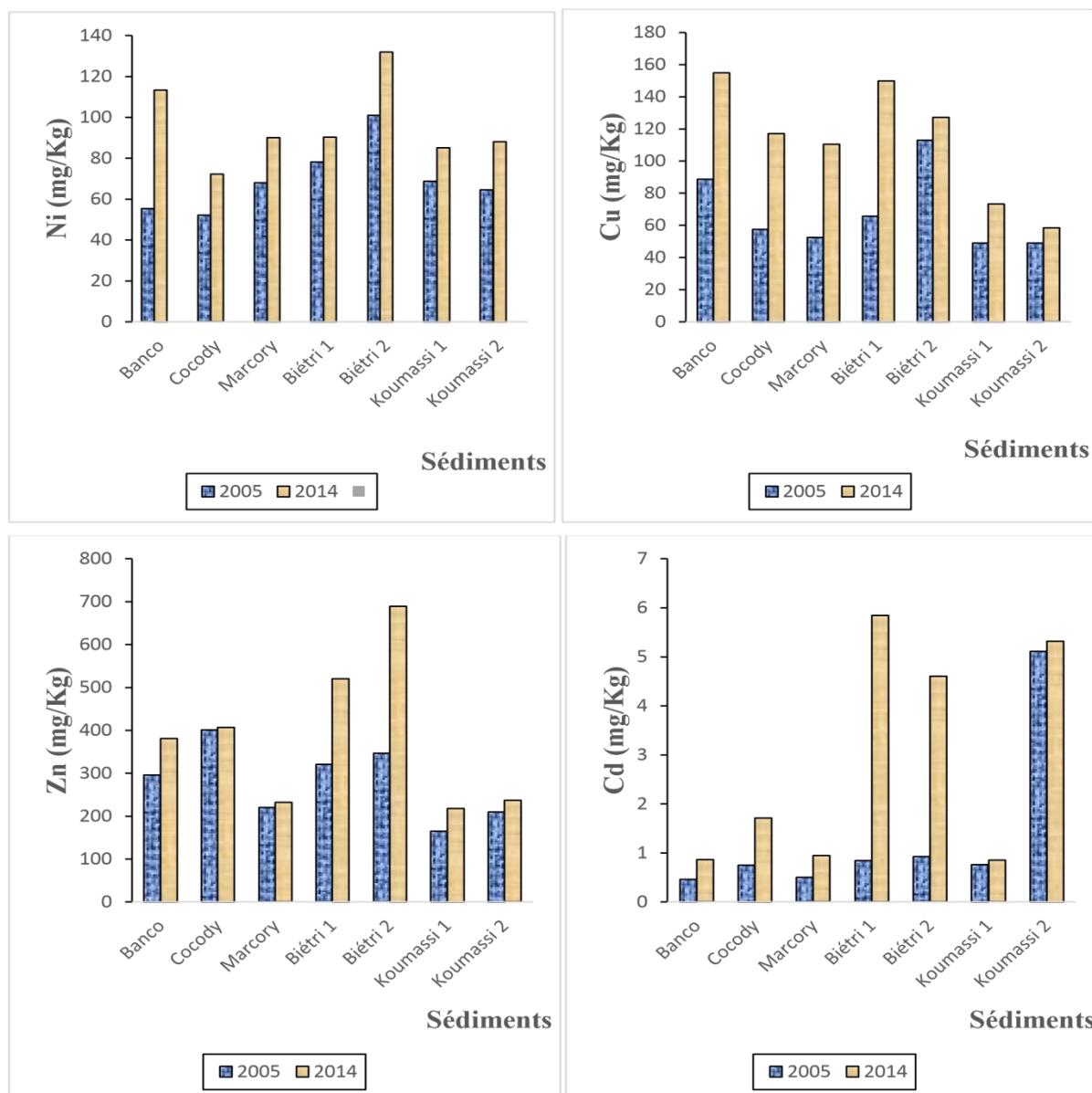


Figure 5: Evolution of the total content of (Ni, Cu, Zn and Cd) in the surficial sediments of the estuarine bays of the Ebrié lagoon from 2005 to 2014.

In 2005, nickel was more concentrated in the sediments of the Bays of Biétri (101 mg/kg), Marcory (78.2 mg/kg) and Koumassi (64.6 mg/kg), while in 2014, it is more concentrated in those of the Bays of Biétri 132,14 (mg/kg) and Banco 113,51 (mg/kg). With respect to the copper, in 2005 as in 2014, it is more abundant in the sediments of the Bays of Biétri (113 mg/kg and 127,21 mg/kg) and Banco (88.7 mg/kg and 154,97 mg/kg) but less abundant in the sediment of other arrays. In 2005, the highest concentrations of zinc of sediments were observed in the sediments of the Bays of Cocody (401 mg/kg) and Biétri (346 mg/kg). Nine (9) years later, i.e. in 2014, this Are sediments of the Bays of Biétri 689,39 (mg/kg), Cocody 406,85 (mg/kg) and Banco 380,79 (mg/kg) which have the highest concentrations of zinc.

In 2005, the sediments of the Bay of Koumassi (5,11mg/kg) were more concentrated in CD while in 2014, this are those of the Bays of Biétri (4.6 mg/kg) and Koumassi (5.32 mg/kg) that abound the highest concentrations of cadmium. The growth of the metal content of the sediments of the estuarine bays of the Ebrié lagoon from 2005 to 2014 This reflects a significant progression of the metal contamination of the sediments of the bays. This pollution tends to generalize on the level of any the estuary of the Ebrié language over the time.

CONCLUSION

The hydrological parameters characterize the lagoon seasons. The temperature, the pH and salinity are higher in the dry season while the organic matter is abundant in the sediments in the rainy season. The average concentrations of Ni (88,63 - 136,51 mg/kg), Cu (103,01 149,32 - mg/kg), Zn (427,65 428,16 - mg/kg) and Cd (2.57 - 2.81 mg/kg) in the sediments in the dry seasons and wet are superior to those of the continental crust (UCC). As well of the metal the most concentrated in the less concentrated ona: Zn > Cu > Ni > Cd. These metal concentrations increase of the dry season in the rainy season. The assessment of the intensity of the pollution, based on the index of geo-accumulation (Igeo), has helped to establish an increasing gradient of pollution which share of Cd to nor: CD > Cu > Zn > Ni. According to the classification of Müller 6 Sediments investigated are non-polluted (class 1) to very severely polluted (class 6) during the two seasons with a pollution more marked in the rainy season. The content of the sediment of estuarine bays of the Ebrié lagoon in Ni, Cu, Zn and Cd increases considerably from 2005 to 2014.

ACKNOWLEDGMENTS

We express our sincere thanks to the Center ivoirien anti-pollution (CIAPOL) and the Laboratory of Geology Marie and sedimentology (GEOMARSE) of the University Felix Houphouet Boigny of Cocody-Abidjan.

REFERENCES

1. U. Förnstner, G.T.W. Wittmann (1979). Metal Pollution in the aquatic environment. Springer Verlag. New York. *Oceanologica ACTA*. **475**, 1991. 14- N°5.
2. N.K. Keumean, B.S. Bamba, G.N. Soro, B.S. Soro, J. Biemi. Concentration of heavy metals in the sediments of the estuary of the river Comoé to Grand-Bassam (southeast of the Côte d'Ivoire). Laboratory of Sciences and Techniques of water and of Environmental Engineering (LSTEGE), 2013.

3. A.S. Coulibaly, S. world, A.V. Wognin, K. Aka. Analysis of Trace Elements metal (ETM) in the estuarine bays of abidjan in Ivory Coast. *Africa Science*. 2009, **05** (3), 77-96.
4. O. Geffard. Potential Toxicity of marine sediments and contaminated estuarine: chemical and biological assessment, bioavailability of contaminants sedimentary. N°2437, Doctoral Thesis 2001, University of Bordeaux I. 351p.
5. UNEP. Manual for Sampling and analysis of sediments. UNEP(DEPI)/MED WG.321/INF.4. 2007, 26.
6. G. Müller. Die Schwermetallbelastung der sedimente of Neckars und seiner Nebenflusse: eine Bestandsaufnahme. *Chemical Zeitung*. 1981, **105**: 157-164.
7. K.H. Wedepohl. The composition of continental crust Goechimica and Cocomochimica Acta. 1995, **59**, N°7, 1217-1232.
8. B. Inza, B.M. Soro, O.A. Etchian, B.Y. Trokoureya. Characterization physico-
9. H.B. Bouih, H.N. Assali, Mr. Leblans, A. Srhiri. Contamination in métauxtraces sediments from Lake Fouarat (Morocco). *Africa Science*. 2005, **01** 109-125.
10. K. Yao, Mr. SPRO, Y. Bokra. Assessment of sediments Contamination by Heavy Metals in tropical lagoon Urban Area (Ebrié lagoon, Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*. 2009, **34**, 2, 280-289.
11. S.R. Stephens, B.J. Alloway, A. Parker, J.E. Carter, M.E. Hodson. Changes in the leachability of metals from dredged channel sediments during and oxidation. *Environmental Pollution*. 2001, **114**, 407-413.
12. J.T Kretchik. OSHA's direction. *Chemical Health & Safety*. 2005, **12**, 44.
13. N.L.B. Kouassi. Contribution to the study of the distribution, and of the mobility and the potential toxicity of metals copper, zinc and cadmium in the sediments of a tropical estuary (Ebrié lagoon, Côte d'Ivoire). Doctoral thesis. 2014, 158.

*Corresponding Author: Aka. A. Maurice ;

University Felix Houphouet Boigny of Abidjan, UFR-STRM, Département of Marine Geosciences, 22 B.P. 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences



An International Peer Review E-3 Journal of Sciences

Available online at www.jcbpsc.org

Section D: Environmental Sciences

CODEN (USA): JCBPAT

Research Article

Fluctuations saisonnières de la teneur en métaux (Ni, Cu, Zn et Cd) des sédiments des baies estuariennes de la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire.

Aka. A. Maurice *, Wognin A. Valérie, Irie Bi. T.J.G, Coulibaly A. Sougo, Monde S. et Aka Kouamé

Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, UFR-STRM, Département de géosciences marines, 22 B.P. 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Received: 14 May 2016; **Revised:** 01 July 2016; **Accepted:** 06 July 2016

Résumé: Les baies estuariennes de la lagune Ebrié connaissent un problème de pollution les plus inquiétants du fait de la forte pression anthropique des communes qu'elles délimitent. Les teneurs en métaux (Ni, Cu, Zn et Cd) ont été déterminées dans les sédiments superficiels prélevés pendant les saisons sèche et pluvieuse (Février et Aout 2014). Ainsi, les concentrations métalliques totales des sédiments sont en moyenne supérieures à celles de la croûte continentale (UCC), ce qui témoigne un cas de pollution. Pris dans l'ordre, du métal le plus concentré au moins concentré nous avons: Zn > Cu > Ni > Cd. Cette concentration augmente de la saison sèche à la saison pluvieuse. Aussi, la détermination des indices de géoaccumulation (Igeo) des métaux a montré une pollution plus intense en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Ainsi du métal, le plus polluant au moins polluant, on a: Cd > Cu > Zn > Ni. Selon la classification de Müller (1981), les sédiments étudiés évoluent de non pollués (classe 1) à très sévèrement pollués (classe 6). Par ailleurs, la teneur des sédiments en Ni, Cu, Zn et Cd a augmenté considérablement de 2005 à 2014.

Mots-clés : Pollution, métaux, baies estuariennes, saisons, Côte d'Ivoire.

Abstract: Estuary bays of ebrié lagoon have one of the most alarming pollution question caused by the strong human pressure in Abidjan townships where they move around. The levels of metals (Ni, Cu, Zn and Cd) in surface sediments collected during the dry and rainy seasons (February and August 2014) have been determined. Thus, we found out that concentrations in metals of the sediments are higher than those of the continental crust (UCC), which confirms pollution. From the most to the less concentration of metals, we have Zn> Cu> Ni> Cd. These concentrations increase from the dry to the rainy season. On the other hand, the determination of metal geo-accumulation indices (Igeo) has showed that pollution by metals is more in rainy season than in the dry one. About metals the most polluting to the less, we have Cd> Cu> Zn> Ni. According to Müller classification (1981), the sediments studied, progress unpolluted (Class 1) to very severely polluted (class 6). Furthermore, the concentrations of Ni, Cu, Zn and Cd in the sediments have increased significantly from 2005 to 2014.

Keywords: Pollution, metals, estuarine bays, seasons, Ivory Coast.

INTRODUCTION

Les sédiments d'estuaires ou de lagunes sont les réservoirs ultimes de divers métaux issus du continent. Depuis quelques années, l'enrichissement métallique des sédiments par les activités anthropiques a considérablement augmenté. Ainsi, beaucoup d'écosystèmes aquatiques dont les rives se sont urbanisés et industrialisés et se caractérisent par des sédiments riches en éléments métalliques. Le stock de métaux peut atteindre des proportions si importantes qu'une soudaine désorption serait d'un grand danger^{1, 2}. De même, la pollution de la lagune Ebrié par les métaux est devenue un problème sérieux d'environnement vu le flux important de ces éléments, leur toxicité et surtout leur forte capacité à s'accumuler dans le biota³. Cet enrichissement métallique des sédiments est fortement contrôlé par l'hydroclimat marqué par les apports saisonniers d'eaux continentales et marines dans la lagune Ebrié. Ainsi le niveau de contamination et l'augmentation de la teneur des sédiments en métaux lourds de cet écosystème soulignent-ils l'urgence d'apporter des solutions adéquates pour son assainissement. La présente étude évalue l'évolution saisonnière des métaux cuivre (Cu), zinc (Zn), nickel (Ni) et cadmium (Cd) dans les sédiments des baies estuariennes de la lagune Ebrié à Abidjan.

Méthodologie: De février 2014 à Aout 2014, deux campagnes semestrielles (saison sèche et saison des pluies) d'échantillonnage de sédiments de surface ont été réalisées par le CIAPOL (Centre Ivoirien Antipollution) dans les baies estuariennes de la lagune Ebrié. Seuls les sédiments de surface ont été retenus. Ils représentent la zone la plus habitée mais aussi la plus susceptible d'être remise en suspension lors des marées Geffard⁴. En plus des sédiments, certains paramètres hydrologiques (température, pH, salinité) ont été mesurés à chaque station. Le dosage des métaux a été effectué sur la fraction fine (fraction <63 µm) afin d'éviter l'effet de la granulométrie. Le pourcentage de matière organique a été déterminé en calculant la différence pondérale, sur un échantillon de 1 g de sédiment sec (60°C, 24 heures), avant et après calcination à 450°C pendant 3 heures. Les sédiments ont été digérés par décomposition totale selon le protocole UNEP⁵. Le principe de la méthode de digestion est basé sur la décomposition des sédiments par l'acide hydrofluorique (HF) en combinaison avec de l'eau régale (HNO₃: HCl; 1:3, v/v) à chaud. Les métaux ont été dosés par Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) électrothermique à l'aide d'un

Varian (model AA-20). La qualité des dosages a été validée en réalisant des blancs d'extraction, qui ont subi les mêmes traitements que les échantillons, mais également en vérifiant la teneur métallique d'un sédiment certifié de référence CRM BCSS-1 fourni par la Division de standards de chimie analytique marine du Canada. Les étalons pour la courbe d'étalonnage ont été préparés avec les mêmes réactifs que les échantillons.



Figure-1: Stations d'échantillonnage des sédiments superficiels dans les baies estuariennes

Indice de géoaccumulation de Müller

L'indice de géoaccumulation de Müller⁶ permet d'estimer le degré d'accumulation des métaux lourds dans les sédiments et est déterminé selon la formule suivante (éq 1):

$$I_{\text{géo}} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5 \times B_n} \right) \quad (\text{éq } 1)$$

avec:

C_n: concentration mesurée dans le sédiment pour l'élément n ; **B_n** : bruit de fond géochimique pour l'élément n ; 1,5 : constante prenant en compte les fluctuations naturelles de la teneur d'une substance donnée dans l'environnement ainsi que les influences anthropiques. Les données en éléments métalliques sont très éparses dans la lagune Ebrié, et lorsqu'elles existent, elles sont incomplètes⁴. Il s'avère de ce fait difficile d'établir le bruit de fond géochimique (B_n) pour s'affranchir des influences anthropiques. Le degré de pollution des sédiments a été estimé par rapport aux teneurs relatives de la croûte continentale (UCC : Upper Continental Crust) de Wedepohl⁷ (**Tableau-1**).

Tableau-1 : Différentes classes d'Igéo des métaux selon Müller (1981).

Classes	Valeurs	Intensité de pollution
0	Igéo≤ 0	Non pollué
1	0<Igéo<1	De non pollué à modérément pollué
2	1<Igéo<2	Modérément pollué
3	2<Igéo<3	De modérément pollué à sévèrement pollué
4	3<Igéo<4	Sévèrement pollué
5	4<Igéo<5	De sévèrement pollué à très sévèrement pollué
6	5<Igéo	Très sévèrement pollué

RESULTATS ET DISCUSSION

Evolution saisonnière des paramètres hydrologiques des sédiments des baies estuariennes.

Tableau-2: Paramètres hydrologiques des sédiments de surface des baies aux saisons sèches et des pluies.

Saisons	Sèches				Pluies			
	MO	T	Sal	pH	MO	T	Sal	pH
Banco	40,98	28,76	29,53	8,03	57,60	28,49	16,83	7,23
Cocody	48,82	29,16	26,7	7,52	63,97	28,05	15,6	6,78
Marcory	56,8	29,43	27,36	7,86	69,60	26,85	12,71	6,96
	43,75	30,24	28,84	8,00	62,04	28,2	19,25	7,1
Biétri	36,38	29,51	30,2	8,25	63,88	27,72	20,3	7,39
	34,89	30,5	27,35	7,98	50,27	29,21	14,94	6,49
Koumassi	38,28	30,75	21,67	7,47	52,06	29,22	13,79	6,68
Min	36,38	29,16	21,67	7,47	50,27	26,85	12,71	6,49
Max	56,80	30,75	30,20	8,25	69,60	29,22	20,30	7,39
Moy	42,84	29,76	27,38	7,87	59,91	28,24	16,20	6,94

L'analyse du **Tableau-2** montre que la saison sèche est caractérisée par des sédiments à températures élevées (29,16 à 30,75°C), le pH relativement alcalin (7,47 à 8,25) avec de fortes valeurs de salinité (21,67 à 30,20) ‰ et des teneurs en matières organiques moins importantes (36,38 à 56,80 %).

Par contre la saison des pluies est marquée par des sédiments présentant de fortes teneurs de matières organiques (50,27 à 69,60%). La température et la salinité sont moins importantes avec des valeurs respectivement de (26,85 à 29,22°C) et (12,71 à 20,3) ‰. Le pH est relativement acide à alcalin (6,49 à 7,39). En effet la matière organique dans les sédiments provient en grande partie des activités humaines ou peut exister naturellement (une part très faible). Les fortes teneurs de salinité des sédiments

correspondent à la période où l'extension d'eau marine est maximale et où l'apport d'eaux continentales est faible. Les baies plus proches du canal de Vridi, principal point d'échange entre l'océan atlantique et la mer présentent les plus fortes teneurs de salinité (baie de Biétri).

A l'opposé, les faibles salinités sont imputables aux eaux des cours d'eau (fleuve Comoé) et aux pluies locales qui diluent les eaux salées qui s'instruisent dans les baies. La légère alcalinité est due à l'influence des eaux marines généralement plus basiques par rapport à celles d'origines continentales⁸. Le pH des sédiments relativement acide en saison des pluies, traduit les effets directs des eaux acides de pluies et continentales⁹.

Tableau-3: Concentrations totales des métaux (mg/kg) dans la fraction < 63 µm des sédiments des baies estuariennes.

Saisons	Sèches				Pluies			
	Ni	Cu	Zn	Cd	Ni	Cu	Zn	Cd
Banco	123,51	134,97	380,79	2,69	202,27	183,72	492,78	3,62
Cocody	60,08	117,06	436,85	0,86	114,13	156,91	462,78	2,04
Marcory	80,09	110,52	291,57	1,91	148,22	140,35	313,17	2,93
	98,35	129,85	420,14	0,94	176,37	177,37	390,79	2,05
Biétri	132,14	127,21	689,39	6,84	122,06	174,59	703,83	8,27
	85,14	73,27	218,32	0,85	103,19	86,38	421,27	5,98
Koumassi	88,11	58,25	236,49	5,32	109,36	75,94	207,23	5,53
Min	60,08	58,25	291,57	0,85	109,36	85,94	207,23	1,98
Max	123,51	134,97	689,39	6,84	176,37	203,72	703,83	8,27
Moy	88,63	103,01	427,65	2,81	136,51	149,32	428,16	2,57
UCC	19	14	52	0,1	19	14	52	0,1

Variation saisonnière des métaux dans les sédiments superficiels des baies estuariennes

Les teneurs en métaux des sédiments sont en moyenne plus élevées en saisons des pluies (Ni = 136,51 mg/kg ; Cu = 149,32 mg/kg ; Zn = 428,16 mg/kg et Cd = 2,57 mg/kg) qu'en saison sèche (Ni = 88,63 mg/kg ; Cu = 103,01 mg/kg ; Zn = 427,65 mg/kg et Cd = 2,81 mg/kg) (**Figure 2**).

Cela est le fait de l'arrivée massive des eaux de pluies qui drainent les eaux usées domestiques et industrielles chargées de métaux.

Les travaux de Yao et al¹⁰, ont montré également que les concentrations en métaux des sédiments des baies d'Abidjan sont plus importantes en saison des pluies.

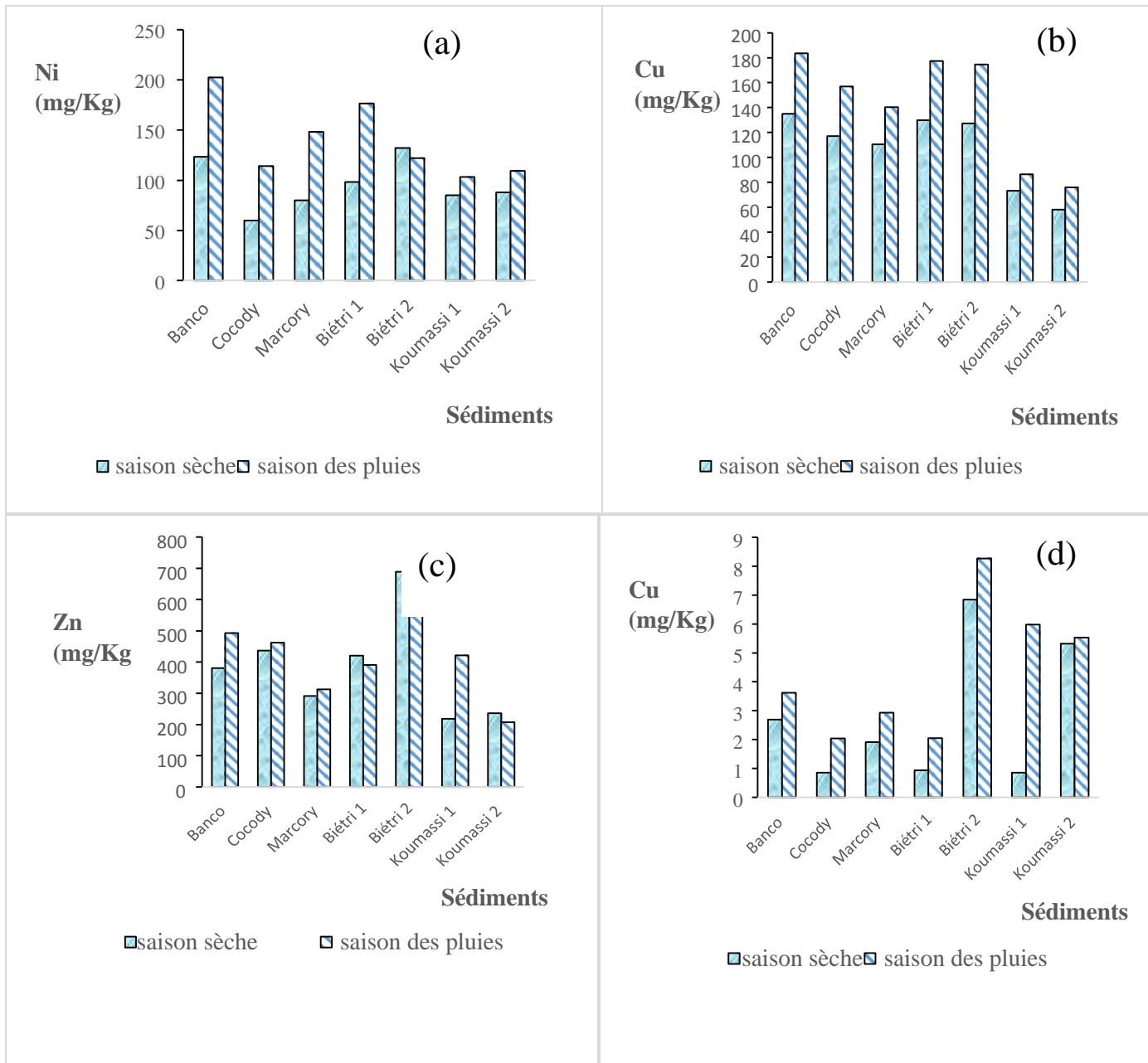


Figure 2: teneurs totales des métaux dans les sédiments superficiels en saisons sèche et pluvieuse.

Analyse en Composantes Principales Normée (ACPN) des paramètres hydrologiques et les métaux dans les sédiments des baies estuariennes

Corrélations entre les différents paramètres hydrologiques et les métaux: Les différentes corrélations entre les différents paramètres témoignent de l'affinité qui existe entre eux (**Tableau-4**).

Ils sont, soit issus d'une évolution commune ou proviennent d'un processus identique de mise en solution dans le milieu.

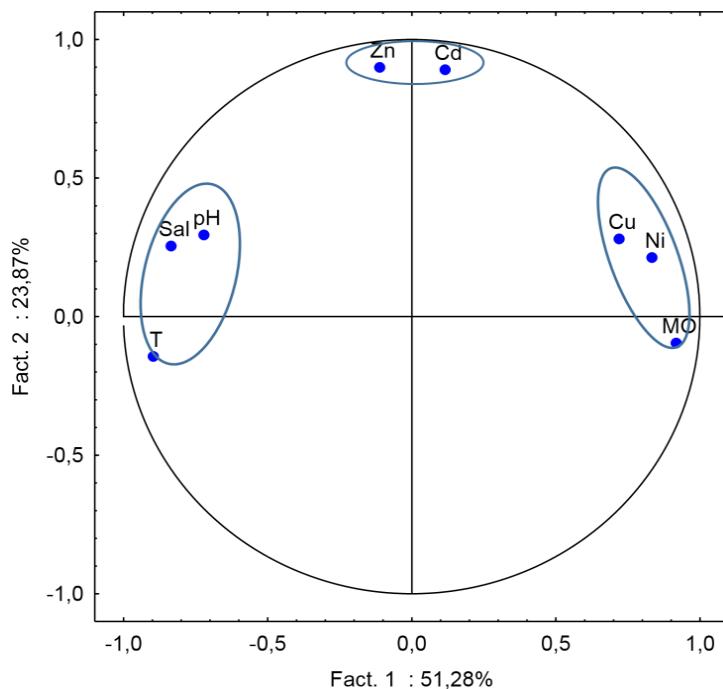
Tableau-4: Matrice de corrélation des paramètres hydrologiques et les métaux.

	T	pH	MO	Sal	Ni	Cu	Zn	Cd
T	1,00							
pH	0,47	1,00						
MO	-0,86	-0,62	1,00					
Sal	0,58	0,93	-0,71	1,00				
Ni	-0,73	-0,39	0,63	-0,61	1,00			
Cu	-0,74	-0,14	0,66	-0,28	0,72	1,00		
Zn	0,015	0,17	-0,15	0,21	-0,01	0,05	1,00	
Cd	-0,17	0,005	-0,02	-0,01	0,25	0,14	0,76	1,00

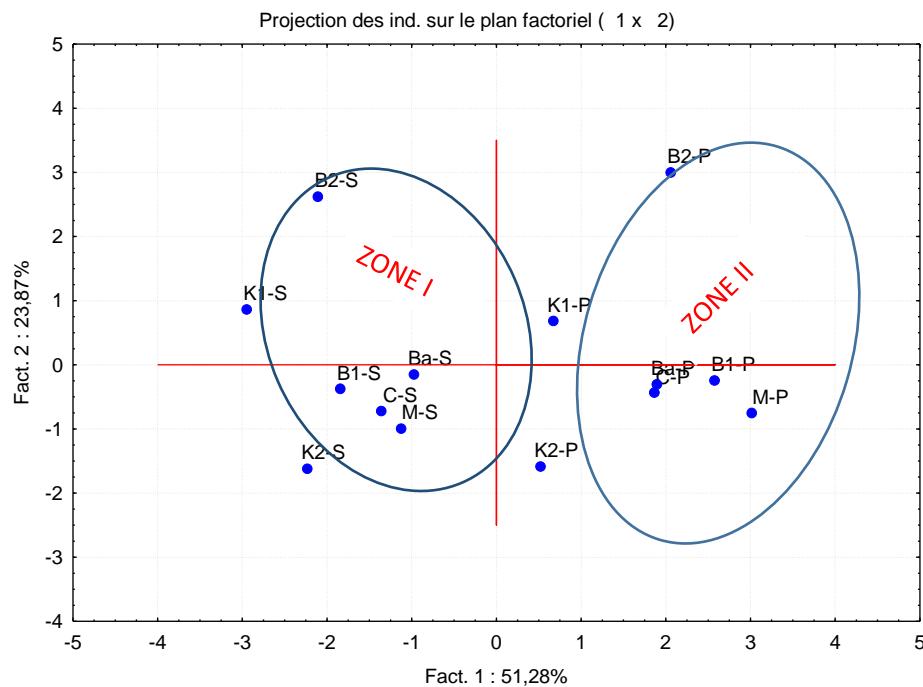
Espace des Variables: Le facteur F1 est déterminé par le Ni, Cu et la MO dans sa partie positive et par la température, le pH et la salinité dans sa partie négative (**Figure 3**). F1 définit d'une part le phénomène de fixation et de complexation des métaux par la matière organique dans les sédiments fins et d'autre part il caractérise les saisons lagunaires tout en déterminant les périodes de prédominance des eaux marines et continentales. L'abondance de matières organiques augmente la rétention des métaux par la formation de complexes stables entre métal-argile-matières organiques ¹¹.

Ainsi, la bonne corrélation entre les métaux Cu et Ni ($r \geq 0,72$) témoigne de leur origine commune, principalement anthropique. (**Tableau-4**). Le facteur F2 est déterminé dans sa partie positive par le Zn et le Cd. Il présente le phénomène d'enrichissement des sédiments en métaux surtout le Zn et le Cd.

Variables (axes, F1 et F2: 75,15 %)

**Figure 3:** Espace des variables dans le plan factoriel F1-F2

Espace des sédiments des saisons sèche et pluvieuse: L'analyse globale permet de définir deux groupes principaux d'échantillons (**Figure 4**). La Zone I est constituée par les sédiments de la saison sèche (CS, BaS, MS, K1S, K2S, B1S, B2S). Ils sont caractérisés par des sédiments à T, pH et Sal élevés et par une concentration de Cd, Cu et Ni moins importante. Quant à la Zone II : elle est constituée par les sédiments de la saison des pluies (CP, BaP, MS, K1P, K2P, B1P, B2P) riches en matière organique et en métaux. Les fortes salinités, température et pH contrôlent la concentration et la répartition des métaux dans les sédiments¹².



Nb : S = sèche et P = pluie ; Ba : Banco ; C : Cocody ; M: Marcory ; B: Biétri; K : Koumassi;

Figure 4: Cercle de communauté des variables du plan factoriel F1-F2

Intensité de pollution métallique des sédiments

Tableau-5 : Igeo des sédiments des baies d'Abidjan au cours des saisons sèche et pluvieuse.

Igeo		Sèches						
Métaux	Ni	Cu	Zn	Cd	Ni	Cu	Zn	Cd
Banco	1,13	2,21	1,44	1,72	1,52	2,62	1,87	4,09
Cocody	0,72	1,67	1,54	3,43	1,02	2,24	1,41	6,28
Marcory	0,90	1,58	0,87	1,88	1,38	2,00	1,10	4,57
	1,02	1,81	1,97	9,23	2,67	2,5	2,67	18,16
Biétri	1,32	2,14	2,92	11,71	3,10	2,49	3,10	18,6
	0,82	0,8	0,8	1,7	1,10	0,9	1,4	2,6
Koumassi	0,88	0,9	0,9	5,7	1,20	1,4	1,5	7,86
Min	0,27	0,56	0,44	0,96	0,61	0,76	0,57	1,56
Max	1,32	2,21	2,92	11,71	3,10	2,62	3,10	18,60
Moy	0,89	1,47	1,37	4,16	1,50	1,85	1,67	7,39

Pendant la saison sèche, les Igéo du Ni dans les sédiments sont compris entre 0 et 2 (**Tableau-5**). Ce qui correspond aux classes 1 et 2 des indices de Müller. Ces sédiments sont donc non pollués à modérément pollués par le Ni. En saison pluvieuse, les Igéo du Ni appartiennent aux classes (1 à 4) ($0 < \text{Igéo} < 4$). Les sédiments sont non pollués à sévèrement pollués. Les sédiments prélevés en saison sèche par Coulibaly *et al*⁴ étaient non pollués à modérément pollués par le Ni (classes 0, 1 et 2). S'agissant du Cu aux saisons sèche et pluvieuse, les sédiments prélevés sont non pollués à sévèrement pollués par le Cu avec des valeurs d'Igeo comprises entre ($0 < \text{Igéo} < 3$; classes 1, 2 et 3). La pollution des sédiments des baies de la lagune Ebrié par le Cu varie peu traduisant un apport peu modéré de Cu¹³.

Tous les sédiments analysés sont non pollués à sévèrement pollués par le Zn. Ceux de la saison sèche appartiennent aux classes 1, 2 et 3 ($0 < \text{Igéo} < 3$) et ceux de la saison pluvieuse, aux classes 2, 3 et 4 ($0 < \text{Igéo} < 4$). Les sédiments des baies étaient non pollués à modérément pollués (classes 1 et 2) par le Zn lors des saisons sèche et pluvieuse¹³. Les Igeo du Cadmium dans les sédiments appartiennent aux classes 0 à 6. Les sédiments sont non pollués à très sévèrement pollués par le Cd pendant les saisons sèche pluvieuse. Kouassi¹³ a montré que les sédiments des baies de la lagune Ebrié étaient modérément à sévèrement pollués par le cadmium (classes 3 et 4).

Evolution de la teneur des métaux de 2005 à 2014.

Tableau-6: Concentrations totales des métaux (mg/kg) dans la fraction $< 63 \mu\text{m}$ des sédiments de 2005 à 2014.

Années Métaux	2005				2014			
	Ni	Cu	Zn	Cd	Ni	Cu	Zn	Cd
Banco	55,3	88,7	296	0,46	113,51	154,97	380,79	0,86
Cocody	52,08	57,6	401	0,75	72,08	117,06	406,85	1,71
Marcory	68,01	52,5	220	0,50	90,09	110,52	231,57	0,94
	78,2	65,9	320	0,84	90,35	149,85	520,14	5,84
Biétri	101	113	346	0,92	132,14	127,21	689,39	4,6
	68,8	49,0	165	0,76	85,14	73,27	218,32	0,85
Koumassi	64,6	49,0	210	5,11	88,11	58,25	236,49	5,32
UCC	19	14	52	0,1	19	14	52	0,1

Les résultats obtenus dans notre étude pour les quatre métaux (Cu, Zn, Ni et Cd) sur la fraction $< 63 \mu\text{m}$ des sédiments superficiels prélevés lors de la saison sèche ont été comparés à ceux effectués par Coulibaly *et al*³ en 2005 présentant les mêmes caractéristiques (**Tableau-6**). Ces auteurs avaient conclu que les teneurs en Ni, Cu, Zn et Cd dans les sédiments des baies étaient supérieures à celles de la croute continentale (UCC). Cela traduit qu'en 2005 déjà, les sédiments présentaient des signes de pollution. En 2014 soit 9 ans plus tard, les analyses effectuées donnent dans l'ensemble des teneurs métalliques plus élevées que celles déterminées par Coulibaly *et al*³ en 2005. Cette augmentation de la contamination métallique des sédiments peut s'expliquer par deux hypothèses. Elle pourrait être attribuée à une différence d'appareil de dosage ou à une réelle intensification de la pollution métallique. Dans l'étude de Coulibaly *et al*³ comme dans le présent travail, le dosage débute par une attaque tri-acide (mélange

d'acide chlorhydrique, d'acide nitrique et d'acide fluorhydrique). Avec cette attaque, l'extraction des métaux est totale. Par contre dans l'étude de Coulibaly *et al*³, Les mesures des métaux 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} Ng./L. S'agissant de notre étude, les métaux ont été dosés par Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) électrothermique à l'aide d'un Varian (model AA-20). L'intensification de l'industrialisation, la croissance démographique, l'urbanisation rapide et l'absence de politique d'assainissement sont entre autre les facteurs qui justifient les fortes concentrations métalliques observées dans cette étude. La **Figure 5** présente l'évolution des concentrations des sédiments en Ni, Cu, Zn et Cd de 2005 à 2014.

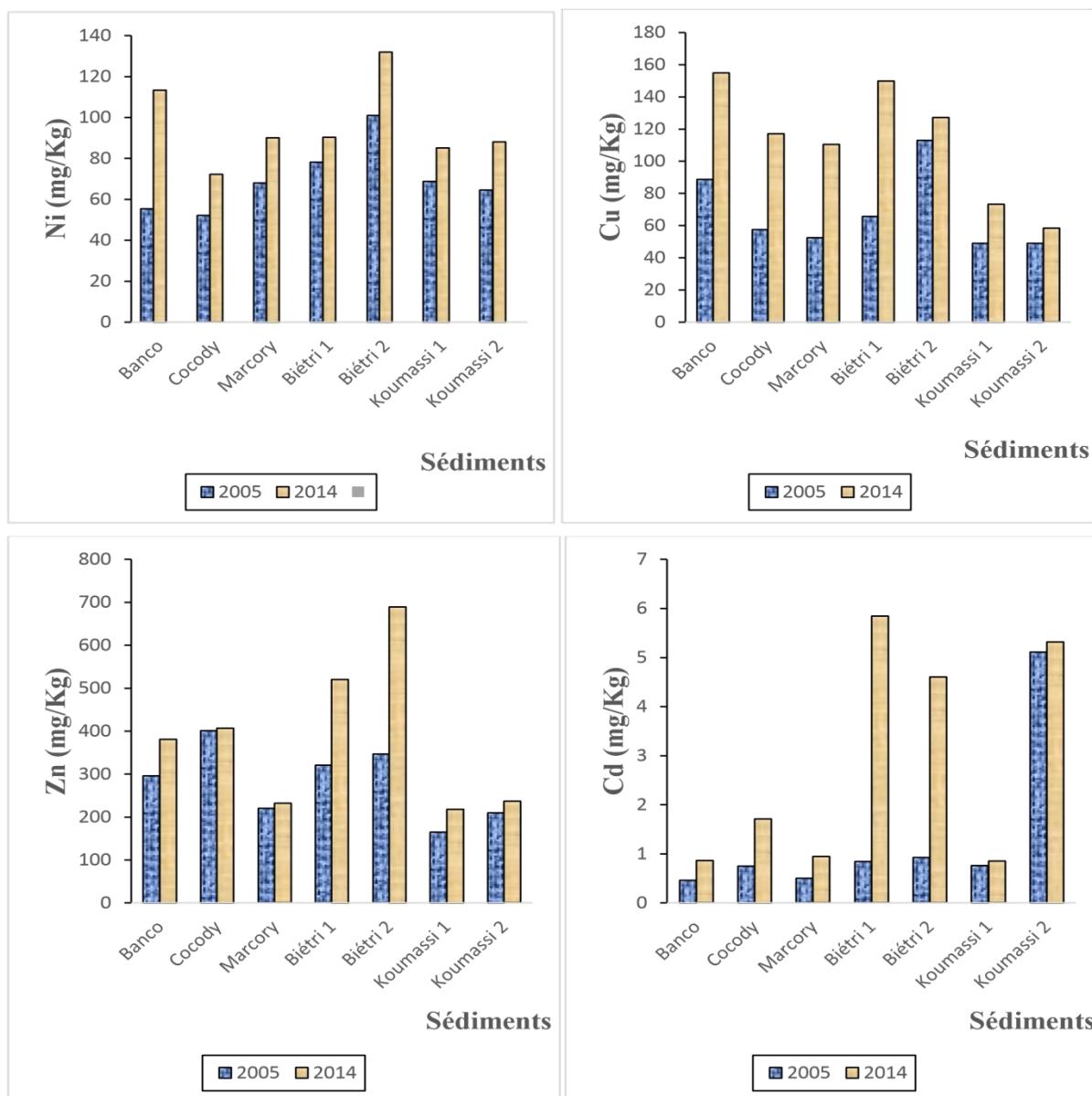


Figure 5: Evolution de la teneur totale en (Ni, Cu, Zn et Cd) dans les sédiments superficiels des baies estuariennes de la lagune Ebrié de 2005 à 2014.

En 2005, le nickel était plus concentré dans les sédiments des baies de Biétri (101 mg/kg), Marcory (78,2 mg/kg) et Koumassi (64,6 mg/kg) alors qu'en 2014, il se trouve plus concentré dans ceux des baies de Biétri (132,14 mg/kg) et Banco (113,51 mg/kg). Quant au cuivre, en 2005 comme en 2014, il est plus abondant dans les sédiments des baies de Biétri (113 mg/kg et 127,21 mg/kg) et Banco (88,7 mg/kg et 154,97 mg/kg) mais moins abondant dans les sédiments des autres baies. En 2005, les plus fortes teneurs en zinc des sédiments étaient observées dans les sédiments des baies de Cocody (401 mg/kg) et Biétri (346 mg/kg). Neuf (9) ans plus tard, c'est-à-dire en 2014, ce sont les sédiments des baies de Biétri (689,39 mg/kg), Cocody (406,85 mg/kg) et Banco (380,79 mg/kg) qui présentent les plus fortes teneurs en zinc.

En 2005, les sédiments de la baie de Koumassi (5,11mg/kg) étaient plus concentrés en Cd alors qu'en 2014, ce sont ceux des baies de Biétri (4,6 mg/kg) et Koumassi (5,32 mg/kg) qui regorgent les plus fortes teneurs de cadmium. La croissance de la teneur métallique des sédiments des baies estuariennes de la lagune Ebrié de 2005 à 2014 Cela traduit une progression importante de la contamination métallique des sédiments des baies. Cette pollution tend à se généraliser au niveau de tout l'estuaire de la langue Ebrié au fil des temps.

CONCLUSION

Les paramètres hydrologiques caractérisent les saisons lagunaires. La température, le pH et la salinité sont plus élevés en saison sèche alors que la matière organique est abondante dans les sédiments en saison pluvieuse. Les concentrations moyennes de Ni (88,63 – 136,51 mg/kg), Cu (103,01 – 149,32 mg/kg), Zn (427,65 – 428,16 mg/kg) et Cd (2,57 – 2,81 mg/kg) dans les sédiments des saisons sèches et pluvieuses sont supérieures à celles de la croûte continentale (UCC). Ainsi du métal le plus concentré au moins concentré on a: Zn > Cu > Ni > Cd. Ces concentrations métalliques augmentent de la saison sèche à la saison des pluies. L'évaluation de l'intensité de la pollution, basé sur l'indice de géo-accumulation (Igeo), a permis d'établir un gradient croissant de pollution qui part de Cd à Ni: Cd > Cu > Zn > Ni. Selon la classification de Müller⁶ les sédiments étudiés sont non pollués (classe 1) à très sévèrement pollués (classe 6) au cours des deux saisons avec une pollution plus marquée en saison de pluie. La teneur des sédiments des baies estuariennes de la lagune Ebrié en Ni, Cu, Zn et Cd augmente considérablement de 2005 à 2014.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons nos sincères remerciements au Centre Ivoirien Anti-pollution (CIAPOL) et le Laboratoire de Géologie Marie et Sédimentologie (GEOMARSE) de l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. U. Förnstner, G.T.W. Wittmann (1979). Metal pollution in the aquatic environment. Springer Verlag. New York. *Oceanologica Acta*. **475**, 1991. 14- N°5.
2. N.K. Keumean, B.S. Bamba, G.N. Soro, B.S. Soro, J. Biemi. Concentration en métaux lourds des sédiments de l'estuaire du fleuve Comoé à Grand-Bassam (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et du Génie de l'Environnement (LSTEGE), 2013.

3. A.S. Coulibaly, S. Monde, A.V. Wognin, K. Aka. Analyse des Eléments Traces Métalliques (ETM) dans les baies estuariennes d'Abidjan en Côte d'Ivoire. *Afrique Science*. 2009, **05** (3), 77-96.
4. O. Geffard. Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés : évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants sédimentaires. N°2437, Thèse de Doctorat 2001, Université de Bordeaux I. 351p.
5. UNEP. Manuel d'échantillonnage et d'analyse des sédiments. UNEP(DEPI)/MED WG.321/Inf.4. 2007, 26.
6. G. Müller. Die Schwermetallbelastung der sedimente des Neckars und seiner Nebenflusse: eine Bestandsaufnahme. *Chemical Zeitung*. 1981, **105**: 157-164.
7. K.H. Wedepohl. The composition of continental crust Goechimica and Cocomochimica Acta. 1995, **59**, n°7, 1217-1232.
8. B. Inza, B.M. Soro, O.A. Etchian, B.Y. Trokoureya. Caractérisation physico-
9. H.B. Bouih, H.N. Assali, M. Leblans, A. Srhiri. Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (Maroc). *Afrique Science*. 2005, **01** 109-125.
10. K. Yao, M. Spro, Y. Bokra. Assessment of Sediments Contamination by Heavy Metals in Tropical Lagoon Urban Area (Ebrié Lagoon, Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*. 2009, **34**, 2, 280-289.
11. S.R. Stephens, B.J. Alloway, A. Parker, J.E. Carter, M.E. Hodson. Changes in the leachability of metals from dredged canal sediments during and oxidation. *Environmental Pollution*. 2001, **114**, 407-413.
12. J.T Kretchik. OSHA's direction. *Chemical Health & Safety*. 2005, **12**, 44-44.
13. N.L.B. Kouassi. Contribution à l'étude de la distribution, de la mobilité et de la toxicité potentielle des métaux cuivre, zinc et cadmium dans les sédiments d'un estuaire tropical (lagune Ebrié, côte d'ivoire). Thèse de doctorat. 2014, 158.

*Corresponding Author: Aka. A. Maurice; Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, UFR-STRM, Département de géosciences marines, 22 B.P. 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.