Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie

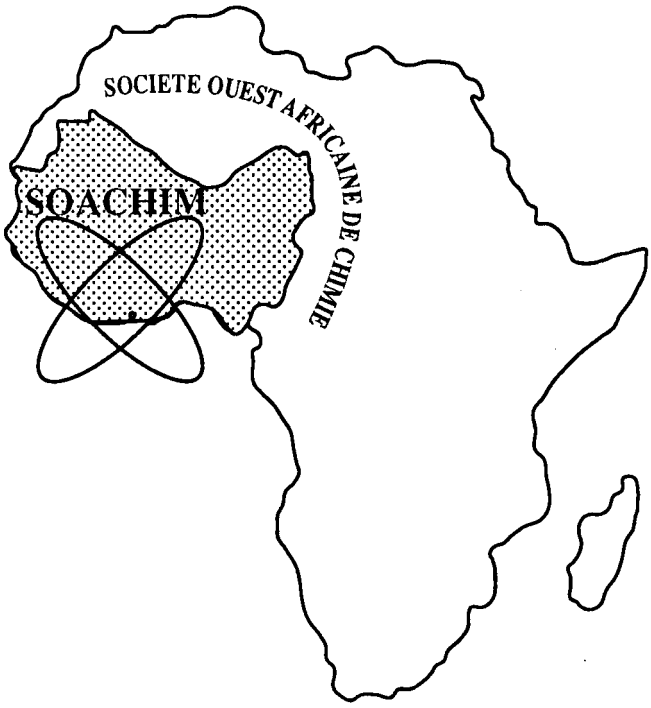
J. Soc. Ouest-Afr. Chim.

Code Chemical Abstracts : JSOCF2

Cote INIST (CNRS France) : <27680>

ISSN 0796-6687

16ème Année, Décembre 2011, N° 032



Site Web: http://www.soachim.org

Caractérisation et influence des apports polluants sur la distribution du plomb sédimentaire dans le Chenal de Cotonou (Bénin)

Alassane Youssao[1*], Henri H Soclo[1], Clément Bonou[2], Magloire Gbaguidi[1], Bertin Bossou[1], Léonce Dovonon[1], Benjamin Fayomi[2], Olivier Donard[3]

[1]Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie appliquée / Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi / Université d'Abomey - Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Benin
[2] Labratoire d'Impact Environnemental / Institut des Sciences Biomédicales Appliquées (ISBA), 01 BP 188 Champ de foire Cotonou / Benin
[3]Laboratoire de Chimie Analytique Bioinorganique et Environnement / Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) : Institut Pluridisciplinaire de Recherche sur l'Environnement et les Matériaux (IPREM – UMR 5254) HELIOPARC – 2, Avenue du Président Pierre Angot 64053 PAU Cedex 9, france

(Reçu le 14/ 03/2011 – Accepté après corrections le 13/12/2011)

Résumé : La pollution environnementale de deux (2) sources de contamination (urbaine et continentale) a été caractérisée dans le chenal de Cotonou. Les résultats de l'étude montrent que les apports polluants de la ville de Cotonou sont fortement organiques et biodégradables (MES/DCO entre 0,5 et 1,5) et ($DCO/DBO_5 \leq 3$),. à l'exception de ceux débouchant sur le site de Xanadu proche de l'embouchure Les coefficients de corrélation r et les seuils de signification p, obtenus avec le plomb étaient respectivement : $r = -0,71$ et $p < 0,01$ pour les ions phosphates ; $r = -0,79$ et $p < 0,01$ pour les nitrites ; $r = 0,66$ et $p < 0,05$ pour l'ammonium ; $r = 0,64$ et $p < 0,05$ pour les nitrates. Ces corrélations indiquèrent l'existence de relation entre le plomb et la matière organique d'une part et les ions ligands sus mentionnés d'autre part. Ainsi, ces apports polluants influent sur la mobilité du plomb à travers les systèmes naturels. Les teneurs des différents polluants, comparées aux normes nationales et/ou internationales montrent l'état de dégradation préoccupant des eaux du Chenal de Cotonou.

Mots clés : Pollution, mobilité du plomb, Proc glm, Chenal de Cotonou.

Characterization and influence of pollutant inputs on the distribution of sedimentary lead in the Cotonou Channel (Bénin)

Abstract : The environmental pollution due to two sources of contamination (continental and urban sources) has been investigated in the Cotonou channel. The results of the study showed that the pollutant effluents from the Cotonou city activities were highly constituted of organic and biodegradable matter (SM/COD ranging between 0.5 and 1.5; $COD/BOD_5 \leq 3$), except the Xanadu site near the sea mouth. Correlation coefficients (r) and thresholds (p), obtained with the Pb levels were respectively: $r = 0.71$ and $p < 0.01$ for phosphate; $r = -0.79$ and $p < 0.01$ for nitrites, $r = 0.66$ and $p < 0.05$ for ammonium; $r = 0.64$ and $p < 0.05$ for nitrates. These correlations revealed relationships, first between Pb and organic matter, and between Pb and ligand ions in the second side. So, these pollutant effluents influence Pb distribution through the natural systems. Concentrations of different pollutants compared with the national and international norms showed the worrying degradation status of the Cotonou lagoon waters.

Key words: Pollution, mobility of lead, Proc GLM, Cotonou channel.

[*] **Auteur Correspondant** : abdoussao@yahoo.fr, tel : (00229) 97 89 43 20

1. Introduction

Au Bénin, la pêche est un secteur primordial pour l'économie et pour l'alimentation [1]. Les produits de pêche, les plus importants pour la consommation locale, doivent en outre satisfaire aux exigences des pays importateurs en matière de sécurité des aliments pour espérer contribuer plus efficacement à la croissance économique. Malheureusement, ces activités sont menacées de disparition tant ces ressources se raréfient et sont l'objet de discrimination parce que affectées par la pollution au Bénin comme dans la plupart des pays africains [2]. Le trafic de l'essence frelatée, le trafic routier, les déchets municipaux (liquides et solides), industriels, agricoles et artisanaux sont les sources de contamination les plus importantes [3, 4, 5]. Des industries locales sont fermées parce que leurs produits sont fortement contaminés [6]. C'est le cas de CRUSTAMER qui avait le monopole de l'exportation des crevettes locales. Des pêcheurs locaux sont contraints à l'exode massif notamment vers le Gabon pour des raisons de raréfaction des ressources qui n'arrivaient plus à satisfaire leurs besoins quotidiens. Devant l'ampleur de la situation, l'arrêté n°068/MDR/DC/CC/CP du 12 mars 1997 a été pris pour interdire la pêche dans le Chenal afin de permettre une auto régénération des espèces. On comprend que le manque de législation, ou la non application des réglementations en vigueur en matière de gestion et de protection des eaux naturelles expose les milieux aquatiques à toutes formes de pollution dont les conséquences, à court ou à long terme, finissent par atteindre l'homme.

Dans cette étude, nous avons montré l'impact des rejets des effluents et déchets municipaux sur les milieux récepteurs aquatiques. Pour cela, nous avons mesuré au laboratoire les principaux paramètres de pollution organique, azotée, phosphatée et métallique (Pb) dans les eaux du Chenal de Cotonou. La mobilité du plomb a été étudiée en relation avec les ligands (azoté, phosphaté).

2. Matériel et Méthodes

2.1 Milieu d'étude

Le Chenal de Cotonou est un débouché artificiel creusé au XIXème siècle, situé au Bénin, entre les parallèles 2°26'30'' et 2°26'22'' Nord et les méridiens 6°20' et 6°23' Est. Il assure le lien entre l'océan Atlantique et le lac Nokoué**,** vaste étendue d'eau d'une superficie de 224 Km^2. Le Chenal mesure 4500 m de long et 300 m de large.

2.2 Campagnes d'échantillonnage et mesure de paramètres on situ

Six (6) sites ont été retenus sur la berge ouest et un (1) site du côté opposé (Dédokpo) sur le Chenal de Cotonou. Ils correspondent à des sources de pollution différentes et sont désignés de CC_1 à CC_7 comme présenté ci-dessous (**tableau I**).

Tableau I : Caractéristiques et coordonnées des sites d'échantillonnage

CC_1	Embouchure	*06°21'007" N*	*02°26'058" E*	*Interface Océan et eaux continentales*
CC_2	LTC	*06°21'794"N*	*02°26'299" E*	*Tas d'immondice, teinturiers.*
CC_3	Dédokpo	*06°22'042" N*	*02°26'359" E*	*Latrines sur pilotis, exutoire, essence.*
CC_4	Gbogbanou	*06°22'085"N*	*02°26'200" E*	*Toilettes, urines et fèces.*
CC_5	Dantokpa	*06°22'536"N*	*02°26'130" E*	*Marché (ordure), essence, exutoire, pont.*
CC_6	Hindé	*06°22'724"N*	*02°26'099" E*	*Collecteur, garage (huiles usagées).*
CC_7	Djidjè	*6°22'956"N*	*02°26'3130"E*	*Collecteur, ordures.*

Six campagnes d'échantillonnage sont effectuées de septembre 2005 à juin 2006. Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en verre ou dans des bouteilles plastiques puis transportés au laboratoire dans une glacière. La température, le pH, la profondeur et l'oxygène dissous sont mesurés insitu ; la température et le pH avec un multiparamètre de marque Hanna Instruments HI 8014, la profondeur à l'aide de la corde graduée d'un oxymètre à sonde et l'oxygène dissous avec le kit de WINKLER. Les échantillons de sédiments de surface récupérés à la benne schippeck sont mis dans des emballages plastiques propres et conservés à 4 °C dans des glacières contenant des accumulateurs de froid.

2.3 Dosage du plomb

Les échantillons de sédiments sont traités conformément à la norme H / NF EN ISO 15587-1 et 2 [7] pour la minéralisation du plomb (Pb) à l'eau régale (HCl + HNO_3 : 3/1). Le minéralisât obtenu a été filtré et repris à 50 ml à l'eau distillée puis analysé au SAA- flamme de type GTA 110 VARIAN à la longueur d'onde λ=217 nm.

2.4 Dosage des indicateurs de pollution organique

La demande biochimique en oxygène (DBO_5) est déterminée suivant la norme *NFT 90-103*, tandis que l'oxydabilité au permanganate de potassium est déterminé selon la norme *ISO 8467* (AFNOR, 1997) et les teneurs de la matière organique totale de l'eau et des MES par la méthode gravimétrique après filtration (filtre de 0,45 µm) pour les MES suivant la norme *MA.115-SD.1.0 édition du 02-03-1999*. Quant à la demande chimique en oxygène (DCO) de l'eau, elle est déterminée à l'aide du bichromate de potassium selon la norme *MA 315-DC 01.0 édition du 02-03-1999* et puis corrigée pour tenir compte de la salinité. Ainsi :

$$DCO = \frac{8000(V_0 - V_1)T}{V_e Eff}$$

V_0 : Volume de dichromate de normalité 0,025 éqgr/l utilisé pour le blanc
V_1 : Volume de dichromate utilisé pour les échantillons en ml
Ve : Volume de la prise d'essai
T : Titre de la solution de sulfate ferreux ammoniacal
Eff : Efficacité de la méthode exprimée en unité simple à partir d'une solution d'hydrogénophtalate de potassium dont la DCO théorique est prise égal à 500 µg O_2/mL.

Le calcul de la matière oxydable (MO) et des ratios r de la demande chimique en oxygène par la teneur en matières en suspension et q de la demande chimique en oxygène par la demande biochimique en oxygène en 5 jours a permis de caractériser les apports polluants. On les défini par les relations :

$$r = \frac{DCO}{MES}, \quad q = \frac{DCO}{DBO_5}, \quad MO = \frac{2DBO_5 + DCO}{3}$$

2.5 Dosage des ligands azotés et phosphatés

La méthode au réactif de Zambelli a été utilisée pour le dosage des nitrites, celles au molybdate d'ammonium et au réactif de Nessler (iodomercurate de potassium alcalin) respectivement pour les ions orthophosphates et ammonium et au salicylate de sodium pour les ions nitrates [8]. Chaque série de mise en solution comporte systématiquement deux essais à blanc pour détecter d'éventuelles contaminations des réactifs et de la verrerie.

2.6 Traitements statistiques

Le traitement statistique est fait à l'aide du test de Student et de l'analyse de variance avec le logiciel SAS (Statistical Analysis Système). Le test de corrélation est effectué par proc glm de SAS sur les concentrations en plomb des sédiments, celles des ligands des indicateurs de pollution organique et les paramètres physico-chimiques.

3. Résultats

3.1 Indicateurs de pollution

La légende sur le **tableau II** est relative aux indicateurs de pollution mesurées. Les valeurs moyennes des paramètres sont présentées sur les **tableaux II, III** et **IV** de même que les valeurs limites associées, les coefficients de variation et les écart-types. Ces tableaux sont respectivement relatifs à la caractérisation physico-chimique des eaux, aux indicateurs de pollution organique et inorganique de l'eau. Les abréviations suivantes ont été utilisées sur ces tableaux.

Tableau II : Légende des abréviations

Signification des abréviations :

- Norme inconnue ou inexistante	*DBO_5: Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours;*
N : Nombre d'observations	*DCO: Demande Chimique en Oxygène;*
MO : Matière oxydable ;	*MES : Matière En Suspensión;*
MOT : Matière organique totale	*Pbsed : teneur en plomb total des sédiments.:*
$KMnO_4$: índice de permanganate;	

Les paramètres physico-chimiques mesurés dans l'eau sont le pH, la profondeur, la température, l'oxygène dissous (OxyDis) et la conductivité. Ceux de la pollution organique sont les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène en 5 jours (DBO_5), la matière organique totale (MOT), l'indice de permanganate ($KMNO_4$) et la demande chimique en oxygène (DCO). Les matières oxydables (MO) et le ratio q= DCO/DBO_5 ont été calculés à partir des autres indicateurs de pollution organique pour mettre en exergue la capacité auto épuratoire du milieu. Les indicateurs de pollution inorganique tels que les ions phosphates (PO_4^{3-}), les ions ammonium (NH_4^+), les ions nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-) ont été mesuré dans l'eau de même que la concentration en plomb sédimentaire Pbsed (mg/kg).

Les indicateurs de pollution organique ont des valeurs relativement élevées de même que ceux de la pollution azotée. Il en est de même pour le plomb sédimentaire dont la moyenne est de 377 mg/kg.

Tableau III : Caractérisation physico-chimique des eaux

Variables	N	Moy	Normes	Écart-type	Coeff Var	Mini	Maxi
pH	42	7,64	6,5 < pH<8,5*	0,39	5,28	6,81	8,26
Profondeur (m)	42	2,51	-	1,65	25,05	0,5	6
Température (°C)	42	29,53	<30	0,94	3,37	27,3	31
Oxygène dissous (mgO_2/L)	42	2,47	3 mg/l**	0,45	19,70	1,5	3,25
Conductivité (µS/cm)	42	1485,00	<2000µS/cm	304,55	21,74	685	1968

* Limite de pH des eaux naturelles **Normes de rejet des eaux usées domestiques

Tableau IV : Indicateurs de pollution organique de l'eau

Variables	N	Moy	Normes	Écart-type	Coeff Var	Min	Max
MES (mg/L)	42	1537,00	500*	660,25	32,66	614	3615
DBO_5 (mgO_2/L)	42	390,50	100*	219,61	53,83	105	970
MOT (mg/L)	42	859,29		552,55	63,50	258	2678
$KMNO_4$ (mg/L)	42	122,63		49,64	15,90	43,78	268,86
MO (mg/L)	42	536,08		302,14	72,19	139	1397
DCO (mgO_2/L)	42	827,24	100*	474,43	174,81	207	2250
DCO/DBO5	42	2,13		0,33	86,71	1,54	3,26

* Normes de rejet *en république du Bénin*.

Tableau V : Indicateurs de pollution inorganique

Variables	N	Moy	Normes	Écart-type	Coeff Var	Min	Max
PO_4^{3-} (mg/L)	42	4,15	-	2,86	99,28	0,46	9,75
NH_4^+(mg/L)	42	1,93	-	3,21	32,65	0,018	13,4
NO_3^- (mg/L)	42	6,11	45*	5,43	54,43	0,17	19
NO_2^- (mg/L)	42	0,62	3,2*	0,71	53,66	0,018	3,6
Pbsed (mg/kg)	12	377,10	30,2	56,34	15,10	313,12	485,84

** Normes de rejet en république du Bénin.*

3.2 Indices globaux de pollution organique

Les ratios q et r calculés permettent de caractériser la pollution organique du milieu en relation avec sa capacité d'autoépuration. Le **tableau VI** présente les valeurs des rapports r = DCO/ MES tandis que les valeurs de q = DCO/ DBO_5 sont présentées sur le **tableau IV**. Quelle que soit la saison, la valeur du rapport est inférieure à 0,5 au site CC_1 à l'embouchure du Chenal (exutoire Xanadu) ; excepté le mois de septembre, le même phénomène s'observe à Dédokpo (CC_3) pourtant caractérisé par la présence de latrines sur pilotis. A l'inverse des sites précédents, on observe au site de Djidjè (CC_7) des valeurs du rapport supérieures à 0,5. La moyenne générale sépare les sites en deux parties à savoir CC_2, CC_3, CC_6 et CC_7 d'une part et CC_1, CC_4 et CC_5 d'autre part qui indiquent des valeurs inférieures et supérieures à 0,5 respectivement.

Malgré les variations observées des indicateurs de pollution organique, le ratio q = DCO/ DBO_5 reste constamment autour de 2 pour tous les sites (**tableau IV**). Les apports en matières solides de la part des marchés qui bordent le chenal de Cotonou n'ont pas influencé ce ratio. Les matières oxydables (MO) connaissent les mêmes variations que la demande chimique en oxygène (DCO) avec les plus fortes valeurs en mai et juin pendant la grande saison des pluies au sud (**tableau VI**).

3.3 Analyse des corrélations

Le **tableau VII** présente les coefficients de corrélation entre les différents paramètres d'étude. L'oxygène dissous a une corrélation de 0,90, significative au seuil $p < 0,001$ avec les concentrations en ions orthophosphates et de -0,64, significative au seuil $p < 0,05$ avec les teneurs de nitrites. De plus, les corrélations de 0,77 ($p < 0,001$) entre les ions nitrites et la profondeur est hautement significative.

Des corrélations de -0,62 et -0,75 significatives à $p < 0,05$ et $p < 0,01$ respectivement sont établies entre les teneurs en ions phosphates et celles en ions ammonium et nitrates (**tableau IV**).

Tableau VI : Rapports DCO/MES

	Dates						
Sites	13/09/2005	27/10/2005	20/12/2005	03/06/2006	03/05/2006	05/06/2006	Moy. Gén
CC_1	0,26	0,2	0,28	0,34	0,32	0,33	0,3
CC_2	**0,5**	0,48	0,47	**0,62**	**0,79**	**0,59**	**0,59**
CC_3	0,38	**0,62**	**0,74**	**0,89**	**0,99**	**0,59**	**0,69**
CC_4	0,42	0,38	0,35	0,38	**0,68**	**0,65**	0,49
CC_5	0,41	0,35	0,33	0,3	**0,66**	**0,52**	0,45
CC_6	0,34	0,53	0,47	0,42	**0,51**	**0,93**	**0,57**
CC_7	**0,61**	**0,84**	**0,75**	**1,03**	**1,15**	**0,73**	**0,84**

***NB :** En gras les valeurs de r comprises entre 0.5 et 1.5 (apports fortement organiques).*

Tableau VII : Corrélations entre les différents paramètres

	Temp	pH	OxyDis	Prof	MOT	Pbsed	PO_4^{3-}	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	$KMnO_4$	DCO
Temp	1											
pH	0,13	1										
OxyDis	0,37	-0,49	1									
Prof	-0,14	0,45	-0,17	1								
MOT	0,12	0,33	-0,19	-0,37	1							
Pbsed	0,01	-0,06	-0,52	-0,43	0,31	1						
PO_4^{3-}	0,19	-0,39	0,90***	-0,10	-0,33	-0,71*	1					
NH_4^+	-0,23	0,09	-0,55	-0,27	0,18	0,66*	-0,62*	1				
NO_3^-	-0,06	0,24	-0,64*	-0,23	0,49	0,64*	-0,75**	0,62*	1			
NO_2^-	-0,13	0,31	0,15	0,77**	-0,26	-0,79**	0,34	-0,60*	-0,35	1		
KMnO4	0,49	0,15	-0,02	-0,13	0,13	0,14	-0,12	-0,06	0,42	0,01	1	
DCO	0,01	0,48	-0,43	0,08	0,71*	0,22	-0,55	0,33	0,61*	-0,08	-0,06	1

* signifie corrélation significative au seuil $p < 0,05$ ** signifie corrélation significative au seuil $p < 0,01$
*** signifie corrélation significative au seuil $p < 0,001$

Les coefficients de corrélation notés r et les seuils de signification p, obtenus avec le plomb sont respectivement $r = – 0,71$; $p < 0,01$ pour les ions phosphates, $r = 0,66$; $p < 0,05$ pour l'ammonium et $r = 0,64$; $p < 0,05$ pour les nitrates. De même les ions nitrites ont une corrélation négative de – 0,79 au seuil $p < 0,01$ avec le plomb, mais ces ions nitrites suivent la même évolution que la matière organique qui prend sa valeur maximale en juin pendant la saison pluvieuse. Les ions ammonium par contre sont corrélés positivement avec les ions nitrates ($r = 0,62$) et négativement avec les ions nitrites ($r = -0,60$) au seuil $p < 0,05$. Il faut noter les résultats de la corrélation positive de 0,77 ($p < 0,001$) établie entre les ions nitrites et la profondeur d'une part et les corrélations entre MOT et DCO de 0,71 ($p < 0,05$) et entre DCO et nitrates de 0,61 ($p < 0,05$) d'autre part.

4. Discussion

4.1 Comparaison aux valeurs de référence

Le milieu peut être globalement qualifié de cyprinicole (O_2<4 mg/L), proche de la neutralité ($pH = 7,6 \pm 0,4$) et les apports polluants de fortement organiques et biodégradables ($q = 2,13 \pm 0,33$). Les valeurs de pH mesurées sont dans les limites caractéristiques des eaux naturelles. La température et la conductivité ont aussi des valeurs conformes aux normes de qualité des milieux naturels. Par contre l'oxygène dissous à des valeurs qui sont en deçà des normes requises avec une moyenne de $(2,47 \pm 0,45)$ mg/L O_2.

Particulièrement pour le plomb sédimentaire, on note des valeurs très élevées avec une moyenne de 377 mg/kg. Or, les normes canadiennes de qualité pour la vie aquatique en eau saumâtre donnent pour le plomb, une concentration limite de 30,2 mg/Kg dans les sédiments avec des effets probables sur les espèces à partir des concentrations supérieures à 112 mg/Kg (MEQ, 1998 ; CCME, 1999) [9]. Ces valeurs de référence sont largement dépassées comme l'indiquent les résultats du **tableau V.**

De même, les matières en suspension ont des valeurs largement au dessus des normes requises soit trois fois plus élevées que ces valeurs de référence (**tableau IV**). Aussi, la DBO_5 et la DCO dépassent largement la valeur de référence qui est de 100 mg/L.

Les taux de nitrates et de nitrites sont inférieurs aux normes de rejets qui sont respectivement de 45 mg/L et 3,2 mg/L pour les ions nitrates et nitrites. En générale, les sources agricoles sont à l'origine d'une forte contamination des milieux en nutriments azotés, la part de la biodégradation (azote organique) étant marginale.

4.2 Relations entre les paramètres de caractérisation

Les valeurs moyennes des matières en suspension (MES) des sites de Dantokpa (CC_5), Gbogbanou (CC_4) et de Hindé (CC_6) supérieures à celles de tous les autres sites indiquent l'importance des apports en matières solides de la part des marchés Missèbo et Dantôkpa qui bordent le chenal de Cotonou sur la berge ouest. Les caractéristiques de pollution sur ces sites permettent de conclure qu'il s'agit d'une eau de très mauvaise qualité pour la vie aquatique [9]. Les valeurs du ratio r toujours inférieurs à 0,5 sur le site CC_1 de l'embouchure montrent que ce milieu conserve sa nature d'eau fortement minéralisée malgré les apports polluants fortement organiques. Cela s'expliquerait par le renouvèlement de l'eau à la faveur des courants marins qui, en plus de l'effet de dilution apportent une forte salinité. Ce site est en effet situé à l'interface entre l'océan Atlantique et le chenal de Cotonou avec une prédominance des eaux marines. A partir du mois de juin, tous les autres sites montrent des valeurs de ce ratio supérieures à 0,5 ($0,5 < r < 1,5$) indiquant des apports fortement organiques. Les valeurs de r inférieurs à 0,5 montrent que pendant la saison sèche, les apports marins l'emportent sur tout autre apport. Les autres sites sont sous forte influence du transport par les eaux de caniveau et collecteurs d'importantes quantités de déchets liquides et solides rejetés par les riverains de ces caniveaux. Ainsi, les eaux pluviales influencent le milieu et imposent un caractère organique au milieu contrairement à ce qui s'observe en saison sèche. Le site CC_7 (Djidjè) quant à lui se comporte comme un milieu tampon car il n'est pas influencé par ces apports. Cela s'observe à la couleur toujours grisâtre des boues récupérées et le caractère visqueux de cette eau qui a une couleur grisâtre caractéristique d'une forte charge organique.

Quant au ratio q qui garde une valeur constante sur toute la période, il montre que la capacité d'autoépuration n'est pas dépassée sauf à Djidjè (CC_7) malgré ce transport massif de polluants organiques. Ainsi, la biodégradation conduit à la libération de l'azote inorganique qui relève le niveau de concentration des ions nitrates qui ont les plus fortes valeurs en saison des pluies plus particulièrement au mois de juin. Ceci se confirme avec les corrélations négatives et significatives de l'oxygène dissous avec les ions nitrites d'une part et positive et significative avec la profondeur d'autre part qui montre que les nitrites se forment à la faveur des conditions anoxiques à partir des ions ammonium. De plus, les matières oxydables (MO) et le ratio q ont par ailleurs des variations similaires ; ce qui est en accord avec cette conclusion que tôt ou tard, le milieu se régénère par des processus de biodégradation. Les corrélations positives et hautement significatives entre MOT et DCO, entre DCO et nitrates et entre ammonium (NH_4^+) et nitrates (NO_3^-) traduisent la formation des ions ammonium et nitrates à l'issu du processus de biodégradation. Cette biodégradation s'accompagne en outre de la libération du plomb comme l'indiquent les corrélations positives et hautement significatives entre le plomb sédimentaire (Pbsed) et les ions ammonium (NH_4^+) et entre le plomb sédimentaire (Pbsed) et les nitrates (NO_3^-). Ce qui témoigne par ailleurs de la prédominance des sources anthropiques sur les sources naturelles et d'une forte réactivité potentielle du plomb. Aussi, les corrélations négatives et hautement significatives entre PO_4^{3-} et NH_4^+ et entre PO_4^{3-} et NO_3^- mettent en évidence les sources agricoles, donc lointaines, de la pollution phosphatée contrairement à la pollution azotée qui provient d'une source locale.

Par contre, les corrélations négatives et significatives des ions nitrites (NO_2^-) et phosphates (PO_4^{3-}) avec le plomb sédimentaire pourrait traduire des phénomènes de dissolution/précipitation en milieu anoxique. En effet, selon les travaux

de Michel (2003) [10], les sels de carbonate (cérusite : $Pb(CO_3)$) et d'hydroxycarbonate (hydrocérusite : $Pbsed_3(CO_3)_2(OH)_2$) deviennent nettement plus solubles à pH inférieur à 8. Ainsi, il se forme des couches constamment renouvelées d'hydrocérusite, d'hydroxypyromorphite ($Pb_5(PO_4)_3OH$) lorsque l'eau contient des orthophosphates (PO_4^{3-}). La désorption induit alors le passage du plomb dans la colonne d'eau sous forme de sels minéraux peu solubles ou dissous [9, 11]. Mais une alcalinisation favorise l'adsorption métallique conduisant à la rétention du plomb [12 - 16].

Le cas des nitrites s'apparente à un phénomène de compétition avec sa conversion en nitrates et en ammonium selon que le milieu est réducteur ou oxydant car ils ne sont pas très stables sauf à la faveur des variations de conditions naturelles. Mais nous avions montré que ces ions nitrites sont source de consommation d'oxygène dissous et que la corrélation entre les ions nitrites et nitrates n'est pas significative au seuil $p < 0,05$; les ions nitrites sont donc plus le résultat d'une conversion des ions ammonium. C'est ce qui explique peut-être qu'on rencontre peu de littérature sur les réactions des ions nitrites avec le plomb. Toutefois dans un cas ou dans l'autre, la disparation des nitrites aura pour effet d'induire un accroissement des réactions du plomb avec ces deux ligands néoformés. Enfin la corrélation négative et significative entre Pbsed et NO_2^- serait le témoignage de la formation des ions nitrites qui s'accompagnent d'une réaction de précipitation conduisant à la formation de nitrites de plomb $Pb(NO_2)$**.**

Somme toute, la mobilité du plomb est influencée par ces ligands (azoté et phosphaté) qui peuvent augmenter sa biodisponibilité. Les ions ammonium et nitrates augmentent sa disponibilité à l'interface eau/sédiment de même que les ions nitrites par effet induit contrairement aux ions phosphates (PO_4^{3-}) qui augmentent sa disponibilité dans la colonne d'eau. Ces processus sont sous le contrôle de l'oxygène dissous qui joue un rôle déterminant dans la composition du mélange réactionnel et donc, influe sur l'évolution des processus.

5. Conclusion

On a montré à travers cette étude, comment les rejets des eaux usées urbaines et les apports d'origine continentale risquent de perturber la biodiversité des milieux récepteurs et entrainer des conséquences socioéconomiques importantes. Nous proposons alors de retenir les ions ammonium (urines, fèces), phosphates (agriculture) et le plomb total (essence) pour fixer un indice de qualité du milieu aquatique. Cependant pour fournir des indices de qualité de l'eau (IQE) plus représentatives des impacts sanitaires et environnementaux, il faut associer l'analyse des pathogènes (coliformes fécaux) aux autres paramètres d'étude.

Remerciements : *Ces travaux de recherche ont été effectués avec le soutien financier de l'International Fundation for Science (IFS).*

Bibliographie

[1] Gnonhossou M.P. La faune benthique d'une lagune Ouest Africaine (le lac Nokoué au Bénin), diversité, abondance, variations temporelles et spatiales, place dans la chaîne trophique. (2006) Thèse de doctorat de l'Université d'Abomey.169 p.

[2] Ben Bouih H, Nassali H, Leblans M, Srhiri A.. Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat. Afrique Science (2004) 01(1) 109 – 125. Issn 1813-548X.

[3] Soclo H. H., Guarigues P., Ewald M., Origin of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Coastal Marine Sédiments: Case Studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) Areas. Marine Pollution Bulletin (2000) 40(5) : 387-396.

[4] Bawa M. L., Djaneye B. G., Boukari Y.,Caractérisation de deux effluents industriels au Togo : étude d'impact sur l'environnement. Revue Afrique Science(2006) 02(1)57–68.
[5] Kouame I .K., Gone D., Savane I. L., Kouassi E. A., Koffi B. T. A., Goula K., Diallo M. Mobilité relative des métaux lourds issus de la décharge d'Akouédo et risque de contamination de la nappe du Continental Terminal (Abidjan - Côte d'Ivoire). Afrique science (2006) 02(1) 39 – 56.
[6] Convention de Roterdam. Application de la procédure de consentement préalable en connaissance de cause aux produits chimiques interdits ou strictement réglementés d'orientation des décisions sur Plomb tétraéthyle et plomb tétraméthyle ; (2005).
[7] INERIS.. Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques 1- Plomb et ses dérivés (2003). Version N°2-1/2003 ERIS-DRC-01-25590-ETSC-APi/SD –N°00df257. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques 1/90.
[8] Rodier J.. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (1984). 7è édition Bordas Paris. 1362 p.
[9] Muller F. L. L. Interactions of copper, lead and cadmium with the dissolved, colloidal and particulate components of estuarine and coastal waters, Mar. Chem., (1996) 52, pp. 245-268.
[10] Fillit M., Vaquer A., : Eutrophisation et macroalgues dans une lagune littorale méditerranéenne (étang de Méjean-Pérols): l'étang change, les ulves prospèrent (1995). Thèse nouveau doctorat, Université de Montpellier 2, Montpellier, France.
[11] Michel Meyer. Facteurs influençant la concentration en plomb dans l'eau (2003). EduScol. Dossier pluridisciplinaire sur l'eau.
[12] Laperche V. Immobilization of lead by in situ formation of lead phosphates in soil. In Environmental restoration of metal-contaminated soils. I.K.Iskandar Ed. Lewis publishers. (2001) pp 61-76.
[13] Moulin I. Lead, zinc and chromium (III) and (VI) speciation in hydrated cement phases. (2000) Waste Materials in Construction, Wascon.
[14] Langmuir Y., Lead and Zinc Retention during hydration of tri-calcium silicate : a study by sorption isotherms and 29Si nuclear magnetic resonance spectroscopy. The ACS Journal of surfaces and colloids (1999) 15(8), pp. 2829-2835.
[15] Thuret B. Sorption du plomb sur différents matériaux. Revue Française de Génie Civil, (1999) 3(7-8), , pp. 757-774.
[16] Tessier A, Campbell PGC, Bisson M.. Sequential extraction procedure for the speciation of partulate trace metals. Anaytical Chemistry, (1979) 51, pp. 844-851.