

Bioaccumulation des métaux lourds (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni, As) par les crabes *Cardisoma armatum* (Herklots, 1851) dans le complexe lac Nokoué - lagune de Porto - Novo au Sud Bénin

Appolinaire GOUSSANOU^{1*}, Alassane YOUSAO ABDOU KARIM³, Soumanou SEIBOU TOLEBA⁴,
Bienvenu Sourou DAGAN¹, Kissao GNANDI² et Issaka YOUSAO ABDOU KARIM¹

¹ Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Département de Production et Santé Animales, Laboratoire de Biotechnologie Animale et de Technologie des Viandes, 01 BP 2009, Cotonou, Bénin

² Université de Lomé, Faculté des Sciences, Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets, BP 1515 Lomé

³ Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Unité de Recherche en Ecotoxicologie et Etude de Qualité, 01 BP 2009, Cotonou, Bénin

⁴ Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Production Animale, 01 BP 526 Cotonou, Bénin

* Correspondance, courriel : goussanouappolinaire@ymail.com

Résumé

La présente étude vise à déterminer les concentrations en métaux lourds dans les crabes *Cardisoma armatum* exploités dans le complexe lac Nokoué-lagune de Porto-Novo au Sud Bénin. Pour ce faire, les sédiments, les crabes entiers et les organes de crabes, provenant de trois stations (Agonsagbo, Denou et Kétonou), ont été analysés pour évaluer leurs teneurs en métaux lourds (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni, As) à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme. Les sédiments et les crabes ont été contaminés par les métaux lourds et les concentrations ont varié significativement ($p < 0,05$) entre les stations d'échantillonnages. Les sédiments de la station de Denou ont enregistré les plus fortes teneurs ($p < 0,05$) en Pb, Cu, Zn, Fe, Cr et Ni alors que ceux de Kétonou et Agonsagbo ont respectivement enregistré les plus fortes concentrations en Cd et As. Les échantillons de crabe collectés à Denou ont enregistré les plus fortes teneurs en Fe, Cr et Ni alors que ceux collectés à Agonsagbo ont eu les fortes teneurs en Pb, Cd et As. Les échantillons collectés par contre à Kétonou ont enregistré les fortes teneurs en Cu et Zn. Les teneurs en métaux lourds ont varié ($p < 0,05$) en fonction des organes. Les branchies, la carapace et les testicules avaient les teneurs les plus élevées en cuivre et en fer. Quant au plomb et l'arsenic, les plus fortes concentrations ont été enregistrées dans les pinces. Les plus fortes teneurs en zinc, nickel et chrome ont été respectivement enregistrées dans les muscles, l'ovaire et la carapace. Les sédiments et les crabes *Cardisoma armatum* sont contaminés par les métaux lourds dans le complexe lac Nokoué-lagune de Porto-Novo.

Mots-clés : contamination, sédiments, organes, crabes, métaux lourds, écosystème.

Abstract

Bioaccumulation of heavy metals (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni, As) by crabs *Cardisoma armatum* (Herklots, 1851) in the complex Nokoué lake Porto -Novo lagoon in south Benin

The present study aims to determine heavy metal concentrations in *Cardisoma armatum* crabs exploited in the complex Nokoué Lake-Porto-Novo lagoon in south Benin. For this, sediments, whole crabs and crab organs from three stations (Agonsagbo, Denou and Kétonou) were analyzed to evaluate their heavy metal content (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni, As) using a flame atomic absorption spectrophotometer. Sediments and crabs were contaminated by heavy metals and concentrations varied significantly ($p < 0.05$) between the sampling stations. The Sediments at the Denou station recorded the highest levels ($p < 0.05$) in Pb, Cu, Zn, Fe, Cr and Ni while those at Kétonou and Agonsagbo recorded the highest concentrations of Cd and As, respectively. Crab samples collected at Denou recorded the highest levels of Fe, Cr and Ni while those collected at Agonsagbo had high levels of Pb, Cd and As. Samples collected on the other hand in Kétonou recorded high Cu and Zn levels. The heavy metals concentrations varied ($p < 0.05$) according to the organs. The gills, carapace, and testicles had the highest levels of copper and iron. As for lead and arsenic, the highest concentrations were recorded in the claws. The highest zinc, nickel and chromium concentrations were recorded in the muscles, ovaries and carapace, respectively. The sediments and crabs *Cardisoma armatum* of the complex Nokoué lake-Porto-Novo lagoon are contaminated by heavy metals.

Keywords : *contamination, sediments, organs, crabs, heavy metals, ecosystem.*

1. Introduction

Situé dans le Golfe de Guinée en Afrique de l'Ouest, le Bénin est caractérisé par une séquence continue de lacs et lagunes présentant d'importantes potentialités écologiques, économiques et même culturelles [1 - 3]. Dans ces milieux aquatiques, la pêche représente une activité de production importante et une véritable source d'emplois et de revenus [4]. Les ressources aquatiques de ces milieux sont assez diversifiées et comprennent les poissons, les mollusques et les crustacés [5]. Ces dernières années, suite à l'accroissement des activités génératrices de revenus (agriculture, industries, artisanats, etc.), les écosystèmes aquatiques béninois ont connu de nombreuses perturbations physiques, chimiques et biologiques. Cette situation a fait planer sur ces écosystèmes un risque de détérioration de la qualité des eaux et de raréfaction des stocks halieutiques [6]. Le complexe lac Nokoué —lagune de Porto-Novo situé au Sud du pays représente parmi les écosystèmes aquatiques exploités au Bénin, le plus grand secteur de pêche du point de vue de sa superficie, de son exploitation et de sa productivité [7]. Situé en contrebas de la ville de Cotonou et de Porto-Novo, cet écosystème aquatique subit non seulement un apport tellurique important et inévitable mais aussi et surtout les rejets domestiques et les effluents industriels et agricoles non traités. A cela, s'ajoute la proximité du marché Dantopka et le trafic de l'essence frelaté qui impactent considérablement la balance écologique de cet écosystème [8]. Dans le souci d'alerter les décideurs sur l'état de pollution de cet écosystème et de préserver les populations des risques sanitaires liés à la consommation des produits provenant de ce milieu, plusieurs travaux se sont succédés pour évaluer son état de pollution. D'abord, les eaux et les sédiments de ce milieu ont été analysés [9 - 13]. A la suite de ces travaux, les ressources aquatiques telles que les poissons, les crevettes et les huîtres ont été également fait l'objet d'études [8, 14 - 16]. Les différents travaux réalisés ont montré que la contamination des différents compartiments aquatiques de ce milieu par les micros polluants est une réalité. Parmi les contaminants analysés dans ce milieu, les métaux lourds ont suscité un intérêt particulier en raison de leurs toxicités et leurs accumulations potentielles dans plusieurs espèces aquatiques.

En effet, les dangers de ces composés sur la santé humaine et les organismes aquatiques sont légions [17 - 21]. La présente étude qui s'inscrit dans le cadre de l'évaluation de la qualité des ressources du complexe lac Nokoué- lagune de Porto-Novo aborde la problématique des métaux lourds sur la ressource crabe *Cardisoma armatum*, une espèce de crabe fortement exploitée et consommée et qui jusqu'à ce jour, n'a pas encore été abordée dans les différentes études réalisées dans ce complexe. L'objectif de la présente étude est d'évaluer les niveaux de contamination en métaux lourds dans le crabe *Cardisoma armatum* du complexe lac Nokoué lagune de Porto-Novo. De façon spécifique, il s'agira de :

- déterminer les teneurs en métaux lourds contenues dans les sédiments,
- déterminer les teneurs en métaux lourds dans le crabe *Cardisoma armatum*,
- déterminer la distribution des métaux lourds dans les différents organes de cette espèce.

2. Matériel et méthodes

2-1. Cadre de l'étude

La présente étude a été réalisée dans le complexe lac Nokoué- lagune de Porto-Novo situé au Sud Est du Bénin, entre les parallèles 6° 25' et 6° 38' de latitude Nord et 2° 27' et 2° 30' de longitude Est. Il est relié à l'Océan Atlantique par le chenal de Cotonou d'une longueur de 4,5 km. Il couvre une superficie de 180 km² et représente le plus important plan d'eau continental du Bénin du point de vue de sa superficie, de son exploitation et de sa productivité [7]. Le régime hydrologique du complexe correspond à une période des basses eaux (Décembre à Avril), une période des hautes eaux (Mai à Juin) et une période de crue ou d'inondation (Septembre à Novembre). Sur cet écosystème, Agonsagbo, Denou et Kétonou (**Figure 1**) ont été les habitats de pêche des crabes *Cardisoma armatum* retenus pour l'étude. Ces habitats de pêche ont été choisis en fonction de la pratique de l'activité de pêche de crabes, de l'accessibilité des stations pendant toute la période de l'étude et de la disponibilité des acteurs de la filière de ces habitats à collaborer.

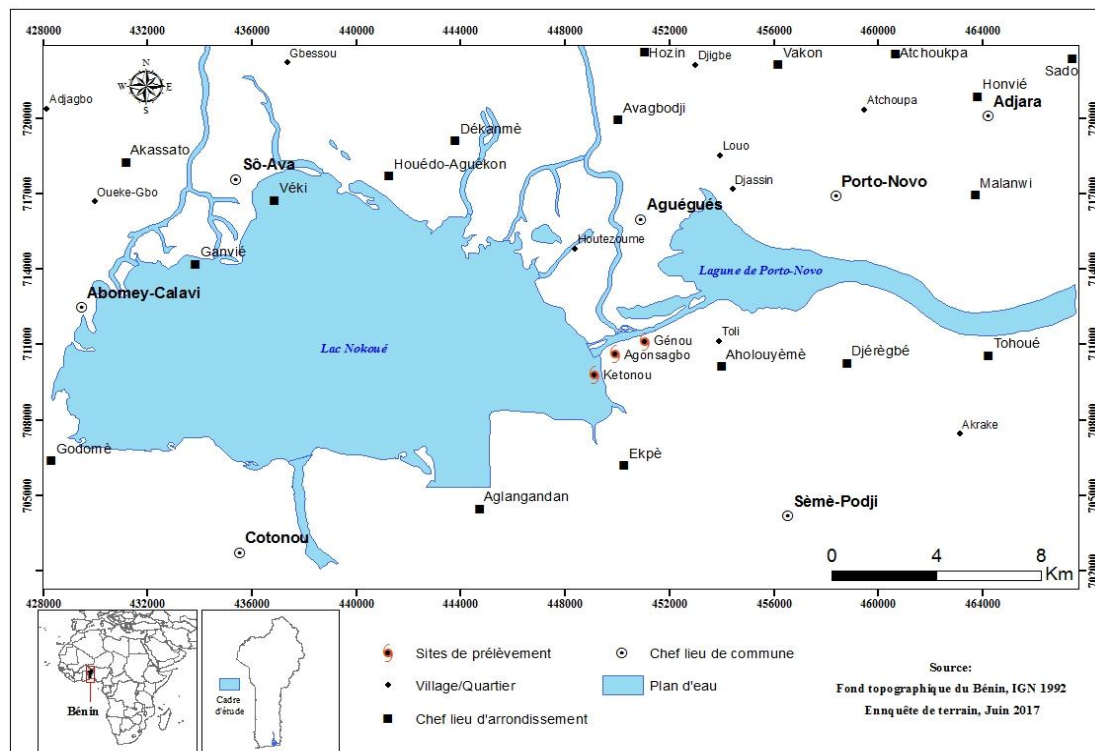


Figure 1 : Carte de localisation des stations d'échantillonnage

2-2. Méthodologie de l'étude

2-2-1. Prélèvements des échantillons de sédiments

Les échantillons de sédiments ont été collectés au niveau des trois habitats de pêche du crabe *Cardisoma armatum*, entre 0 et 10 cm de profondeur à l'aide d'une perche dans des sachets en plastique numérotés et indiquant la station de prélèvement.

2-2-2. Collecte des échantillons de crabes *Cardisoma armatum*

Les crabes *Cardisoma armatum* ont été collectés également au niveau des mêmes habitats de pêche retenus par l'intermédiaire des pêcheurs. Au total, 10 crabes ont été collectés par station. Les échantillons de crabes collectés ont été mis dans des sachets en plastique numérotés, indiquant la station de collecte. Les échantillons de sédiments et de crabes collectés ont été tous conservés au frais dans une glacière contenant des accumulateurs de froids. Ces échantillons ont été transportés au Laboratoire de Biotechnologie Animale et de Technologie des viandes de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi de l'Université d'Abomey-Calavi pour les différents traitements.

2-2-3. Traitement des échantillons au laboratoire

Le traitement des échantillons de crabes a été réalisé au Laboratoire de Biotechnologie Animale et de Technologie des Viandes. Les échantillons de crabes ont été d'abord nettoyés à l'eau de robinet afin de les débarrasser de tout débris. Après nettoyage, quelques individus ont été disséqués et la carapace, les pinces, les branchies, le muscles, les testicules et les ovaires ainsi que des crabes entiers non disséqués ont été traités puis séchés à l'étuve (marque Memmert U50) à 75 °C pendant 72 heures. Après séchage, les individus entiers ont été regroupés par habitat alors que les organes collectés ont formé un échantillon composite. Ces différents échantillons ont été finement broyés à l'aide d'un mortier et d'un pilon en porcelaine préalablement stérilisés puis tamisés. Les échantillons de sédiments ont été directement séchés à l'étuve dans les mêmes conditions puis tamisés.

2-2-4. Dosage des métaux lourds dans les échantillons

Le dosage des métaux lourds (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, As, Ni et Cr) a été réalisé dans le Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD) de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Lomé. Pour le dosage, une quantité de 3 g de chaque échantillon a été mise dans des tubes en téflon auxquels 6 ml d'acide nitrique (68 %) ont été ajoutés puis fermés à l'aide des verres de montre. Après solubilisation, les tubes ont été placés au bain de sable progressivement chauffé à une température de 130 °C jusqu'à évaporation totale de l'acide. Les culots obtenus ont été dissouts à chaud avec de l'eau distillée. Après refroidissement, chaque solution issue de l'attaque acide a été jaugée dans une fiole de 25 ml. Après homogénéisation, la solution a été filtrée à l'aide d'un papier-filtre (0,45 µm). Parallèlement, une solution témoin (6 ml d'HNO₃ à 68 %) a été préparée dans les mêmes conditions. Le dosage des métaux lourds a été effectué à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique à flamme de type Thermo Electron Corporation S Série AA Spectrometer. Les teneurs en métaux lourds obtenues après analyse dans les sédiments et les crabes *Cardisoma armatum* ont été comparées respectivement aux normes du Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement (CCME) sur la qualité des sédiments et à celles de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en ce qui concerne la qualité des ressources aquatiques.

2-2-5. Calcul des Facteurs de Bioconcentration

Les Facteurs de Bioconcentration (FBC) ont été calculés pour chaque métal par la formule utilisée par [22]. C'est le rapport entre la concentration interne du métal lourd dans l'organisme du crabe et la concentration environnementale (sédiment).

$$FCB = \frac{Co}{Ce} \quad (1)$$

Co = concentration en métal lourd dans l'organisme du crabe ; *Ce* = concentration environnementale (sédiment).

2-2-6. Traitements des données

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel SAS [23]. La procédure *Proc means* a été utilisée pour calculer la moyenne des métaux lourds. Une analyse de la variance a été effectuée par la procédure des Modèles Linéaires Généralisés (*Proc GLM*) avec pour facteurs de variation la station de collecte et l'organe. Les moyennes ont été comparées deux à deux par le test *t* de student. La procédure *Proc corr* a été utilisée pour déterminer les corrélations entre les teneurs en métaux lourds des sédiments et des crabes *Cardisoma armatum*. La procédure *proc princomp* a été utilisée pour réaliser une analyse en composante principale des différentes variables.

3. Résultats

3-1. Concentration en métaux lourds des sédiments

Les teneurs en métaux lourds des sédiments collectés au niveau des différentes stations sont présentées dans le **Tableau 1**. Les concentrations en métaux lourds dans les sédiments ont varié significativement ($p < 0,05$) entre les stations d'échantillonnage. Les concentrations en plomb (19,15 mg/kg), cuivre (16,45 mg/kg), zinc (74,24 mg/kg), fer (5947,4 mg/kg), chrome (6,92 mg/kg) et nickel (6,34 mg/kg) ont été significativement plus élevées ($p < 0,05$) dans les sédiments collectés au niveau de la station de Denou, comparativement aux autres stations. Par contre, les concentrations en cadmium (0,46 mg/kg) et en arsenic (408,34 µg/kg) ont été significativement ($p < 0,05$) plus élevées respectivement dans les sédiments collectés au niveau des stations de Kétonou et de Agonsagbo. En se référant aux recommandations du Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement sur la qualité des sédiments, les concentrations en plomb, cadmium et chrome obtenues dans les sédiments des trois stations d'échantillonnage sont inférieures aux seuils de références. Par contre, les concentrations de l'arsenic sont 69,21 ; 54,07 et 5,9 fois supérieures aux normes respectivement au niveau des stations de Agonsagbo, de Denou et de Kétonou (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Concentration en métaux lourds dans les sédiments des stations de collectes

Stations	Pb(mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	As (µg/kg)
Agonsagbo	12,09ab	0,1b	9,58ab	59,42b	5219,6a	6,79a	3,75ab	408,34a
Denou	19,15a	0,1b	16,45a	74,24a	5947,4a	6,92a	6,34a	319,06b
Kétonou	3,27b	0,46a	4,22b	72,32a	3582,6b	6,28b	1,63b	303,15b
Erreur Standard	4,59	0,12	3,54	4,65	699,28	0,2	1,36	32,74
Normes CCME	35	0,6	-	-	-	37,3	-	5,9

Les moyennes de la même colonne affectées des lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5 %. CCME : Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement.

3-2. Bioaccumulation des métaux lourds

Le **Tableau 2** présente les concentrations en métaux lourds dans les crabes *Cardisoma armatum* dans le complexe lac Nokoué lagune de Porto-Novo. Les concentrations en métaux lourds ont varié significativement ($p < 0,05$) entre les stations d'échantillonnage. Les échantillons collectés au niveau de la station de Denou ont significativement ($p < 0,05$) enregistré les plus fortes concentrations en fer, chrome et nickel. Par contre, les échantillons de crabes collectés à Agonsagbo ont significativement enregistré les plus fortes concentrations en plomb (1,13 mg/kg), cadmium (0,23 mg/kg) et arsenic (18,52 mg/kg). Les échantillons de crabes collectés à kétonou ont quant à eux présenté les plus fortes concentrations en cuivre (101,99 mg/kg) et en zinc (121,49 mg/kg). En se référant aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé sur la concentration en métaux lourds admise dans les produits de pêche, les concentrations en métaux lourds obtenues chez les crabes *Cardisoma armatum* collectés au niveau de toutes les stations d'échantillonnage sont supérieures aux normes admises hormis celles de l'arsenic.

Tableau 2 : Concentration en métaux lourds dans les crabes *Cardisoma armatum* du complexe lac Nokoué lagune de Porto-Novo

Stations	Pb(mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	As (µg/kg)
Agonsagbo	1,13a	0,23a	87,42b	120,08b	479,06b	1,21b	2,36b	18,52a
Denou	0,75b	0,22a	101,51a	119,28b	644,98a	1,41a	4,35a	14,63b
Kétonou	0,61b	0,20b	101,99a	121,49a	550,96ab	1,31ab	2,71b	13,99b
Erreur Standard	0,155	0,009	4,779	0,646	48,039	0,058	0,613	1,415
Normes OMS	0,1	0,01	1	5	0,2	1	0,05	0,1

Les moyennes de la même colonne affectées des lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5%. OMS[24] : Organisation Mondiale de la Santé

3-3. Corrélations entre les différentes teneurs en métaux lourds

Le **Tableau 3** présente la matrice de corrélations entre les métaux lourds chez le crabe *Cardisoma armatum*. Le plomb a été corrélé positivement et de façon significative ($p < 0,05$) avec le fer et le chrome. Le cuivre quant à lui a été positivement et fortement corrélé ($p < 0,001$) avec le zinc d'une part et négativement et fortement corrélé ($p < 0,01$) avec le fer, le chrome et l'arsenic. Le zinc a été lui aussi négativement et fortement corrélé ($p < 0,01$) avec le fer, le chrome et l'arsenic. Le fer a été fortement ($p < 0,01$) et positivement corrélé avec le chrome et l'arsenic. Une corrélation positivement et hautement significative ($p < 0,001$) a été notée entre le chrome et l'arsenic.

Tableau 3 : Corrélations entre les métaux lourds chez les crabes *Cardisoma armatum*

	Pb	Cd	Cu	Zn	Fe	Cr	Ni	As
Pb	1							
Cd	-0,571 ^{NS}	1						
Cu	-0,701 ^{NS}	-0,087 ^{NS}	1					
Zn	-0,739 ^{NS}	0,055 ^{NS}	0,978 ^{***}	1				
Fe	0,918 ^{**}	-0,278 ^{NS}	-0,918 ^{**}	-0,942 [*]	1			
Cr	0,805 [*]	-0,058 ^{NS}	-0,981 ^{***}	-0,984 ^{***}	0,972 ^{***}	1		
Ni	0,756 ^{NS}	-0,732 ^{NS}	-0,148 ^{NS}	-0,223 ^{NS}	0,504 ^{NS}	0,315 ^{NS}	1	
As	0,769 ^{NS}	-0,106 ^{NS}	-0,971 ^{***}	-0,998 ^{***}	0,954 ^{**}	0,984 ^{***}	0,256 ^{NS}	1

NS : $p > 0,05$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$

3-4. Distribution des métaux lourds dans les organes

Les teneurs en métaux lourds dans les organes de crabe *Cardisoma armatum* ont été présentées dans le **Tableau 4**. Les concentrations en métaux lourds ont varié significativement ($p < 0,05$) dans les différents organes étudiés (**Tableau 4**). Tous les organes ont été contaminés par les métaux lourds sauf le cadmium dont les teneurs enregistrées ont été inférieures à la limite de détection. L'Analyse en Composante Principale réalisée sur les concentrations en métaux lourds des organes révèle que les deux premiers axes concentrent 65,23 % des informations (**Figure 2**), ce qui assure et garantit une précision dans l'interprétation des données. La projection métaux lourds et des organes étudiés dans le système d'axe 1 et 2 défini par l'ACP (**Figure 2**) montre que les branchies, la carapace et les testicules présentent les teneurs les plus élevées en cuivre et en fer. Les pinces ont enregistré quant à eux les plus fortes concentrations en plomb, chrome et l'arsenic. Les concentrations les plus élevées du zinc, nickel et chrome ont été respectivement enregistrées dans les muscles, l'ovaire et la carapace (**Figure 2**).

Tableau 4 : Concentration en métaux lourds dans les différents organes du crabe *Cardisoma armatum*

Organes	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	As (µg/kg)
Pinces	0,431a	<ddl	85,743c	84,102a	235,812c	2,748b	<ddl	7,651a
Carapaces	0,296a	<ddl	177,928a	71,21d	258,4b	4,745a	1,334b	1,953c
Muscles	0,095b	<ddl	102,866bc	84,441a	243,807bc	1,608bc	1,595b	5,311b
Testicules	<ddl	<ddl	117,531b	74,22cd	253,644b	<ddl	1,903b	5,468b
Ovaires	<ddl	<ddl	110,257bc	79,47b	260,604b	0,832c	5,09a	1,021c
Branchies	<ddl	<ddl	178,225a	76,478bc	299,086a	2,176b	2,458b	6,774ab
Erreur Standard	0,069	0,000	16,180	2,183	8,955	0,604	0,621	1,081

<ddl : inférieur à la limite de détection. Les moyennes de la même colonne affectée des lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5 %.

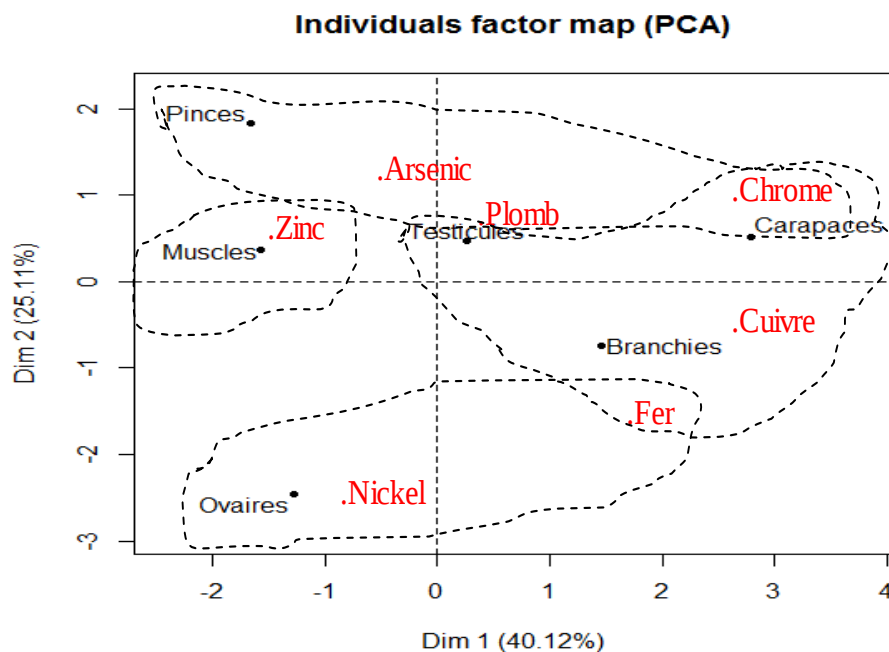


Figure 2 : Analyse en Composantes Principales réalisées sur les métaux lourds et les organes étudiés

3-5. Facteurs de bioconcentration

Les facteurs de bioconcentration en métaux lourds des crabes *Cardisoma armatum* et ceux de ces organes respectifs sont présentés dans le **Tableau 5**. Les métaux lourds n'étaient pas bioaccumulés de la même manière par cette espèce. Les facteurs de bioconcentrations ont varié significativement entre les différents organes. Le cuivre a le facteur de bioconcentration le plus élevé suivi de celui de fer (**Tableau 5**). Dans les organes, les pinces présentent les facteurs de bioconcentrations les plus élevés en plomb (0,037) et en arsenic (0,022). Quant au cuivre, zinc, fer, chrome et nickel, leurs facteurs de bioconcentrations les plus élevés ont été obtenus respectivement dans les branchies, muscles, ovaires, carapace et testicules

Tableau 5 : Facteurs de bioconcentrations en métaux lourds du crabe *Cardisoma armatum* entier et dans ses organes

Organes	Pb	Cd	Cu	Zn	Fe	Cr	Ni	As
<i>C. armatum</i>	0,072	1	9,62	1,751	0,113	0,196	0,803	0,045
Pinces	0,037	-	8,506	1,224	0,047	0,412	0,341	0,022
Carapaces	0,025	-	17,651	1,037	0,052	0,712	0,407	0,005
Muscles	0,008	-	10,204	1,229	0,049	0,241	0,486	0,015
Testicules	-	-	11,659	1,08	0,051	-	1,301	0,015
Ovaires	-	-	10,938	1,157	0,053	0,124	0,628	0,002
Branchies	-	-	17,681	1,113	0,06	0,326	-	0,019

4. Discussion

4-1. Concentration en métaux lourds des sédiments

Dans les écosystèmes aquatiques, la plupart des métaux lourds qui y sont drainés se déposent sur les fonds meubles notamment les sédiments [20, 25]. Selon les auteurs des références [21, 26], les sédiments constituent un réservoir où s'accumulent les métaux. Ils forment la matrice environnementale la plus importante qui par le phénomène de relargage constituent une source endogène de pollution des eaux et des espèces aquatiques. Dans cette étude, les sédiments analysés dans le complexe lac Nokoué-lagune de Porto-Novo ont été contaminés par les métaux lourds et les teneurs ont été d'une manière générale hétérogène et ont varié significativement entre les stations d'études. Les sédiments de la station de Denou ont présenté les fortes concentrations en Pb, Cu, Zn, Fe, Cr et Ni par rapport aux sédiments des deux autres stations. Ceci peut s'expliquer par la proximité de cette station des habitations et du fait que la station de Denou constitue un embarcadère où les barques motorisées sont quotidiennement utilisées pour le transport des personnes et des biens en direction des Aguégues et ses environs. Les teneurs en métaux lourds dans les sédiments de la présente étude sont inférieures à celles rapportées par l'auteur de [10] (Cd : 6,16 mg/kg ; Pb : 25,386 mg/kg ; Cr : 97,60 mg/kg), [11] (Cd : 13,72 mg/kg ; Pb : 7,22 mg/kg ; Cu : 228,74 mg/kg ; As : 232,38 mg/kg) et de [8] (Pb : 317 mg/kg) dans le même milieu. La différence avec nos résultats peut s'expliquer par le fait que les sédiments ne sont pas de même nature et que les zones et les périodes de collecte ne sont pas identiques. Les sédiments analysés dans la présente étude ont été ceux des zones marécageuses alors que les travaux précités ont abordé les sédiments de fond des eaux. La capacité de rétention des métaux par les sédiments dépend également de leurs natures [27]. Les nombreux travaux réalisés sur la contamination des sédiments de certains cours d'eaux du Bénin comme le fleuve Ouémé [28] (Cd : 12,11 mg/kg ; Cu : 28,74 mg/kg ; As : 220,41 mg/kg) et le lac Ahémé [21] (Pb : 26 mg/kg ; As : 29 mg/kg ; Zn : 170 mg/kg) révèlent des teneurs en métaux lourds supérieures aux résultats de la présente étude. Les travaux similaires conduits dans la sous-

région, principalement au niveau des sédiments des lacs de Bè et de Nyékonakpoé au Togo [29], la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire [30], les lagunes de Nakwa et de Benya au Ghana [31] et les sédiments des lacs Bini et de Dang au Cameroun [25] révèlent également des concentrations en métaux lourds supérieures aux résultats de la présente étude. La différence avec nos résultats peut être liée à la nature et le milieu de collecte des sédiments, le régime hydrologique du milieu, la situation géographique des cours d'eaux et la période de collecte des sédiments. Les concentrations en métaux lourds des sédiments des stations d'échantillonnages sont toutes inférieures aux normes recommandées par le Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement sauf celle de l'arsenic. En fait les sédiments analysés dans la présente étude ont été ceux des zones marécageuses, ce qui pourrait expliquer ces faibles teneurs par rapport à celles rapportées sur les sédiments des fonds des cours et plans d'eaux.

4-2. Bioaccumulation des métaux lourds

La présence des métaux lourds dans les produits de pêche représentent un réel danger pour la santé des consommateurs [8, 14, 26, 32]. Une large gamme de valeurs pour les concentrations en métaux lourds a été obtenue pour les crabes du sol *Cardisoma armatum*. Les concentrations en métaux lourds chez cette espèce ont été variables et cette variabilité dépend de plusieurs facteurs comme le régime alimentaire de l'espèce, la fréquence d'exposition au métal, la disponibilité du métal, la capacité migratoire de l'espèce. Les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) sur la comestibilité des espèces aquatiques fixent les seuils du plomb, cadmium, cuivre, zinc, fer, chrome, nickel et arsenic respectivement à 0,1 mg/kg ; 0,01 mg/kg ; 1 mg/kg ; 5 mg/kg ; 0,2 mg/kg ; 1 mg/kg ; 0,05 mg/kg ; 0,1 mg/kg [24]. Les résultats obtenus chez le crabe *Cardisoma armatum* montrent des concentrations en dessus des normes fixées. Le crabe *Cardisoma armatum* bioaccumule de fortes concentrations en métaux lourds. La forte accumulation des métaux lourds par cette espèce est liée à son mode de vie et d'alimentation [33, 34]. En effet, les crabes sont des espèces omnivores, prédatrices et nécrophages. *Cardisoma armatum* vit dans la vase. Il filtre la boue pour se nourrir, ce qui favorise l'accumulation d'importantes quantités de métaux lourds présents dans la vase via les branchies ou la digestion des particules contaminées. En effet, cette capacité d'absorption des métaux lourds par les crabes a été documentée et utilisée par certains auteurs pour évaluer l'état de pollution de certains cours d'eaux. C'est le cas du crabe vert européen *Carcinus maenas* qui a été utilisé comme bioindicateur de pollution [35, 36]. La présence des métaux lourds dans les organismes peut aussi être liée à certains facteurs comme la capacité physiologique d'assimilation et d'excrétion du métal par l'espèce considérée et la biodisponibilité du métal dans le milieu [22]. En fonction de leurs niveaux de contamination en métaux lourds, la consommation du crabe du sol *Cardisoma armatum* s'avère problématique pour la consommation. Les concentrations en métaux lourds chez le crabe *Cardisoma armatum* dans notre étude, sont largement supérieures à celles rapportées par [37] chez le crabe *Callinectes amnicola* au Nigéria. Les mêmes observations ont été également faites par rapport aux concentrations rapportées par [32] chez le crabe *Portunus pelagicus* en Iran.

4-3. Distribution des métaux lourds dans les organes

La présence des métaux lourds dans les organes représente un facteur de risque pour la vie de l'espèce. Tous les organes analysés chez le crabe *Cardisoma armatum* ont été contaminés par les métaux lourds. L'exposition des organes surtout les organes reproducteurs chez cette espèce peut affecter le potentiel de reproduction de celle-ci. En effet, [9, 20, 21], signalent que dans certains écosystèmes, l'exposition des organismes à des doses élevées de métaux lourds peut provoquer des conséquences graves sur la balance écologique telles que la diminution de la fertilité, le retard dans la croissance, la disparition des espèces et des inversions de sexes. Au Nigéria, les teneurs en métaux lourds rapportées dans les organes du crabe *Cardisoma armatum* par [38] sont inférieures aux résultats de la présente étude. Dans les organes du crabe *Callinectes amnicola* collecté au Nigéria, les concentrations en métaux lourds obtenues par [37] ont été également inférieures à celles obtenues dans la présente étude.

5. Conclusion

La présente étude montre que les sédiments et les crabes du sol *Cardisoma armatum* collectés dans le complexe lac Nokoué-lagune de Porto-Novo sont contaminés par les métaux lourds tels que le Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni et As. Les organes tels que les pinces, carapace, muscles, testicules, ovaires et branchies des crabes *Cardisoma armatum* sont également contaminés par les métaux lourds identifiés. Les niveaux de concentration en métaux lourds des crabes *Cardisoma armatum* et de leurs organes respectifs dépassent les normes réglementaires et constituent de ce fait un risque majeur pour la santé des consommateurs et la pérennité de cette espèce. La consommation des crabes *Cardisoma armatum* doivent faire l'objet de surveillance dans cet écosystème.

Remerciements

Les auteurs remercient le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique du Bénin et le Laboratoire de Biotechnologie Animale et de Technologie des Viandes de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi et celui de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets de l'Université de Lomé pour leurs soutiens financier et technique lors de la réalisation de ce travail.

Références

- [1] - A. CHIKOU, A. P. LALEYE, A. C. BONOU, P. VANDEWALLE, J. C. PHILIPPART, Tailles de première maturité et de capture de six espèces de poisson-chat dans le delta de l'Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5 (4) (2011) 1527 - 1537
- [2] - E. MONTCHOWUI, M. OVIDO, P. LALEYE, J. C. PHILIPPART, P. PONCIN, Stratégies de reproduction et structure des populations chez *Labeo parvus* Boulenger, 1902 (Cypriniformes : Cyprinidae) dans le bassin du fleuve Ouémé au Bénin. *Annales des Sciences Agronomiques*, 15 (2) (2011) 153 - 171
- [3] - C. NIYONKURU, P. LALÈYÈ, A comparative ecological approach of the length—weight relationships and condition factor of *Sarotherodon melanotheron* Rüppell, 1852 and *Tilapia guineensis* (Bleeker 1862) in lakes Nokoué and Ahémé (Benin, West Africa). *International Journal of Business, Humanities and Technology*, 2 (3) (2012) 41 - 50
- [4] - P. A. LALEYE, A. EZIN, P. VANDEWALLE, J. C. PHILIPPART, G. G. TEUGELS, Caractéristiques de la pêche dans le fleuve Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Journal of Afrotropical Zoology (Special issue)*, (2007) 137 - 148
- [5] - C. NIYONKURU, P. LALÈYÈ, M. C. VILLANUEVA, J. MOREAU, Population parameters of main fish species of Lake Nokoué, Bénin (West Africa). *Journal of Afrotropical Zoology (Special issue)*, (2007) 149 - 155
- [6] - T. P. AGBOHESSI, I. I. TOKO, P. KESTEMONT, Etat des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le Bassin cotonnier béninois. *Cahier d'Agriculture*, 21 (1) (2012) 46 - 56
- [7] - P. GNONHOSSOU, La faune benthique d'une lagune Ouest Africaine (le lac Nokoué au Bénin), diversité, abondance, variation temporelles et spatiales, place dans la chaîne trophique. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, (2006) 184 p.
- [8] - A. YOUSAO, H. H. SOCLO, C. BONOU, K. VIANOU, M. GBAGUIDI, L. DOVONON, Evaluation de la contamination de la faune ichthyenne dans le complexe lagunaire Nokoué — chenal de Cotonou par le plomb : cas des espèces *Sarotherodon melanotheron*, *Tilapia guineensis* et *Hemichromis fasciatus* (Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5 (2) (2011) 595 - 602
- [9] - W. CHOUTI, D. MAMA, F. ALAPINI, Etude des variations spatio- temporelles de la pollution des eaux de la lagune de Porto- Novo (sud Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4 (4) (2010a) 1017 - 1029

- [10] - W. CHOUTI, D. MAMA, O. CHANGOTADE, F. ALAPINI, M. BOUKARI, Etude des éléments traces métalliques contenues dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo (Sud Bénin). *J. Appl. Biosci.*, 34 (2010b) 2186 - 2197
- [11] - C. KAKI, P. GUEDENON, N. KELOME, P. A. EDORH, R. ADECHINA, Evaluation of heavy metals pollution of Nokoué Lake. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.*, 5 (3) (2011) 255 - 261
- [12] - A. S. HOUNKPATIN, A. P. EDORH, M. SÈZONLIN, P. GUÉDÉNON, B. ELÉGBÉDÉ, G. BONI, V. DOUGNON, S. MONTCHO, E. KÉKÉ, M. BOKO, Pollution of aquatic ecosystems by heavy metals at Ganvié's lacustrine city (Benin). *Int. Res. J. Biotechnol.*, 3 (6) (2012) 81 - 87
- [13] - G. E. KINSICLOUNON, P. A. EDORH, P. GUEDENON, M. SENOU, Y. DEGUENON, C. AKPOVI, F. LOKO, M. BOKO, M. GBEASSOR, E. E. CREPPY, Risks of contamination of drillings water with toxic metals accumulated in sediments of Nokoué Lake in Benin. *Merit Res. J. Environ. Sci. Toxicol.*, 1 (4) (2013) 091 - 098
- [14] - M. P. AINA, H. DEGILA, A. CHIKOU, F. ADJAHATODE, G. MATEJKA, Risk of intoxication by heavy metals (Pb, Cd, Cu, Hg) connected to consumption of some halieutic species in Lake Nokoué: case of the *Penaeus* shrimps and the *Sarotherodon melanotheron*. *British Journal of Science*, 5 (1) (2012) 104 - 118
- [15] - G. T. MEGNON, M. M. SOUMANOU, S. TOSSOU, G. A. MENSAH, Evaluation de la qualité sanitaire des crevettes (*Penaeus sp*) du lac Nokoué au Sud —Bénin : Aspect chimique et microbiologique. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, (2012) 24 - 30
- [16] - E. A. P. YEHOUENOU, R. ADAMOU, P. J. AZEHOUN, P. A. EDORH, T. AHOYO, Monitoring of heavy metals in the complex "Nokoué lake-Cotonou and Porto-Novo lagoon" ecosystem during three years in the Republic of Benin. *Res. J. Chem. Sci.*, 3 (5) (2013) 12 - 18
- [17] - F. TESTUD, Pathologie toxique professionnelle et environnementale, 3è éditions, Eska, Paris, (2005) 672 p.
- [18] - A. VIALA, F. GRIMALDI, Ecotoxicologie. In : Viala A et Botta A, Eléments de toxicologie, 2è éditions, technologie et document Lavoisier, Paris, (2005) 245 - 251
- [19] - B. KATEMO MANDA, G. COLINET, L. ANDRE, A. CHOCHA MANDA, J. P. MARQUET, J. C. MICHA, Evaluation de la contamination de la chaîne trophique par les éléments traces (Cu, Co, Zn, Pb, Cd, U, V et As) dans le bassin de la Lufira Supérieure (Katanga/ RD Congo). *Tropicultura*, 28 (4) (2010) 246 - 252
- [20] - K. N. KEUMEAN, S. B. BAMBA, G. SORO, N. SORO, B. S. METONGO, J. BIEMI, Concentration en métaux lourds des sédiments de l'estuaire du fleuve Comoé à Grand-Bassam (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *J. of Appl. Biosci.*, 61 (2013) 4530 - 4539
- [21] - F. DIMON, F. DOVONON, N. ADJAHOSSOU, W. CHOUTI, D. MAMA, A. ALASSANE, M. BOUKARI, Caractérisation physico- chimique du lac Ahémé (sud Bénin) et mise en relief de la pollution des sédiments par le plomb, le zinc et l'arsenic. *J. Soc. Ouest- Afr. Chim.*, 037 (2014) 36 - 42
- [22] - S. CASAS, Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis* en milieu méditerranéen, thèse de Doctorat, Université du Sud Toulon France, (2005) 301 p.
- [23] - SAS, SAS/STAT User's Guide Worms 64th ed Cary NC USA SAS Inst, (2013)
- [24] - OMS, World health organization; international program on chemical safety. Environmental criteria, (2006)
- [25] - N. L. EKENGLE, B. OUMAR, O. A. D. BALLA, Evaluation du niveau de pollution par les métaux lourds des lacs Bini et Dang, Région de l'Adamaoua, Cameroun. *Afrique Science*, 10 (2) (2014) 184 - 198
- [26] - O. S. KAMILLOU, D. S. HODABALO, G. KISSAO, M. A. KOMLAN, J. B. ESSO, Evaluation et risques sanitaires de la bioaccumulation de métaux lourds chez des espèces halieutiques du système lagunaire Togolais. *Vertigo*, 14 (2) (2014) 1 - 18
- [27] - G. SORO, B. S. METONGO, N. SORO, E. K. AHOUSSE, F. K. KOUAME, S. G. P. ZADE, T. SORO, Métaux lourds (Cu, Cr, Mn et Zn) dans les sédiments de surface d'une lagune tropicale africaine: cas de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 3 (6) (2009) 1408 - 1427

- [28] - P. GUEDENON, A. P. EDORH, C. KAKI, A. P. E. YEHOUEYOU, K. GNANDI, S. MONTCHO, A. HOUNKPATIN, L. KOUMOLOU, M. BOKO, Arsenic, Cadmium, Copper and Lead accumulation in water, sediments and fish species of Oueme River in Bonou. *Br. J. Pharmacol. Toxicol.*, 3 (1) (2012) 13 - 20
- [29] - K. GNANDI, F. TOMETY-MENSAH, Y. AMEYAPOH, P. EDORH, Distribution, biodisponibilité et bioaccumulation des métaux lourds dans le système lagunaire de Lomé. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé* (Togo), série A, 9 (1) (2007) 67 - 81
- [30] - K. M. YAO, M. B. SORO, A. TROKOUREY, Y. BOKRA, Assessment of sediments contamination by heavy metals in a tropical Lagoon Urban area (Ebrié Lagoon, Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 34 (2) (2009) 280 - 289
- [31] - E. A. OBODAI, L. K. BOAMPONSEM, C. K. ADOKOH, D. K. ESSUMANG, B. O. VILLAWOE, D. W. AHETO, J. S. DEBRAH, Concentrations of heavy metals in two Ghanaian Lagoons. *Arch. Appl. Sci. Res.*, 3 (3) (2011) 177 - 187
- [32] - A. A. BASTAMI, J. K. KHOEI, M. ESMAILIAN, Bioaccumulation of heavy metals in sediments and crab, *Portunus pelagicus* from Persian Gulf, Iran. Middle-East. *J. Sci. Res.*, 12 (6) (2012) 886 - 892
- [33] - F. FATEMI, K. SHAHRZAD, Investigation of cadmium and arsenic accumulation *Portunus pelagicus* along the Asalouyeh Coast, Iran. *Journal of Earth, Environment and Health Sciences*, 2 (1) (2016) 34 - 38
- [34] - F. GBOGBO, S. D. OTOO, R. Q. HUAGO, O. ASOMANG, High levels of mercury in wetland resources from three river basins in Ghana: a concern for public health. *Environ. Sci. Pollu. Res.*, (2016) 9 p. DOI 10.1007/s11356-016-8309-2
- [35] - G. D. STENTIFORD, S. W. FEIST, A histopathological survey of shore crab (*Carcinus maenas*) and brown shrimp (*Crangon crangon*) from six estuaries in the United Kingdom. *Journal of Invertebrate Pathology*, 88 (2005) 136 - 146
- [36] - S. M. MOREIRA, L. GUILHERMINO, R. RIBEIRO, An in situ postexposure feeding assay with *Carcinus maenas* for estuarine sediments-overlying water toxicity evaluations. *Environmental Pollution*, 139 (2006) 318 - 329
- [37] - U. OMUVWIE, O. ATOBATELE, Growth pattern condition factor, trace metal studies and ectoparasitic load of the blue crab, *Callinectes amnicola* from Lagos Lagoon, Badore, Ajah, Lagos, Nigeria. *Cameroon Journal of Experimental Biology*, 9 (1) (2013) 34 - 43
- [38] - R. OYEBISI, A. LAWAL-ARE, B. ALO, Comparative study of persistent toxic metals levels in land crab (*Cardisoma armatum*) and lagoon crab (*Callinectes amnicola*) in Lagos Lagoon. *Scholarly J. Biotechnol.*, 1 (4) (2012) 72 - 79