

Teneurs en Plomb, Cadmium, Mercure et Zinc relevées dans la chair de la moule, *Perna perna*, dans le littoral d'Annaba

Bourhane Eddine Belabed, Aicha Djabourabi et Mourad Bensouilah

Laboratoire d'Ecobiologie des Milieux Marins et Littoraux,
Faculté des Sciences, Université Badji Mokhtar, BP 12, Annaba 23000, Algérie.

Accepté le 12/06/2008

يهدف هذا العمل تقييم أهمية تأثير ثنائيات الصدفة في خليج عنابة. تحليل المعادن الثقيلة الموجودة في لحم ثنائيات الصدفة بواسطة (SAA) (جهاز التحليل الضوئي ذو الامتصاص الذري). أثبتت المعطيات المتحصل عليها أن توزيع بعض المعادن الثقيلة : (Zn, Pb, Cd, Hg) في خليج عنابة يتبع اتجاه من الشرق إلى الغرب ، ما يفسر أهمية ما يصب كما ونوعا من واد السيبوس وما يلقي في البحر من طرف أسميدال، إضافة إلى حركة المياه ، طبيعة الراسب وبعض العوامل الفيزيوكيميائية لمياه الخليج . نتائج التحاليل التي أجريت على لحم ثنائيات الصدفة (Moule) : المأخوذة من نقاط مختلفة من خليج عنابة أظهرت توزع موضوعي للمعادن الثقيلة حسب الترتيب من الشرق إلى الغرب حيث يزيد مع زيادة السيول في الفصول الرطبة. جميع معدلات المعادن الثقيلة لا تفوق معدلات المعايير الجزائرية والدولية. هذه الاختلافات في المعدلات بين المناطق الموجودة في الخليج وخارج الخليج تبين بوضوح المصدر الناتج عن النشاط البشري و الصناعي و الذي يأتي عن طريق واد السيبوس ومياه الصرف.

الكلمات المفتاحية: الراسب؛ خليج عنابة؛ النشاط البشري و الصناعي.

Résumé

Ce travail porte sur le dosage de 4 métaux lourds (Zn, Pb, Cd, Hg) dans la chair de moules *Perna perna* récoltées à partir de 3 stations situées dans le golfe à proximité de rejets de type urbain, industriel, agricole, et d'une quatrième station localisée hors du golfe et loin de tout rejet. L'échantillonnage des moules a été réalisé en période printanière, estivale et automnale. Pour le dosage des métaux il a été utilisé la spectrophotométrie par absorption atomique à flamme. Les résultats de l'étude de la distribution spatiale des métaux lourds dosés montrent l'existence d'un gradient décroissant d'Est en Ouest déterminé par l'importance des apports en contaminants métalliques que les divers rejets charrient vers la mer. Il a été noté, en effet, que c'est dans la chair de moules *Perna perna* prélevées à l'Est de la zone d'étude, à proximité des sources de contaminants les plus importantes, que les teneurs en Cadmium, mercure, plomb et zinc, sont les plus élevées. En ce qui concerne la période de prélèvement, il a été constaté que dans l'ensemble des 4 stations, c'est dans la chair de moules *Perna perna* prélevées en novembre que les teneurs en métaux lourds dosés sont les plus élevées. L'enrichissement en métaux lourds de la chair de moules *Perna perna*, au cours de la saison humide et pluvieuse, serait probablement engendré par l'augmentation des charges polluantes métalliques dans les eaux de ruissellement des premières crues. L'analyse statistique des données montre, selon le métal considéré, l'existence de différences significatives à très significatives, entre les stations et les périodes d'échantillonnage.

Mots clés : plomb; cadmium; mercure; zinc; littoral d'Annaba; moules; teneurs en métaux lourds; *Perna perna*.

Abstract

The aim of the work is to evaluate the proportioning of 4 heavy metals (Zn, Pb, Cd, Hg) in the flesh of mussels *Perna perna*. The sampling of the mussels *Perna perna* was carried out in spring, summer and autumnal period collected from 3 stations located in the gulf near rejections (urban, industrial, agricultural) and from a fourth station located out of the gulf and far from any rejection. For the proportioning study of metals we used by absorption atomic spectrophotometry. The results of the spatial distribution these heavy metals reveal a decrease in content in heavy metals from East: Sidi Salem situated in the West to the last station which situated in the West. This fact is explained by the various rejections from industrial, urban and domestic sources and carried towards the sea. It was noted, in the flesh of mussels *Perna perna* taken in the East of the zone of study, near the most significant sources of contaminants. The heavy metals are Cadmium, mercury, lead and zinc contents highest. With regard to the period were the prospection in all 4 stations, it

Auteur correspondant: bourhanebelabedmarine@yahoo.fr (Bourhane Eddine Belabed)

was the flesh of mussels *Perna perna* taken in November that the contents of proportioned heavy metals were highest. Enrichment of heavy metals of the flesh of mussels *Perna perna*, during the rainy season, would be probably generated by the increase in the metal polluting loads in surface waters. The statistical analysis of the data showed the existence of significant differences between the stations and the periods.

Key words: Lead; Cadmium; Mercury; Zinc; littoral of Annaba; mussels; Contents of heavy metals; *Perna perna*.

1. INTRODUCTION

Si les métaux sont souvent indispensables au déroulement des processus biologiques (oligo-éléments), nombre d'entre eux peuvent s'avérer contaminants pour diverses formes de vie, lorsque leur concentration dépasse un seuil, lui-même fonction de l'état physico-chimique (spéciation) de l'élément considéré. C'est le cas du fer (Fe), du cuivre (Cu), du zinc (Zn), du nickel (Ni), du cobalt (Co), du vanadium (V), du sélénium (Se), du molybdène (Mo), du manganèse (Mn), du chrome (Cr), de l'arsenic (As) et du titane (Ti)[1]. D'autres éléments traces tel que le mercure (Hg), le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et l'antimoine (Sb) ne sont pas nécessaires à la vie et peuvent lui être préjudiciables [2]. Enfin, ils représentent un danger potentiel pour le consommateur de produits marins du fait de leur possibilité de concentration dans les espèces marines, de leur élimination difficile et de leur large répartition dans le milieu aquatique. Lorsque de faibles quantités du métal ou de ses sels solubles dans les graisses (tel le méthyl-mercure) sont ingérées de façon répétitive sur de longues périodes, un empoisonnement chronique au mercure se produit chez l'homme [3].

Les mollusques bivalves sont d'excellents capteurs des polluants métalliques; ces derniers se concentrent sur les organes d'assimilation (équivalents foie et reins), qui sont précisément ce que l'homme mange. Ils accumulent surtout le cadmium et dans une moindre mesure le plomb, mais peu le mercure. Ainsi, le suivi de la contamination côtière par les métaux, au moyen du bivalve est de

pratique courante dans de nombreux programmes de surveillance à travers le monde.

Pour cela nous avons dosé les teneurs de 4 métaux lourds (Pb, Hg, Cd, Zn,) dans la chair de moules récoltées à partir de divers sites du littoral d'Annaba et à différentes périodes de l'année, afin de déterminer l'implication des divers rejets (industriels, urbains et agricoles) dont le golfe et le réceptacle dans le processus de contamination des moules qui peuplent le littoral d'Annaba.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'état de santé du golfe d'Annaba à travers l'espèce bio-indicatrice de pollution *Perna perna*. Ce dernier est exposé à divers polluants de différentes origines. [4,5]

En effet, elle est proposée comme espèce sentinelle dans les programmes de bio surveillance de la contamination des cotes ; *Perna perna* espèce utilisé comme un excellent bio indicateur de la pollution marine, vu sa grande capacité d'accumulation de métaux lourds.

2. MATERIEL et METHODES

2.1 Présentation des stations

Le golfe d'Annaba est limité à l'Est par le cap Rosa (8° 15'E et 36° 58'N) et à l'ouest par le cap de garde (7° 47'E et 36° 58'N) ; la distance séparant les deux caps est d'environ 21,5 milles (40 km), la profondeur maximale des eaux est égale à 65 mètres. Du point de vue

sédimentologique, le fond marin débute généralement par du sable fin dans le secteur Ouest puis ce sable se mélange avec de la vase fine dans le secteur Est. Les courants dans le golfe d'Annaba présentent, à l'ouverture du golfe, après le Cap de Garde, une circulation orientée d'Ouest en Est avec des vitesses fluctuantes selon les saisons pouvant atteindre de 0.5 à 1 m/s. Ce courant décolle de la face Sud Est du Cap de Garde en direction de l'embouchure de l'oued Mafrag.

Dans le golfe se jettent essentiellement deux oueds : Seybouse et Mafrag qui charrient les eaux de pluie et les eaux des rejets urbains, industriels et agricoles. Le golfe d'Annaba reçoit, par ailleurs, d'autres émissaires en provenance des usines de fabrication d'engrais et de matières grasses et de rejets domestiques.

Les stations échantillonnées sont situées dans la partie Ouest du golfe, à proximité de la ville d'Annaba (fig.1). Le bivalve utilisé pour la réalisation de cette étude est l'espèce *Perna perna*. Dans chaque station nous avons réalisé 5 prélèvements de moules : 3 en période sèche « mai, août et octobre » et 2 en période humide « novembre et janvier ». Les 4 stations sont situées dans la partie Ouest du golfe:

Dans le cadre de cette étude nous avons pris en compte quelques caractéristiques du matériel biologique : la taille, teneur en eau, et récolté aléatoirement, et indépendamment du sexe. (Durant 28-05-05, 27-08-05, 29-10-05, 26-11-05 et 28-01-06)

- Station 1 « Sidi Salem » (N 36° 52' 02'' . E 007° 46' 26.6'') : elle est située sur la partie Est de la zone d'étude, à proximité de l'embouchure de l'oued Seybouse et de l'ensemble des rejets industriels (émissaire de l'usine de fabrication de fertilisants) et urbains

(émissaire du « Bejima » qui draine toute la plaine Ouest de la ville d'Annaba);

- Station 2 « Lever de l'aurore » (N 36° 55' 55 4'' . E 007° 45' 24 9'') : elle se trouve à proximité du port et reçoit des rejets urbains.

- Station 3 « Saint Cloud » (N 36° 55' 22 2'' . E 007° 45' 50 2'') : elle reçoit plusieurs égouts qui charrient des « rejets domestiques »

- Station 4 « La kyenne » (N 36° 58' 02'' . E 007° 46' 24'') : elle est localisée au Nord-Ouest de la ville d'Annaba à l'extérieur du golfe en dehors de la zone urbanisée; elle est par ailleurs soumise à une courantologie différente de celle régnant dans les 3 autres stations.

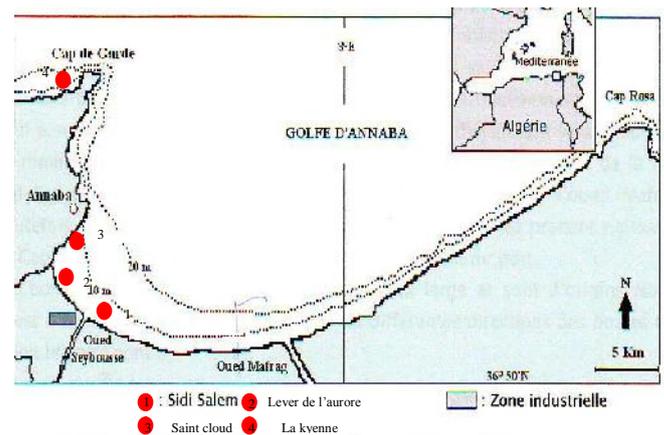


Figure 1 : Position géographique du golfe d'Annaba et sites d'échantillonnage.

Figure 1. image satellitaire montrant les stations d'étude.

2.2 Traitement des moules récoltées

Les moules utilisées sont adultes matures et taille marchande. La taille et le poids moyen des échantillons sont de $38,6 \pm 1,4$ mm et de $10,4 \pm 1,2$ g. Elles sont prélevées à la main à partir des rochers sur lesquels elles étaient fixées. La collecte des moules c'est effectuée de 0 à 10 mètre de profondeur

Les bivalves prélevés sont mis dans un sac plastique que l'on place dans une glacière à 4°C.

2.3 Analyse chimique :

La minéralisation est effectuée suivant la méthode de [6] ou 0,5 g de poids sec (p.s) d'échantillon provenant de l'homogénéat de toute la partie molle d'une moule est mis dans un creuset auquel on ajoute de l'acide nitrique est porté à une température de 95°C. Après refroidissement on ajuste le contenu par de l'eau bi distillée. La solution obtenue et dosée par spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme.

Cette minéralisation des échantillons est accompagnée, d'une part, par celle des blancs (solutions contenant que de l'acide nitrique), et d'autres parts par des échantillons standards (thon de méditerrané code 350 livré par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique "AIEA").

Il a été utilisé un spectrophotomètre d'absorption atomique (type AA 680 Shimadzu) à flamme ou à four graphite. Avec calculateur intégré pour le traitement des résultats. Les éléments quantifiés sont le plomb, le zinc, le cadmium et le mercure. Le plomb, le cadmium et le zinc : les dosages sont réalisés par spectrophotomètre d'absorption atomique four graphite (Cd & Pb) ou flamme (Zn) suivant la concentration de l'élément a analysé suivant la méthode UNEP/IAEA/ FAO (1984)

Pour le mercure : le dosage est effectué selon la méthode IAEA/UNEP (1984) par fluorescence atomique après formation de vapeurs froides en présence de chlorure stanneux [7]. La précision des méthodes analytiques utilisées pour les métaux se situe entre 5% et 10%.

3.4 Traitements statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel STATISTICA.

L'analyse de la variance à deux critères de classification (station et saison) permet de tester l'homogénéité des teneurs en métaux lourds des échantillons classés en fonction des stations et des saisons. Les différences sont significativement différentes. L'appréciation est observée en fonction de la valeur de p. si $p \geq 0,05$: il n'existe pas de différences significatives (NS) si $p \leq 0,05^*$ il existe des différences significatives. Si $p \leq 0,01^{**}$ il existe des différences hautement significatives, si $p \leq 0,001^{***}$ il existe des différences très hautement significatives

3. RÉSULTATS

3.1 Evolution des teneurs en métaux lourds dans la chair de moules

3.1.1 Plomb

▪ La distribution des teneurs en plomb suit un gradient décroissant d'Est en Ouest ; Les teneurs en plomb contenues dans la chair de moules de la station 1 sont 2 à 3 fois plus élevées que celles relevées dans les stations 2 et 3 ; elles sont, par ailleurs, 50 fois plus élevées que dans la station 4 (fig. 2).

Tableau 1. Evolution des teneurs (en $mg.kg^{-1}$ de poids sec) en plomb relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

Stations	St1	St2	St3	St4
Prélèvement du 28-05-05	1,50	0,70	0,50	0,03
Prélèvement du 27-08-05	1,60	0,75	0,52	0,03
Prélèvement du 29-10-05	1,70	0,80	0,56	0,03
Prélèvement du 26-11-05	1,90	0,90	0,70	0,03
Prélèvement du 28-01-06	1,70	0,80	0,60	0,03
Moyenne N=5 écart type	1,68 ±	0,79 ±	0,57 ±	0,03 ± 0,00

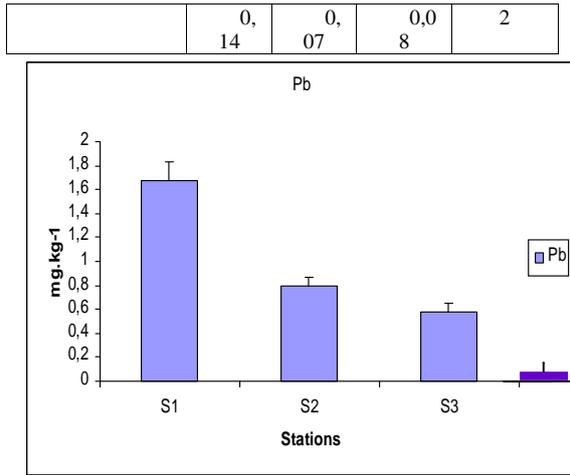


Figure 2. Distribution des teneurs moyennes (en $mg.kg^{-1}$ de poids sec) en plomb dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

▪ Nous relevons, par ailleurs, que dans l'ensemble des 4 stations, c'est dans la chair de moules prélevées en novembre que les teneurs en plomb sont les plus élevées (tab.1).

▪ L'analyse statistique fait apparaître l'existence d'une différence « très hautement significative » des teneurs en plomb d'une station à une autre ; cette différence est « très significative » entre les saisons.

Tableau 2. Résultat de l'AV₂ montrant le niveau de significativité pour le Plomb

	f	P
Station	435.80	0.000***
Saison	10.07	0.006**

3.1.2 Mercure

▪ Les teneurs maximales en mercure sont relevées dans la station 1 ou les valeurs notées sont 7, 8 et 13 fois plus élevées que celles relevées respectivement dans les stations 4, 2 et 3 (fig. 3).

▪ Par ailleurs, c'est toujours en novembre que les teneurs en mercure les plus élevées sont relevées dans l'ensemble des stations (tab.3).

▪ Nos données statistiques, concernant les teneurs en mercure, montrent l'existence d'une différence « très hautement significative » d'une station à une autre mais l'absence de différence entre les saisons.

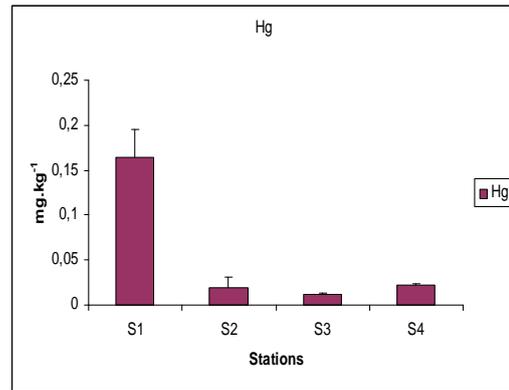


Figure 3. Distribution des teneurs moyennes (en $mg.kg^{-1}$ de poids sec) en mercure relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

Tableau 3. Evolution des teneurs (en $mg.kg^{-1}$ de poids sec) en mercure relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

stations	St1	St2	St3	St4
Prélèvement du 28-05-05	0,14	0,01	0,01	0,02
Prélèvement du 27-08-05	0,15	0,012	0,01	0,02
Prélèvement du 29-10-05	0,16	0,02	0,01	0,02
Prélèvement du 26-11-05	0,22	0,04	0,01	0,02
Prélèvement du 28-01-06	0,15	0,01	0,01	0,02
Moyenne N=5	0,16	0,02	0,01	0,02
écart type	± 0,03	± 0,01	± 0,001	± 0,001

Tableau 4. Résultat de l'AV₂ montrant le niveau de significativité pour le mercure

	f	p
station	102.09	0.000***
saison	3.06	0.100

3.1.3 Cadmium

La distribution du cadmium suit un gradient décroissant d'Est en Ouest ; Les moules de la station 1 montrent une teneur moyenne en cadmium 463 fois plus importante que celle relevée dans la chair de moules de la station 4; ces teneurs baissent de moitié dans les stations 2 et 3 (fig.4)

Les teneurs maximales en cadmium sont relevées, dans l'ensemble des stations échantillonnées, en novembre (tab. 5).

Tableau 5. Evolution des teneurs (en $mg.kg^{-1}$ de poids sec) en cadmium relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

Stations	St1	St2	St3	St4
Prélèvement du 28-05-05	0,40	0,20	0,20	0,001
Prélèvement du 27-08-05	0,45	0,22	0,20	0,001
Prélèvement du 29-10-05	0,50	0,22	0,23	0,0013
Prélèvement du 26-11-05	0,70	0,25	0,24	0,0015
Prélèvement du 28-01-06	0,50	0,22	0,22	0,0011
Moyenne N=5	± 0,51	± 0,22	± 0,22	± 0,001
écart type	0,11	0,017	0,02	0,0002

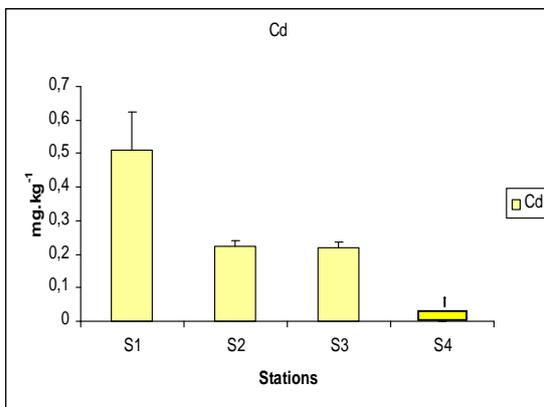


Figure 4. Distribution des teneurs moyennes ($mg.kg^{-1}$ de poids sec) en

cadmium relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

L'analyse statistique révèle, en ce qui concerne les teneurs en cadmium, l'existence d'une différence « très hautement significative » et « significative » d'une station à une autre et d'une saison à l'autre respectivement.

Tableau 6. Résultat de l'AV₂ montrant le niveau de significativité pour le cadmium

	f	P
station	49.86	0.000***
saison	4.48	0.051**

3.1.4 Zinc

Dans la station 1, les teneurs en zinc sont 2 à 3 fois plus élevées que celles relevées dans les 3 autres stations (fig. 5).

Tableau 7. Evolution des teneurs (en mg/kg^{-1} de poids sec) en zinc relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

Stations	St1	St2	St3	St4
Prélèvement du 28-05-05	35	15	18	12
Prélèvement du 27-08-05	36	15	18	13
Prélèvement du 29-10-05	36,50	16	18,5	13
Prélèvement du 26-11-05	36	17	19	14
Prélèvement du 28-01-06	36	16	18,50	13,50
Moyenne N=5	± 35,90	± 15,80	± 18,4	± 13,1
écart type	0,54	0,83	0,42	0,74

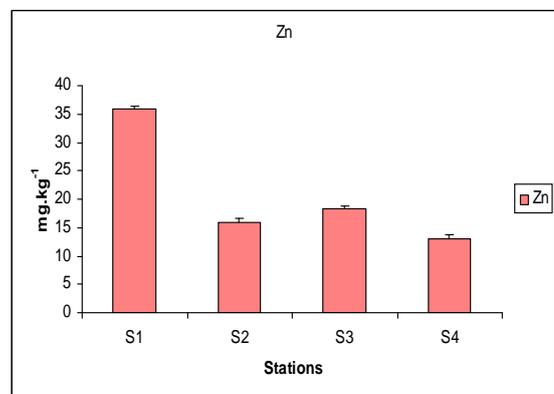


Figure 5. Distribution des teneurs moyennes ($mg.kg^{-1}$ de poids sec) en zinc

relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

- C'est en novembre que dans l'ensemble des stations les teneurs maximales en zinc sont relevées (tab.4).

- Les données statistiques montrent que les teneurs en zinc diffèrent d'une station à une autre d'une manière « très hautement significative » ; mais cette différence est « très significative » d'une saison à l'autre.

Tableau 8. Résultat de l'AV₂ montrant le niveau de significativité pour le zinc

	f	p
Station	1893.21	0.000***
Saison	9.64	0.007**

4. DISCUSSION

Les résultats des dosages réalisés à partir de chair de moules prélevées de divers points du littoral font apparaître que les teneurs en métaux lourds présentent une distribution variable aussi bien en fonction du site qu'en fonction de la période de prélèvement.

Les teneurs en plomb, relevées dans la chair de moules peuplant le littoral d'Annaba, sont réparties selon un gradient décroissant d'Est en Ouest ; la teneur maximale est relevée à l'Est à proximité de l'embouchure de l'Oued Seybouse et les autres rejets (industriels et urbains) ; mais c'est hors du golfe (station 4) que la teneur minimale en plomb est notée. Les niveaux en plomb relevés dans la présente étude restent inférieurs aux normes Algériennes [8] fixant la teneur maximale en plomb dans les bivalves à 5 mg/kg de poids sec. Des niveaux assez élevés sont rapportés en méditerranée française, ou des valeurs extrêmes sont rapportées dans la rade de Toulon (5,4 mg/kg p.s.) et à un degré moindre à Marseille

En ce qui concerne le mercure les teneurs maximales sont relevées dans la chair de moules de la station 1 ; mais les valeurs trouvées restent inférieures aux normes algériennes [8] fixant la teneur maximale en mercure dans les bivalves à 2,5 mg/kg de poids sec. Selon les sources [9], des niveaux de concentration supérieurs à la médiane nationale française sont rencontrés dans les mollusques prélevés dans les secteurs de Toulon Lazaret (3,7 fois la moyenne nationale française) et dans une moindre mesure chez ceux de Pomègues (2 fois la médiane nationale française) [9] ; bien que les valeurs relevées soient élevées, elles restent, toutefois, inférieures au seuil réglementaire fixé à 2,5 mg/kg (p.s).

Le cadmium présente les teneurs les plus élevées dans le golfe et surtout à « Sidi Salem » ou les teneurs moyennes en cet élément sont 463 fois plus importantes que celles relevées dans la chair de moules vivant « hors du golfe ». Les valeurs en cadmium que nous relevons restent, néanmoins, inférieures aux normes algériennes [8] fixant la teneur maximale en cadmium dans les bivalves à 5 mg/kg de poids sec. En méditerranée française des teneurs en cadmium relativement élevées (2,8 fois la médiane nationale française) sont relevées dans le secteur d'Ajaccio [9] ; Mais des niveaux encore plus élevés (5,82 mg/kg p.s.) ont été rapportés dans la lagune de Bages ; Ces teneurs en dépassant le seuil de 5 mg/kg de poids sec. fixé par le règlement CCE [10] n° 466-2001 ont été à l'origine de l'interdiction de commercialisation des mollusques.

Dans la station 1 "Sidi Salem", la teneur en zinc est 2 à 3 fois plus élevées que celles relevées dans les 3 autres stations ; Les teneurs en zinc contenues dans la chair de moules peuplant le littoral d'Annaba sont dans l'ensemble nettement inférieures à la médiane nationale française qui fixe la teneur à 110 mg/kg

p.s. En méditerranée française les teneurs en zinc les plus élevées sont relevées dans les secteurs à dominante portuaire tel que le golfe de Marseille, Toulon-Lazaret, port Grimaud et Ajaccio [9]. Selon les données [11], le niveau moyen de contamination se situe autour de 150 mg/kg (p.s.) ; toutefois des teneurs en zinc de 199,3 mg/kg p.s. et 183 mg/kg p.s. sont respectivement relevées dans les étangs de Bages et du Méjean [5]

En ce qui concerne la période de prélèvement, nous relevons que dans l'ensemble des 4 stations, c'est dans la chair de moules prélevées en novembre que les teneurs en métaux lourds dosés sont les plus élevées. L'enrichissement en métaux traces au cours de la saison humide et pluvieuse a pour principale origine l'augmentation des charges polluantes métalliques dans les eaux de ruissellement des premières crues. Le facteur saisonnier est important et de nombreuses études ont montré que les concentrations métalliques mesurées chez les espèces marines varient saisonnièrement. [12-22]

Les variations saisonnières peuvent être causées par la combinaison de plusieurs facteurs directement corrélés au poids incluant la température, la disponibilité en nourriture, la croissance et la reproduction mais aussi d'autres facteurs indépendants tels que la modification du cycle biogéochimique et de la biodisponibilité des métaux [23-34,13,5] l'apparition des teneurs maximales en métaux (Cd, Pb, Cu et Zn) dans les moules a lieu en hiver et au début du printemps.

Parmi les facteurs abiotiques, les facteurs physico chimiques (température, salinité, oxygène dissous, pH...) du milieu jouent un rôle essentiel puisqu'ils influent à la fois sur la forme physico chimique des métaux (état de valence, adsorption-désorption sur les matières en suspension) donc sur leur biodisponibilité, mais

également sur le métabolisme des espèces (osmorégulation, respiration, reproduction, activité trophique...) dont dépendent en partie les cinétiques d'accumulation et d'excrétion des métaux [35-37]. Ces facteurs environnementaux, sont spécifiques à un site et varient dans le temps [38]

Les résultats de la présente étude démontrent l'importance des apports anthropiques dans la contamination du golfe par les métaux lourds du fait que les plus fortes teneurs en métaux lourds observées sont relevées dans la chair de moules peuplant la station 1 située plus à l'Est de la zone d'étude et à proximité des rejets industriels (usine fertil), urbains et domestiques que le golfe reçoit. Ces fortes teneurs dans la chair de nos échantillons s'expliquent principalement par ces principaux rejets anthropogéniques du littoral de la ville de Annaba, correspondant aux émissaires des eaux usées de par les charges polluantes charriées par les oueds Seybouse et Mafragh, oued Forcha, oued Sidi Harb, oued Edheb, oued Kouba, oued Bouhdid et oued Bedjima sans aucun traitement préalable. Ces charges polluantes sont aussi sous l'influence de l'activité portuaire d'une part et d'un axe routier important d'autre part.

Quant aux basses teneurs relevées dans la station 4, elles s'expliqueraient par l'éloignement de ce site des grandes sources de contamination, mais aussi par l'hydrodynamisme et la courantologie auxquels est soumise cette zone.

5. CONCLUSION

Il ressort de cette étude que les teneurs en métaux lourds relevées dans la chair des moules *Perna perna* du golfe de Annaba sont significatives. De ce fait ces teneurs reflètent d'une manière claire les niveaux de pollution du littoral d'Annaba. Les résultats obtenus dans cette étude

confirment l'utilisation des moules comme espèce indicatrice de pollution.

Les teneurs relevées dans nos échantillons affichent des seuils non négligeables par rapport à celles relevées en méditerranée et rapportées par plusieurs auteurs en référence aux valeurs guides algériennes [8] les bivalves *Perna perna* peuplant le littoral d'Annaba sont considérés comme non contaminés par les métaux lourds.

Ces données nous ont permis de communiquer une vision juste et valorisante de la qualité de l'ensemble du milieu étudié vis-à-vis de sa contamination par les métaux traces.

Il est recommandé dans un premier temps de continuer le suivi pendant plusieurs années afin d'établir une stratégie qui va nous permettre de résoudre le problème des rejets industriels et urbains.

Toutefois d'autres perspectives d'études relatives à un meilleur suivi de l'évolution de la contamination anthropique du golfe par les métaux lourds sont ouvertes (échantillonner un peu plus à l'Est du golfe, doser les métaux lourds sur d'autres organismes marins végétaux et animaux faisant partie de la chaîne trophique, application de techniques «caging».

Références

- [1] M. Miquel, *Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé*, Rapport Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Assemblée Nationale, N : 2979 , France , 2001, 366p.
- [2] J.F. Chiffoleau, D. Auger, E. Chartier, P. Michel, I. Truquet, A. Ficht, J.L. Gonzalez et L.L. Romana, *Spatiotemporal changes in Cadmium contamination in the Seine estuary (France)*, Estuaries , 24 (6B), 2001, pp.1029-1040.
- [3] R.P. Mason, J.R. Reinfelder, et F.M.M. Morel , *Uptake, toxicity and trophic transfer of mercury in a coastal diatom*, Envir. Sci. Technol., 30, 1998, pp. 1835-1845.
- [4] C. Abdenour, K. Khelili, M.S. Boulakoud et P.S. Rainbow, *Trace metals in marine, barckish and freshwater prawns (Crustacea, Decapoda) from northeast Algeria*, Hydrobiologia, 432, 2004, pp. 217-227.
- [5] H. Beldi, F. Gimbert, S. Maas, R. Scheifler et N. Soltani, *Seasonal variations of Cd, Cu, Pb and Zn in the edible mollusk Donax trunculus (Mollusca, Bivalvia) from the golf of Annaba, Algeria*, Afric. J. Agri. Res., Vol 1(4), 2006, pp. 85-90.
- [6] J.M. Andre, *Recherche en écotoxicologie marine sur la contamination des Delphinidés par les micropolluants. Métaux traces et composés organochlorés*, Thèse Doct. Bordeaux, 1988, 282 p.
- [7] J.F. Chiffoleau, D. Auger, B. Boutier, E. Rouzel, I. Truquet, *Dosage de certains métaux dans les sédiments et la matière en suspension par absorption atomique*, Ed. Ifremer, Brest, France , 2003, 45 p.
- [8] Ministère Délégué à la Recherche, à la Technologie et à l'Environnement, *Recommandations des services de l'environnement concernant les immersions des déblais de dragage provenant des enceintes portuaires*, Algérie, 1991.
- [9] RNO, *Surveillance du milieu marin. Bulletins annuels édités par l'Ifremer et MATE*, Algérie, 1974-2004.

- [10] CCE, *Législation communautaire dans le domaine de l'environnement: 1967-1987. Vol. 3, produits chimiques et déchets*, CCE, Direction Générale Environnement, Protection des consommateurs et sécurité nucléaire. Bruxelles, 1988, 125p.
- [11] RINBIO, *le réseau INtégrateurs BIOlogiques RINBIO : EVALUATION de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée*, Rapport N°991452 et N°992461, RMC, Ifremer Toulon, 67p.
- [12] L. Majori, G. Nedoclan, G.B. Modontti et F. Daris, *Study of seasonal variation of some trace elements in the tissue of Mytilus galloprovincialis taken in the gulf of Trieste*, Rev. Int. Ocean. Medit., 49, 1978, pp. 37-40.
- [13] D. Cossa, *Utilisation de la moule bleue comme indicateur du niveau de pollution par les métaux lourds et les hydrocarbures dans l'estuaire et le golfe du St Laurent*, Rapport INRS Océanologie, Université du Québec, 1980, NSI-43600/00/74.
- [14] R. Boalch, S. Chan et D. Taylor, *Seasonal variation in the trace metal content of Mytilus edulis*, Mar. Poll. Bull., 12, 1981, pp. 276-280.
- [15] D. Cossa et J.G. Rondeau, *Seasonal, geographical and size-induced variability in mercury content of Mytilus edulis in an estuarine environment: a re-assessment of mercury pollution level in the estuary and gulf of St Laurent*, Mar. Biol., 88, 1985, pp. 43-49.
- [16] F. Bei, V.A Catsiki et Stroggyloudi, *Seasonal and spatial variation of Cu, Cr, Ni and Pb concentration in Mytilus galloprovincialis of Sarannikos gulf, Greece*, Rapports de la Commission Internationale pour l'exploitation Scientifique de la Mer Méditerranée, 1998.
- [17] P. Wright et C.F. Mason, *Spatial and seasonal variation in heavy metals in the sediments and biota of two adjacent estuaries, the Orewell and Stour, in eastern England*, The Science of the Total Environment, 226, 1999, pp. 139-156.
- [18] A. Kaimoussi, A. Chafik, M. Cheggour, A. Mouzdahir, et S. Bakka, *Seasonal variation of metal concentration (Cd, Cu, Zn, Fe and Mn) in mussel Mytilus galloprovincialis from El Jadida coastline (Morocco)*, Mar. Life, 10, 2000, pp. 77-85.
- [19] E. Orban, G. Dilena, T. Nevigato, I. Casini, et Caproni, *Seasonal change in meat content, condition index and chemical composition of mussel (Mytilus galloprovincialis) cultured in two different Italian sites*, Food Chemistry, 2002.
- [20] H. Gouiez, *Apport en sels nutritifs et en matières organiques oxydables au littoral d'Annaba par l'oued Seybouse et l'estuaire de la Mafrag*. Magistère, Univ. Annaba, 2006.
- [21] M. Khelifi-Touhami, M. Ounissi, I. Saker, A. Haridi, S. Djorfi et C. Abdenour, *The hydrology of the Mafrag estuary (Algeria) : Transport of inorganic nitrogen and phosphorus to the adjacent coast*, J. Food, Agri. and Envir., 4(2), 2006, pp.340-346.
- [22] M. Guettaf, *Aspects chimiques des apports de l'oued Seybouse au littoral d'Annaba. Apports en azote, phosphore et en matières organiques*, Magistère, Univ. Annaba, 2007.
- [23] J. Widdows, *combined effects of body size, food concentration and season of the physiology of Mytilus edulis*, J. Mar. Boil. Ass., UK58, 1978, pp. 105-124.

- [24] D.I. Zandee, J.H. Kluytmans, W. Zurburd et H. Pieters, *Seasonal variations in biochemical composition of Mytilus edulis with reference to energy metabolism and gametogenesis*, Neth. J. Sea Res., 14, 1980, pp. 1-29.
- [25] F. Paez-Osuna, M.G. Frias-Espericueta et J.I. Osuna-Lopez, *Trace metal concentrations in relation to season and gonadal maturation in the oyster Crassostrea iridescens*, Mar. Envir. Res., 40, 1995, pp. 19-31.
- [26] M.J. Carballal, A. Villalba et C. Lopez, *Seasonal variation and effects of age, food availability, size, gonadal development and parasitism on the hemogram of Mytilus galloprovincialis*, J. Invertebrate Pathol., 72, 1998, pp.304-312.
- [27] I. Okumus et H.P. Stirling, *Seasonal variations in the meat weight, condition index and biochemical composition of mussels (Mytilus edulis L.) in suspended culture in two Scottish area lochs*, Aquaculture, 159 (3-4), 1998, pp.249-261.
- [28] W.H. Wong et S.G. Cheung, *Feeding behaviour of the green mussel, Perna viridis (L.): Responses to variation in seston quantity and quality*, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 236 (2), 1999, pp. 191-207.
- [29] W.H. Wong et S.G. Cheung, *Feeding rates and scope for growth of green mussels, Perna viridis (L.) and their relationship with food availability in Kat O, Hong Kong*, Aquaculture, 193 (1-2), 2001, pp. 123-137.
- [30] P.S. Rainbow W.A. Fialkowski, Sokolowski B.D. Smith et M. Wolowicz, *Geographical and seasonal variation of trace metal bioavailabilities in the Gulf of Gdansk, Baltic Sea using mussels (Mytilus trossulus) and barnacles (Balanus improvisus) as biomonitors*. Mar. Biol., 144, 2004, pp. 271-286.
- [31] C. Stello, *Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces " Hg, Cd, Pb, Zn et Cu" chez la moule Mytilus galloprovincialis en milieu Méditerranéen*, Thèse Doctorat 2005, 356 p.
- [32] W.J. Langston et S.K. Spence, *Biological factors involved in metal concentrations observed in aquatic organisms*, Environ. Sci. Technol., 26, 1995, pp. 407-467.
- [33] C. Abdenour, B.D. Smith, M.S. Boulakoud, B. Samraoui, P.S. Rambow, *Trace metals in shrimps and sediments from Algeria water*, J. Catalog. Mat. Envir., 3, 2000, pp.9-12.
- [34] H. Frehi, M. Ayada, M.H. Kara et A. Coute, *Hydrologie de la baie d'Annaba: caractères physico-chimique et biomasse chlorophyllienne*, Rapp. Comm. int-Mer Medit., 37, 2004, 359p.
- [35] J. Coimbra et S. Carraca, *Accumulation of Fe, Zn, Cu and Cd during the different stages of reproductive cycle in Mytilus edulis*, Comp. Biochem. Physiol., 95C, 1990, pp. 265-270.
- [36] L. Chaoui, *Etude de la reproduction de Perna perna (L) (Mytilidae) dans le golfe de Annaba : aspects ecologique et biochimique*, Magister, Univ. de Annaba, 1993.
- [37] J. Grant, *The relationship of bioenergetics and the environment to the field growth of culture bivalves*, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 200, 1996, pp. 239-256.
- [38] S. Karayücel et I. Karayücel, *The effect of environmental factors, depth and position on the growth and mortality of raft-cultured blue mussels (Mytilus edulis L.)*, Aqua. Res., 31, 2000, pp. 893-899.