

EVALUATION DE LA CONTAMINATION CHIMIQUE PAR LES METAUX TRACES (Cd, Pb, Hg et Zn) DU ZOOPLANCTON ET DE LA SARDINELLE (*Sardinella aurita*) DANS LE GOLFE DE TUNIS

Rym ENNOURI^{(1,2)*}, L. CHOUBA¹ et M.M.KRAIEM¹

1-INSTM, port de pêche 2060 La Goulette-Tunis, Tunisie

2-Faculté des Sciences de Bizerte

*rymenvmarin@yahoo.fr

ملخص

تقييم التلوث الكيميائي في الهوائم الحيوانية العائمة و في سمكة الانتشة في خليج تونس : تقيم هذه الدراسة التلوث الكيميائي في الهوائم الحيوانية العائمة و في ثلاثة أعضاء لسمكة الانتشة *Sardinella aurita* (العضلة, الكبد, الخياشيم) وقع جلبها من خليج تونس. و يهدف هذا البحث إلى تقييم نسبة تركيز الكاديوم والرصاص و الزنك و الزئبق مع تحديد العضو الذي يقع فيه التركيز الأكبر لهذه المعادن.

تم جمع العينات باستعمال شباك خاصة للهوائم العائمة و بواسطة الكركارة بالنسبة لسمك الانتشة. أجريت التحاليل بواسطة آلة الامتصاص الذري مع استعمال عينات مرجعية.

بينت النتائج أن سمك الانتشة هو الذي فيه الأكثر تركيزا لهذه المعادن. وذلك بسبب تواجدها في أعلى سلم للمنظومة الغذائية . وأن الخياشيم تحتوي على أعلى النسبة من الرصاص و الزنك و الزئبق.

استنادا على هذه الدراسة تجدر الإشارة إلى أن كميات المعادن الثقيلة تبقى ضعيفة بالمقارنة مع الحد الأدنى المعمول به لدى المنظمة الأوروبية للبيئة. لذا يمكن اعتبار الأنواع التي وقع تحليلها خالية من كل تلوث بهذه المعادن و بالتالي تبقى صالحة للاستهلاك.

الكلمات المفاتيح : خليج تونس، التلوث، المعادن الثقيلة، الهوائم الحيوانية العائمة ، سمك الانتشة.

RESUME

La présente étude a pour but de déterminer l'organotropisme de quatre métaux traces (Cd, Pb, Hg et Zn) ainsi que leurs concentrations dans le zooplancton et dans trois organes (muscle, foie et branchies) de la sardinelle (*Sardinella aurita*) provenant du golfe de Tunis.

Les résultats ont montré que les concentrations moyennes des quatre métaux dosés (Cd, Pb, Hg et Zn) sont plus élevées dans la sardinelle que dans le zooplancton. Ceci est dû à la bioamplification de ces éléments dans la sardinelle qui occupe un niveau trophique élevé de la chaîne alimentaire marine.

Pour le Pb, le Hg et le Zn, les teneurs les plus élevées ont été enregistrées dans les branchies de la sardinelle, alors que le Cd est concentré davantage au niveau du foie.

Les concentrations trouvées, sont inférieures aux seuils fixés par la Commission Européenne de l'Environnement (CEE). En conséquence, les organismes analysés sont considérés comme indemnes de toute contamination par ces métaux traces.

Mots clés : Golfe de Tunis, pollution, métaux traces, sardinelle, zooplancton.

ABSTRACT

Evaluation of trace elements (Cd, Pb, Hg and Zn) levels in *Sardinella aurita* and zooplankton collected from the gulf of Tunis : This study aimed to investigate the bioaccumulation of trace elements (Cd, Pb, Hg and Zn) in *Sardinella aurita* (pelagic fish) and zooplankton from the gulf of Tunis.

The analysis of Cd, Pb, Hg and Zn were carried out in three organs (liver, gills and muscle) of *Sardinella aurita* and in zooplankton and were determined by atomic absorption spectrophotometry.

The obtained results indicate that *Sardinella* was more contaminated by trace elements than zooplankton in the gulf of Tunis. This difference could be related to the food chain position occupied by this fish. The liver of *Sardinella* has the highest level of cadmium, but the gills are the main organ which accumulate Pb, Hg and Zn.

Trace metals in the edible parts of *Sardinella aurita*, from the gulf of Tunis were in the safety levels for human uses.

Keywords : Gulf of Tunis, pollution, trace elements, *Sardinella*, zooplankton.

INTRODUCTION

Le golfe de Tunis constitue une des régions les plus productives de poissons pélagiques en Tunisie (Azouz, 1974). Cependant, il est sujet à des agressions anthropiques dues aux rejets d'eaux usées en provenance des agglomérations et des zones industrielles

avoisantes. Ces rejets chargés de divers polluants organiques et inorganiques ont des effets néfastes sur la faune et la flore marines.

Plusieurs études ont été réalisées sur le zooplancton ou production secondaire du golfe de Tunis, elles ont montré que le zooplancton constitue un maillon important dans l'écosystème marin pour l'exploitation des ressources

halieutiques et que les copépodes représentent le groupe dominant du zooplancton dans le golfe de Tunis (Daly Yahia, 1998; Zarrad, 2007). La sardinelle, espèce pélagique côtière planctophage rencontrée près de la surface, est l'espèce la plus fréquente dans les produits de la pêche côtière en Tunisie (Ben Abdallah et Gaamour, 2005) et aussi la plus largement distribuée dans les zones tropicales de tous les océans. Elle constitue une ressource de grand intérêt tant sur le plan alimentaire (poisson le plus consommé par l'homme) que de contrôle de la qualité de l'environnement (matériel biologique de classement pour la contamination par les polluants) et ceci à l'échelle mondiale (Fréon et Mendoza, 2005). En Tunisie, les études sur le zooplancton marin et la sardinelle ne sont pas très nombreuses ; elles se limitent à quelques travaux réalisés par Daly Yahia (1998), Turki (2002) et Zarrad (2007) pour le zooplancton et par Kartas (1981) et Gaamour (1999) sur la sardinelle. Toutes ces études se sont intéressées essentiellement à l'écobiologie et à la qualité nutritive de ces organismes, l'aspect écotoxicologique n'a jusqu'ici pas été abordé. En revanche, ailleurs dans le monde les polluants et plus particulièrement les métaux traces dans les organismes marins ont fait l'objet de plusieurs études et programmes de biosurveillance dans les milieux marins.

Dans certains environnements et à des conditions particulières, les métaux peuvent à des concentrations toxiques, causer des dommages écologiques importants (Jefferies et Freestone, 1984 ; Güven et al., 1999). Par ailleurs, le Mercure (Hg), le Plomb (Pb) et le Cadmium (Cd) sont des métaux non biodégradables et toxiques même à de faibles concentrations ; même le Zinc (Zn) est un élément essentiel qui joue un rôle

important dans l'écosystème mais peut être toxique à des doses élevées.

La présente étude a pour but de déterminer les concentrations et l'organotropisme de quatre métaux traces (Cd, Pb, Hg et Zn) que nous avons dosés dans le zooplancton et dans les trois organes (muscle, foie et branchies) de la sardinelle (*Sardinella aurita*) pêchés dans le golfe de Tunis.

PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

Le golfe de Tunis (Fig.1) est situé au nord-est de la Tunisie entre 36° 44' et 37° de latitude nord et 10° 15' et 11° 05' de longitude est, s'étend sur une surface totale d'environ 2000 Km². Il fait partie du sud de la Mer Tyrrhénienne et du bassin siculo tunisien. Sa limite géographique nord est représentée par la ligne joignant Cap Farina (Sidi Ali Elmeki), le nord de Zembra et le Cap Bon (Cap Regbi). Du côté nord-est du golfe se trouvent les deux îles Zembra et Zembretta qui constituent des aires marines protégées. Ce golfe est un bassin semi fermé alimenté par trois principaux oueds ; oued Medjerda, oued Méliane et oued El Bey. Le littoral du golfe est caractérisé par une forte activité industrielle et urbaine engendrant une source de pollution importante et fréquente faisant de lui un réceptacle de divers polluants (Rais, 1999).

Les lagunes (Ghar El Melh) et les lacs (lac Sud et lac Nord de Tunis) constituent également des sources de pollution car ils alimentent la mer en eau eutrophisée à cause des charges organiques qu'elles contiennent.

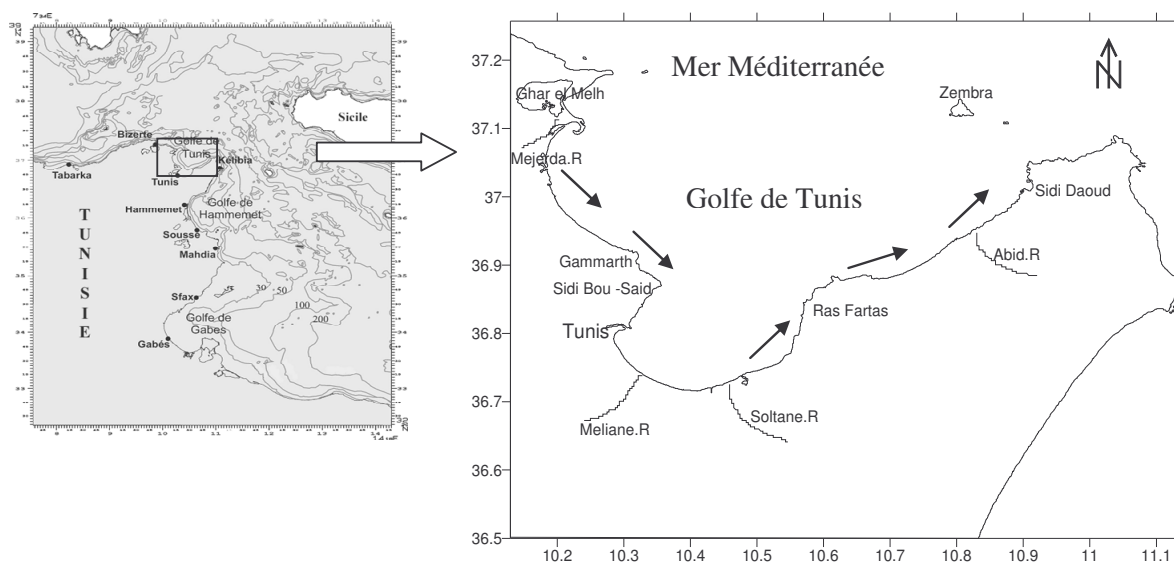


Figure 1. Localisation du site d'étude des stations d'échantillonnage
 Trait d'échantillonnage du zooplancton

Sur le plan physico-chimique et d'après Zarrad (2007), les eaux de surface du golfe de Tunis sont relativement chaudes en été (25,5° C) et en automne (21,8° C) et relativement froides en hiver (13,4° C) et au printemps (16,1° C). La moyenne de la salinité des eaux de surface est de l'ordre de 37,3 PSU en été, 37 PSU en automne et au printemps et 36,2 PSU en hiver.

Pour l'oxygène, les plus faibles concentrations ont été enregistrées pendant l'été (en moyenne 6,5 mg/l), par contre les fortes concentrations en oxygène ont été enregistrées en hiver (8,3 mg/l) et au printemps (8,0 mg/l).

La valeur minimale enregistrée du pH est de 8,123 (en hiver) alors que la maximale est de 8,265 (en automne).

Concernant la qualité chimique du milieu considéré, l'étude de Rais (1999) a montré une contamination localisée des sédiments superficiels par le Cd et le Pb.

MATERIEL ET METHODES

La collecte des échantillons du zooplancton a été réalisée à l'aide d'un filet à plancton « Bango » à bord du navire de recherche « N/O Hannibal » de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer. Les échantillons de *Sardinella aurita* ont été prélevés à partir des sardiniers au moyen d'une senne tournante, ceci pour les saisons, hivernale et estivale de l'année 2006. Tous les échantillons collectés ont été stockés à -20°C.

Au laboratoire, les poissons (n=60) ont été disséqués afin de prélever le foie, les branchies et le muscle dorsal de chaque individu. L'identification du zooplancton a été réalisée à la loupe binoculaire pour déterminer l'espèce

la plus abondante. Après homogénéisation, tous les échantillons biologiques ont été lyophilisés afin d'éliminer l'eau et arrêter toute transformation chimique. Les lyophilisats ont été broyés et minéralisés par ajout de 5 ml d'acide nitrique et par micro-onde (ETHOS, T).

Le dosage du Cd et du Pb a été effectué par Spectrophotomètre d'Absorption Atomique Electrothermique (SAAE) en utilisant un four à graphite et un correcteur de fond continu à effet Zeeman (Varian 220Z). Pour le Hg le dosage a été réalisé par SAA à vapeur froide (VGA 76). Enfin le Zn a été analysé par SAA à flamme.

Pour chaque série d'échantillons un blanc de digestion et un échantillon de référence (IAEA, 407) de concentration connue ont été analysés et ceci pour assurer le contrôle qualité des résultats.

L'analyse statistique a fait appel aux tests t de Student et ANOVA et à l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

RESULTATS

Les concentrations des métaux dans le zooplancton et dans les différents organes de la sardinelle prélevée durant l'hiver et l'été 2006 dans le golfe de Tunis sont présentées dans le tableau I.

D'après nos résultats, le test t de student ne montre pas de variation saisonnière significative (p<0,05) des concentrations des quatre métaux considérés pour le zooplancton et la sardinelle, ce qui nous a amené à ne considérer par la suite que la moyenne des concentrations trouvées dans les échantillons.

Tableau I : Concentrations des métaux traces chez la Sardinelle et le Zooplancton en µg/g exprimées en poids frais.

	Cd	Pb	Hg	Zn
<i>Sardinella aurita</i> (été)				
Branchie	0,020 ± 0,005	0,7 ± 0,05	0,37± 0,09	55,9 ± 0,9
Foie	0,090 ± 0,009	0,19 ± 0,08	0,20 ± 0,05	24,2 ± 0,3
muscle	0,017 ± 0,003	0,15 ± 0,05	0,1 ± 0,05	10,96 ± 0,8
<i>Sardinella aurita</i> (hiver)				
Branchie	0,020 ± 0,007	0,72 ± 0,07	0,35± 0,06	52,0 ± 0,6
Foie	0,10 ± 0,01	0,14 ± 0,07	0,13 ± 0,06	26,0 ± 0,8
muscle	0,018 ± 0,005	0,1 ± 0,08	0,09 ± 0,007	12 ± 0,65
Zooplancton (été)	0,010 ± 0,006	0,10 ± 0,06	0,020 ± 0,006	4,9 ± 0,5
Zooplancton (hiver)	0,010 ± 0,004	0,12 ± 0,04	0,026 ± 0,008	5,0 ± 0,1

En comparant les concentrations métalliques dans tous les organes confondus de la sardinelle avec celles trouvées, dans le zooplancton, on remarque que celles-ci sont nettement supérieures, pour les quatre éléments chez la sardinelle (Fig. 2). L'ANOVA montre une différence significative entre les concentrations moyennes des métaux dosés (Cd, Pb, Hg et Zn) aussi bien dans le zooplancton que dans les différents organes étudiés de la sardinelle.

D'autre part, l'Analyse en Composantes Principales (ACP) montre que les deux composantes principales représentent 98 % de la variance totale (figure 3). Ainsi le premier axe qui absorbe 72,31 % de la variance totale est bien défini négativement pour le Pb, Hg et Zn. La deuxième composante principale, représentant 25,59 % de la variance, est corrélée positivement et étroitement à l'élément cadmium.

D'après cette analyse, le foie chez la sardinelle, renferme la concentration la plus élevée en Cd et les branchies sont les plus riches en Hg, Pb et Zn.

Enfin, le muscle de la sardinelle et le zooplancton ont une grande similarité car ils présentent les concentrations métalliques les plus faibles et du même ordre de grandeur (Fig. 3).

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les teneurs en métaux traces dans le muscle, le foie et les branchies de la sardinelle ont montré un grand organotropisme. En effet celles en Pb, Hg et Zn ont été selon l'ordre décroissant suivant: branchies>foie>muscle. Par contre, la concentration en Cd dans les organes de la sardinelle se présente comme suit: foie>branchies>muscle. Le fait que Cd soit plus concentré au niveau du foie chez ce poisson a été trouvé par Hamza-Chaffai et al. (1996) chez plusieurs espèces de poissons pêchés dans le golfe de Gabès au niveau de Sfax.

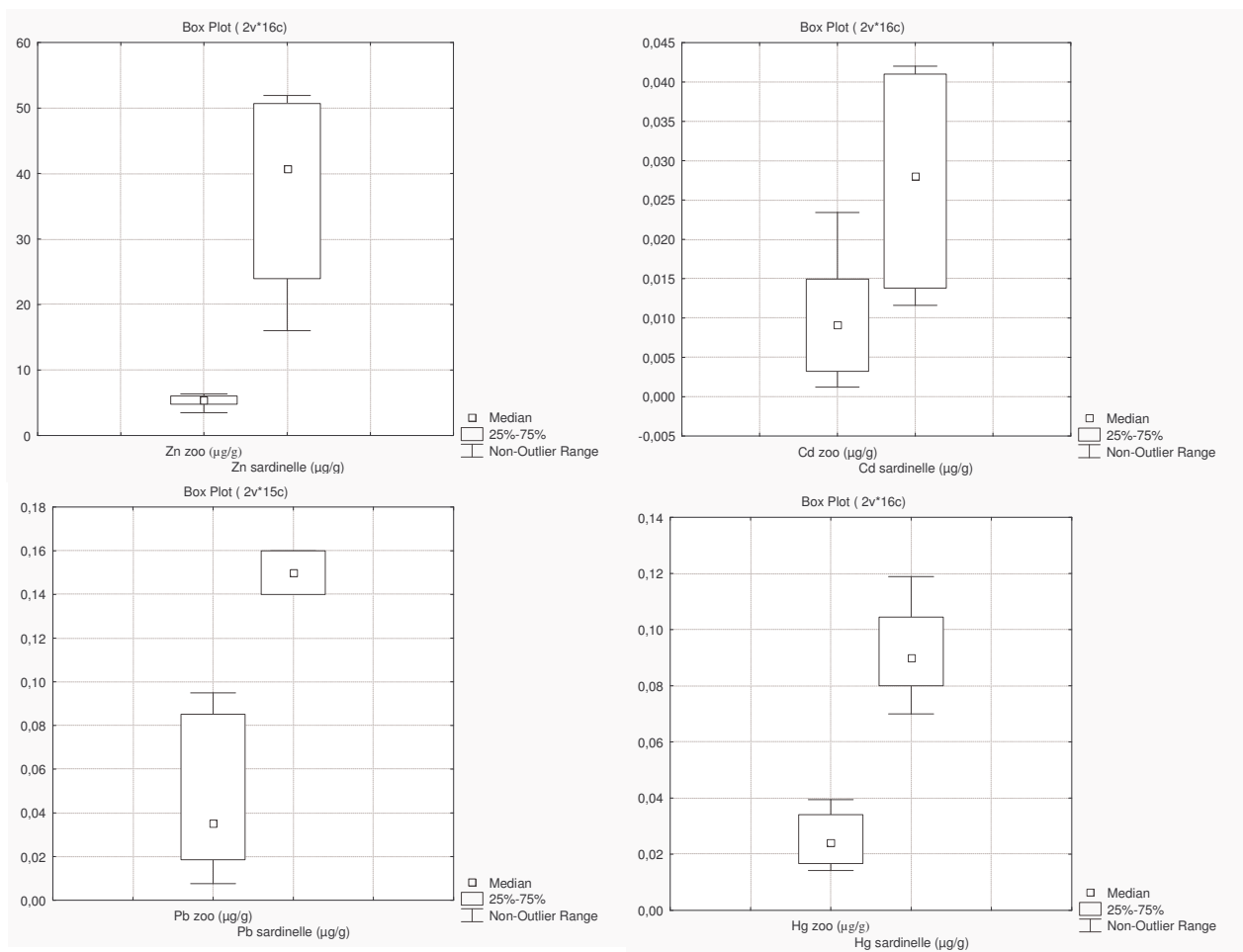


Figure 2. Comparaison des concentrations métalliques trouvées dans le Zooplancton et la Sardine du golfe de Tunis

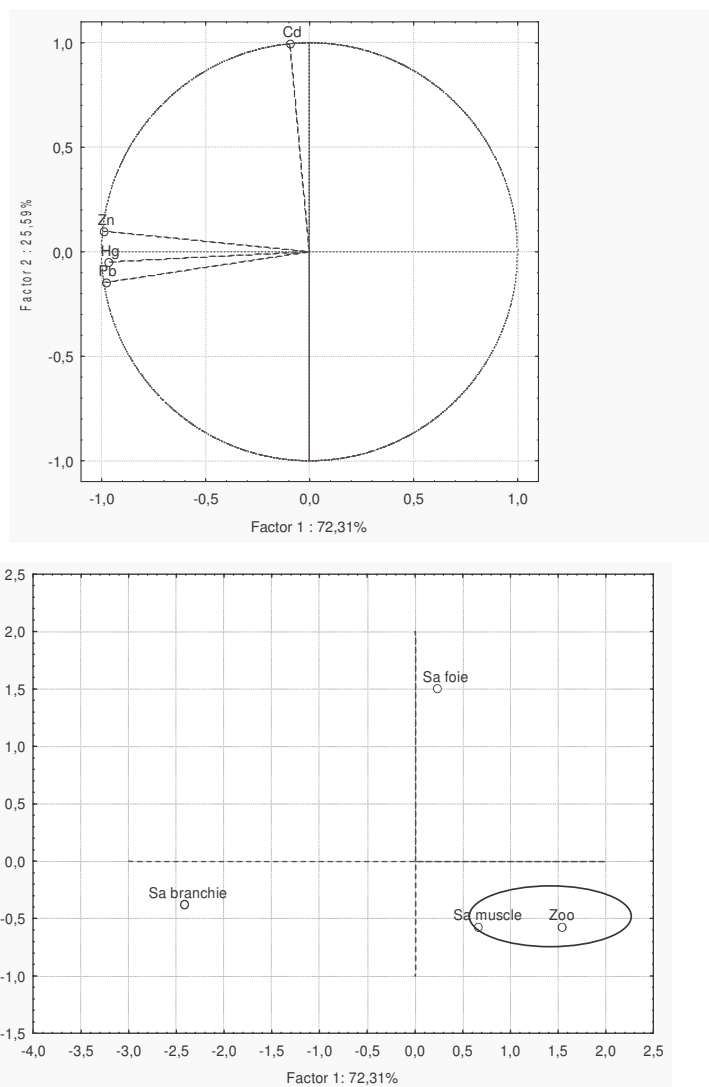


Figure 3. Analyse en Composantes Principales des teneurs métalliques dans le zooplancton et la Sardinelle dans le golfe de Tunis

Plusieurs études ont montré que les métaux traces s'accumulent principalement dans les organes avec un grand métabolisme comme le cas du foie (Canli et Atli, 2003; Karadede et al., 2004), un organe de détoxification par la production de métallothioneines (Capene et Vag ak., 1989; Hogstand et Haux, 1990; Evoglu et al., 2005; Linde et al., 2005; Atli et Canli, 2008). Il s'agit de protéines spécialisées dans la chélation des métaux, qui ont un rôle à jouer dans l'homéostasie des ions métalliques divalents.

Par contre pour les branchies, leur contact direct avec l'eau de mer, favorise l'adsorption des métaux au niveau de cet organe (Canli et Furness, 1993). Dans le cas de la sardinelle qui filtre l'eau pour se nourrir, celle-ci a tendance à accumuler les métaux présents dans l'eau de mer au niveau de ses branchies.

D'après les travaux de Brook et Rumsey (1974), le foie est un site important pour l'accumulation du cadmium et du cuivre et à moindre degré du zinc. Cependant, le zinc est essentiellement stocké dans les gonades et les branchies. Quand au plomb, il a tendance à s'accumuler dans certains organes tels que les branchies, le squelette et la queue.

En comparant les teneurs métalliques trouvées dans les organes de la sardinelle du golfe de Tunis avec celles trouvées chez la même espèce ou chez d'autres pêchées dans différentes régions de la Méditerranée, on remarque qu'elles sont en général plus faibles, ce qui tendrait à montrer une moindre contamination (Tableau II).

La même constatation s'applique pour le zooplancton. En effet, le zooplancton originaire du golfe de Tunis renferme des concentrations relativement faibles par rapport à celui collecté dans d'autres régions (Tableau III).

Tableau II. Comparaison des moyennes métalliques relevées chez diverses espèces de poissons pêchés en Méditerranée ($\mu\text{g/g}$ du poids sec)

Organes	Cd	Pb	Hg	Zn	Espèce, région et auteurs
muscle foie branchies	0,55 2,99 1,56	5,57 39,49 8,99	-	34,58 73,22 101,85	<i>Sardinella pilchardus</i> (Méditerranée, Mer Adriatique) (Canli et Atli, 2003)
muscle foie			0,36 0,93		<i>Sardina pilchardus</i> (côtes tunisiennes) (Joiris <i>et al.</i> .,1999)
muscle	1,2	4,7	-	42,0	<i>Sardinella aurita</i> (côtes égyptiennes) (Ahmed Mohamed Abdallah, in press)
muscle foie	-	-	0,25 0,50		<i>Sardinella aurita</i> (côtes tunisiennes) (Joiris <i>et al.</i> .,1999)
muscle foie branchies	0,02 0,14 0,03	0,2 0,26 0,98	0,13 0,27 0,52	14,66 34,72 77,46	<i>Sardinella aurita</i> (golfe de Tunis) (présente étude)

Tableau III. Concentrations moyennes des métaux dans le zooplancton de certaines régions en $\mu\text{g/g}$ du poids sec

- pas de valeurs

Région	Cd	Pb	Hg	Zn
Mer Baltique (Pempkowiak <i>et al.</i> , 2006)	0,68	13,3	-	-
Mer de Barents (Océan Arctique) (Zauke et Schmalenbach., 2006)	3,52	-	-	255,5
Baie du Kuwait (Al-Majed et Preston., 2000)	-	-	0,011	-
Golfe de Tunis (Présente étude)	0,13	0,61	0,33	77

Par ailleurs, les concentrations des quatre métaux considérés dans les différents organes de la sardinelle sont plus élevées que celles trouvées dans le zooplancton (8 fois pour le Zn et 5 fois pour le Cd, Hg et Pb). Ceci est sans doute dû à la position plus élevée qu'occupe la sardinelle dans la chaîne trophique. Cette espèce planctophage accumule les métaux suivant leur biodisponibilité dans son environnement. Cependant, plusieurs facteurs, abiotiques (concentration des rejets polluants et paramètres physicochimiques du milieu) et biotiques (espèce, sexe, âge, alimentation et métabolisme) peuvent affecter l'accumulation des métaux dans les poissons (Storelli *et al.*, 2005).

Malgré les rejets importants de différents métaux dans le golfe de Tunis, les deux organismes marins étudiés dans ce travail présentent des teneurs en micropolluants relativement faibles. D'après plusieurs travaux (Caccia *et al.*, 2003), le réservoir majeur des polluants dans le milieu marin est en fait le sédiment. De plus les métaux ont tendance à s'accumuler davantage dans les espèces benthiques, du fait de leur faible mobilité et de leur nourriture essentiellement basée sur les organismes benthiques tributaires du sédiment. Ainsi, le présent travail a fourni de nouvelles informations concernant la bioaccumulation des métaux

traces dans deux maillons de la chaîne trophique du golfe de Tunis (la sardinelle et le zooplancton).

BIBLIOGRAPHIE

- Ahmed Mohamed Abdallah, M., Trace element levels in some commercially valuable fish species from coastal waters of Mediterranean sea, *Egypt. Journal Marine systems* (in press).
- Al Majed, N-B & Preston, M-R., 2000. An Assessment of the Total and Methyl Mercury Content of Zooplankton and Fish Tissue Collected from Kuwait Territorial Waters. *Marine Pollution Bulletin* 40, 298-307.
- Atli, G & Canli, M., 2008. Responses of metallothionein and reduced glutathione in a freshwater fish *Oreochromis niloticus* following metal exposures. *Environmental Toxicology and Pharmacologie* 25, 33-38.
- Azouz, A., 1974. Les fonds chalutables de la région nord de la Tunisie. Les potentialités de pêche, écologie et répartition bathymétrique des poissons. *Bull. Inst. Océanogr. Pêche. Salammbô*, 3(1-4): 29-94.
- Ben Abdallah, L & Gaamour, A., 2005. Répartition géographique et estimation de la biomasse des petits pélagiques des côtes tunisiennes. *Med Sud Med Technical Documents* N°5, 28-38.
- Brook, RR & Rumsey, D. 1974. Heavy metals in some New Zealand sea fishes. *N.Z.J. Ma rand Fresh Res.* 8 (1): 155-166.
- Caccia, V.G., Millero, F. J. & Palanques, A. 2003. The distribution of trace metals in Florida Bay sediments. *Marine Pollution Bulletin* 46, 1420-1433.
- Canli, M., Furness, R.W., 1993. Toxicity of heavy metals dissolved in sea water and influences of sex and size on metal accumulation and tissue distribution in the Norway lobster *Nephrops norvegicus*. *Mar. Enviro. Res.* 217-236.
- Canli, M & Atli, G., 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental Pollution* 121, 129-136.
- Capene, E & Vag ak, M., 1989. Hepatic metallothionein from goldfish (*Carassius auratus* L.) Comparative biochemistry and physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology 92(3),463-468.
- Daly Yahia, M.N., 1998. Dynamique saisonnière du zooplancton de la baie de Tunis (Systématique, écologie numérique et biogéographie Méditerranéenne). Thèse de Doctorat de Biologie Animale. Université de Tunis II: 242p+annexes.
- Evoglu, K., Atli, G., Canli, M., 2005. Effects of metal (Cd, Cu, Zn) interactions on the profiles of metallothionein-like proteins in the Nile fish *Oreochromis niloticus* *Bull. Environ. Contam. Toxicol* 75, 309-399.
- Fréon, P & Mendoza, J. 2005. The sardine (*Sardinella aurita*). Its environment and exploitation in Eastern Venezuela. *Fisheries Research* 73, 265-267.
- Gaamour A., 1999. La sardinelle ronde (*Sardinella aurita* Valenciennes, 19874) dans les eaux tunisiennes: Reproduction, Croissance et pêche dans la région du Cap Bon. Thèse de Doctorat de l'université de Bretagne Occidentale. 246 p.
- Güven, K., Özbay, C., Ünlü, E., & Satar, A. 1999. Acute lethal toxicity and accumulation of copper in *Gammarus pulex* (L.) (Amphipoda). *Turkish Journal of Biology*, 23, 510-521.
- Hamza-Chaffai, A., Romeo, M., El Abed, A., 1996. Heavy metals in different fishes from the middle eastern coast of Tunisia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol* 56, 766-773.
- Hogstand, C & Haux, C., 1990. Metallothionein as an indicator of heavy metal exposure in two subtropical fish species. *J. Exp. Mar. Ecol.* 138, 69-84.
- Jefferies, D. J., & Freestone, P. 1984. Chemical analysis of some coarse fish from a Suffolk River carried out as part of the preparation for the first release of captive-bred otters. *J. Otter Trust*, 1(8), 17-22.
- Joiris, C.R., Holsbeek, L & Moatemri, N.L., 1999. Total and Methylmercury in Sardines *Sardinella aurita* and *Sardina pilchardus* from Tunisia. *Marine Pollution Bulletin* 38, 188-192.
- Karadede, H., Oymak, S.A & Unlu, E., 2004. Heavy metals in mullet, *Liza abu* and Cat fish, *Silurus triostegus*, from the Ataturk Dam Lake (Euphrates), Turkey, *Environmental International*, 30, 183-188.
- Kartas F., 1981. Les Clupéidés de Tunisie. Caractères biométriques et biologiques: Etudes comparées des populations de l'Atlantique et de la Méditerranée. Thèse de Doctorat d'Etat de l'université de Tunis. Faculté des Sciences de Tunis : 608 p.
- Linde, A. R., Klein, D., Summer, K.H., 2005. Phenomenon of hepatic overload of copper in *Mugil cephalus*: role of metallothionein and patterns of copper cellular distribution. *Basic. Clin. Pharmacol. Toxicol* 97, 230-235.
- Pempkowiak, J., Walkusz-Miotk, J., Beldowski, J & Walkusz, W. 2006. Heavy metals in zooplankton from the Southern Baltic. *Chemosphere* 62, 1697-1708.
- Rais, M., 1999. Géochimie des métaux lourds (Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ni et Cd) dans les eaux et les sédiments du littoral du golfe de Tunis. Mobilité et impact des activités anthropiques. Thèse de Doctorat en Géol. Faculté des Sciences de Tunis, 190 p.
- Storelli, M.M., Giacomini-Stuffler, R., Storelli, A., Marcotrigiano, G.O. 2005. Accumulation of mercury, cadmium, lead and arsenic in swordfish and bluefin tuna from the Mediterranean Sea: A comparative study. *Marine Pollution Bulletin* 50, 993-1018.
- Turki, S., 2002. Contribution à l'étude bioécologique des Rotifères, Copépodes des eaux continentales

- tunisiennes et dynamique saisonnière du zooplancton de la retenue de barrage Bir M'cherga. Thèse de doctorat en Sciences biologiques. Faculté des Sciences de Tunis, 225 p.
- Zarrad R., 2007. Distribution spatio-temporelle des œufs et des larves de l'anchois *Engraulis encrasicolus*, de la sardinelle *Sardinella aurita* et la sardine *Sardina pilchardus* dans le golfe de Tunis et relations avec les paramètres environnementaux. Thèse de Doctorat en Sciences Halieutiques de l'université 7 Novembre: 253p.
- Zauke, G-P & Schmalenbach, I., 2006. Heavy metals in Zooplankton and decapod crustaceans from the Barents Sea. *Science of the Total Environment* 359, 283-294.