

ETUDE SAISONNIERE DE LA CONTAMINATION METALLIQUE DES MACROALGUES DE LA LAGUNE NORD DE TUNIS

Lassaad CHOUBA¹., L. AJJABI CHEBIL¹ et S. HERRY².

1. Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, Salammbô.

2. Institut Supérieur des Sciences et Technologies de l'Environnement Borj Sedria

lassaad.chouba@instm.mrt.tn

ملخص

دراسة موسمية للمعادن الثقيلة في طحالب بحيرة تونس : تهدف دراسة الطحالب الخضراء *Ulva rigida*, *Chaetomorpha* (*linum*, *Caulerpa prolifera*) لبحيرة تونس إلى تقديم قدرتها لامتصاص المعادن الثقيلة. وفي هذا الغرض قمنا بأخذ العينات بصفة موسمية خلال الفترة من أبريل 2009 إلى غاية فيفري 2010 على مستوى نقطة فتحة بحيرة تونس مع القتال. أجريت التحاليل الكيميائية للكاديوم، والرصاص، والزنك، والمونقاز والحديد في مختلف الطحالب، وهذا باستعمال آلة الامتصاص الذري. وقد أثبتت النتائج المتحصل عليها ان الحد الأدنى من التركيز للمعادن في الطحالب المدروسة حقق في فصل الصيف والحد الأقصى في الشتاء ماعدا معدن الحديد.

كما ثبت لدينا أن كميات المعادن المتحصل عليها في أنواع الطحالب المدروسة متفاوتة لكنها أكثر أهمية بالنسبة لطحلب *Caulerpa prolifera* ومن المرجح أن يكون هذا الاختلاف مرطبت بدورات الحيوية لهذه الطحالب. وقد تعتبر الطحالب مؤشر على النوعية الكيميائية لبيئة البحيرة.

كلمات مفتاحية : طحالب، المعادن الثقيلة، بحيرة تونس

RESUME

Dans le but de démontrer la capacité de bioaccumulation métallique des macroalgues et sa variation temporelle, on s'est intéressé à la détermination de la gamme de concentrations en métaux traces (Plomb, Cadmium, Fer, Manganèse et Zinc) dans trois macroalgues vertes (*Ulva rigida*, *Chaetomorpha linum*, *Caulerpa prolifera*) au niveau de la lagune nord et du canal de navigation de Tunis sujettes à d'importants rejets anthropiques. Des collectes saisonnières ont été faites dans la lagune de Tunis durant la période d'avril 2009 au février 2010. Les teneurs métalliques déterminées par spectrophotométrie d'absorption atomique ont montré des variations significatives selon l'espèce et la saison de prélèvement. Les résultats ont montré que les teneurs en différents métaux mesurés ont diminué en été et ont augmenté en hiver à l'exception du Fe. La *Caulerpa prolifera* a montré un pouvoir accumulateur des métaux étudiés significativement important que les deux autres espèces. Les informations recueillies montrent que les macroalgues pourraient nous informer sur la qualité chimique de la lagune nord de Tunis.

Mots clés : Macroalgues, métaux traces, lagune Nord de Tunis

ABSTRACT

Study on seasonal variation of trace metals content in seaweeds of Tunis lagoon: In order to determine the capacity of metallic bioaccumulation for seaweeds and its temporal variation, we were interested in the determination of concentration range of traces metals (Lead, Cadmium, Iron, Manganese and Zinc) for three green macroalgae (*Ulva rigida*, *Chaetomorpha linum* and *Caulerpa prolifera*) collected in the communication area between north lagoon and navigation channel of Tunis seasonally during the period from April 2009 to February 2010. Chemical analysis in seaweeds was determined by Atomic Absorption Spectrometry (AAS). Results showed significant variations according to species and season. For all algal species, concentrations of metals (except for iron) decreased in summer and increased in winter. *Caulerpa prolifera* showed the highest capacity to accumulate metals than other algal species studied. Thus macroalgues should inform on chemical quality in the lagoon of Tunis.

Key-words: Seaweeds, traces metals, Tunis lagoon

INTRODUCTION

Les lagunes tunisiennes sont pour la plupart le siège de rejets de natures diverses par le biais d'eaux usées urbaines et pluviales. L'état de la contamination s'est aggravé au cours de temps avec l'intensification d'urbanisation des villes côtières induisant un déséquilibre biologique de ces milieux, avec l'impact chimique sur la faune et la flore des milieux lagunaires (Afli *et al.* 2008).

La lagune Nord de Tunis communément appelée « El Bouharia », est située entre les parallèles 36°45' et 36°60' N et les méridiens 10°10' et 10°30' E avec une superficie est 2500 ha (Ben Maiz, 1993). Cette lagune subit une dégradation progressive de plus en plus importante par les biais des différents types de rejets (urbains, industriels, eaux de ruissellement,...) (Zaouali, 1983; Ben Hamadou, 1998; Shili, 1995). Aussi, par sa position suburbaine et sa forme en cuvette, la lagune a constitué un exutoire naturel de la ville de Tunis et de sa proche banlieue (rejet estimé à

50 000 à 60 000 m³ par jour (ANPE, 2007). Elle reçoit ainsi la quasi-totalité des eaux usées de grand Tunis ainsi que la totalité des eaux pluviales (Belkhir & Hadj Ali Salem, 1981; 1982).

Ces sources de pollution ont conduit à l'eutrophisation du système se traduisant par le développement excessif de la macroalgue verte nitrophile *Ulva rigida*, ainsi que des crises d'anoxie estivales (eaux colorées causant la mortalité de poissons et la diminution de la diversité biologique) (Baeten & Zaouali, 1986; Oostinga & Van Berk, 1992; Ben Maiz, 1993; Trabelsi, 1995).

Les travaux de restauration et d'assainissement ultérieurs de la lagune au cours des années 1980 consistaient à stopper définitivement l'entrée des rejets urbains et leur canalisation vers la station d'épuration de Choutrana pour traitement (Ben Maiz, 1993). Cet assainissement avait un impact au niveau de l'amélioration de la qualité des eaux et la transformation « spectaculaire » des peuplements phytobenthiques de la lagune (Ben Charrada, 1995), régression considérable des Ulves, prolifération d'algues filamenteuses *Chaetomorpha* et la réapparition des phanérogames (*Ruppia cirrhosa*, *Nanozostera noltii* et *Cymodocea nodosa*) indiquant une amélioration de l'écosystème (Ben Hamadou, 1998 ; Ben Maiz et Shili, 2006).

Afin d'évaluer la contamination métallique d'un milieu donné, plusieurs matrices marines sont utilisées pour nous renseigner sur la qualité chimique d'un écosystème donné. Ainsi l'utilisation des certains mollusques bivalves comme la moule *Mytilus galloprovincialis* pour modéliser la bioaccumulation des métaux traces en milieu méditerranéen français, la palourde *Ruditapes decussatus* pour les côtes tunisiennes (Cossa, 2005 ; Chouba, 2009). De part leur disponibilité et leur facilité de collecte, les algues comptent parmi les bioaccumulateurs des xenobiotiques (Cardwell *et al.* 2002 ; Stengel *et al.* 2004). Parmi ces algues, *Ulva lactuca* a été utilisée

pour le suivi de la contamination au niveau du littoral Français par Kaimoussi *et al.*, (2004).

En vue d'évaluer, l'accumulation métallique chez les macroalgues, nous avons étudié la variation chimique saisonnière de trois micronutriments (Zn, Mn, Fe) et deux métaux traces non essentiels (Pb, Cd) pour trois algues vertes *Ulva rigida*, *Chaetomorpha linum* et *Caulerpa prolifera* dans une zone chargée en matière organique et inorganique de la lagune nord de Tunis.

MATERIEL ET METHODES

Les espèces de macroalgues ont été prélevées au niveau d'une station choisie dans la lagune nord de Tunis (Latitude : 36°48'10.44"N, Longitude : 10°13'17.53"E). Le choix de la station s'est basé sur la disponibilité des trois espèces durant la durée de l'étude ainsi que l'échange régulier entre le canal de navigation où les rejets d'effluents anthropiques sont importants (Figure 1) et la lagune de Tunis.

Tous les prélèvements d'algues (*Ulva rigida*, *Chaetomorpha linum* et *Caulerpa prolifera*) sont effectués par saison, durant la période de février 2009 à février 2010. La collecte a été réalisée manuellement à l'aide d'une petite époussette. Les algues recueillies ont été placées dans des sacs en plastique incolore qu'on place dans des glacières.

Au laboratoire, les algues récoltées sont immédiatement débarrassées des épiphytes et débris adhérent à leurs thalles. Elles sont rincées à l'eau distillée et séchées à 60°C pendant 48 h dans une étuve universelle (marque Binder). Les algues séchées sont ensuite broyées par un mortier en agate pour obtenir une poudre fine qui est conservée à l'abri de la lumière et sera utilisée ultérieurement pour les analyses de métaux traces.

Les échantillons obtenus sont minéralisés par micro-onde (ETHOS, T) en vue de détruire la matière organique par ajout d'acides forts (acide nitrique, acide sulfurique, etc..) et libération de métaux sous forme ionique identifiable par absorption atomique.

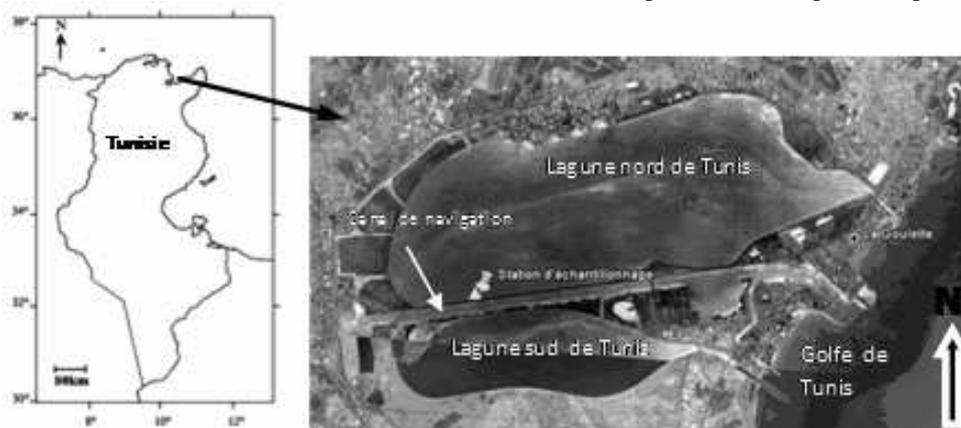


Figure 1 : Station de prélèvement des échantillons dans la lagune nord de Tunis ▲

Le dosage du Cd et du Pb a été effectué par spectrophotomètre d'absorption atomique électrothermique (SAAE) en utilisant un four à graphite et un correcteur de fond continu à effet Zeeman (Varian 220Z). Pour le Zn, le Mn et le Fe l'analyse a été réalisée par SAA à flamme.

Pour l'assurance et contrôle qualité des résultats, un blanc ainsi qu'un échantillon de matériau de référence d'algue (IAEA, 140) ont été utilisés avec chaque série d'analyses. L'erreur sur les résultats ne dépasse pas 5% de la valeur de référence.

Les résultats sont exprimés par rapport à la matière sèche (MS). Des analyses statistiques poussées sur les tests t de Student et l'ANOVA ont été effectuées.

RESULTATS

La variation saisonnière en concentrations des métaux (Pb, Zn, Fe et Mn) chez les trois espèces d'algues (*Caulerpa prolifera*, *Chaetomorpha linum*, *Ulva rigida*) est résumée sur les figures 2,3 et 4. Les teneurs trouvées chez la caulerpe sont largement supérieures à celles enregistrées chez les deux autres espèces.

Les variations en concentrations du Mn et du Zn chez *C. prolifera*, sont similaires (Figure 2, A-B-C). Ces concentrations ont atteint respectivement des valeurs de 433 µg/g MS en printemps et de 332 µg/g en MS en hiver et ont chuté pendant l'été notamment pour le Zn (de 67 µg/g MS). La baisse estivale pour le Mn se poursuit jusqu'en automne où elle marque sa plus faible concentration (87 µg/g MS). Pour le plomb, la

variation intersaison n'est pas remarquable : une concentration maximale (50 µg/g MS) et minimale (6 µg/g MS) respectivement en hiver et en automne (Figure 2-A). Pour le Cd la teneur maximale est révélée au printemps et non variable durant le reste de l'année (Figure 2-C).

Les concentrations en fer sont élevées au printemps et en été avec un maximum estival de 2646 µg/g MS. Cette augmentation chute en automne à la plus faible concentration (319 µg/g MS) (Figure 2-B).

Chez *Chaetomorpha linum*, la teneur en Zn a atteint les valeurs les plus élevées en hiver et en automne avec un maximum automnal de 55 µg/g MS est restée constante pendant le printemps et l'été avec un minimum de 37 µg/g MS. La teneur en Mn est révélée constante pendant les trois saisons (printemps, été, hiver) avec un maximum de 47 µg/g MS en été. Un minimum de 11 µg/g MS est atteint en automne après une diminution remarquable. Pour le Pb une teneur de 14,3 µg/g MS est notée en période printanière et continue à augmenter en été pour atteindre un maximum de 14,9 µg/g MS. Suite à une diminution brusque pendant l'automne est notée avec un minima de 2,3 µg/g MS est enregistré (Figure 3-A).

Pour le fer des teneurs élevées ont été enregistrés au printemps et en été avec un maximum estival de 758 µg/g MS et un minimum en hiver de 296 µg/g MS (Figure 3-B).

Pour le Cd une teneur plus importante au printemps (0,24 µg/g MS) est notée (Figure 3-C)

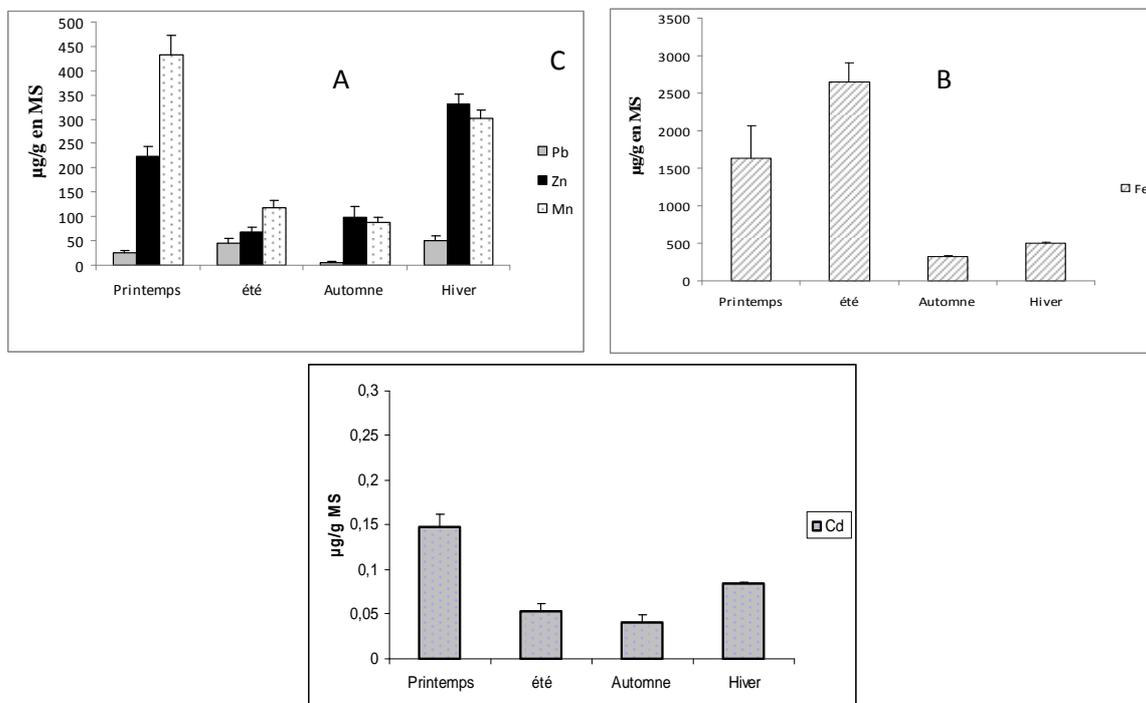


Figure 2 (A; B; C) : Variation saisonnière en concentrations (en µg/ matière sèche (MS)) des métaux traces (Pb, Zn, Mn, Fe et Cd) dans la macro-algue *Caulerpa prolifera* collectée de la lagune nord de Tunis

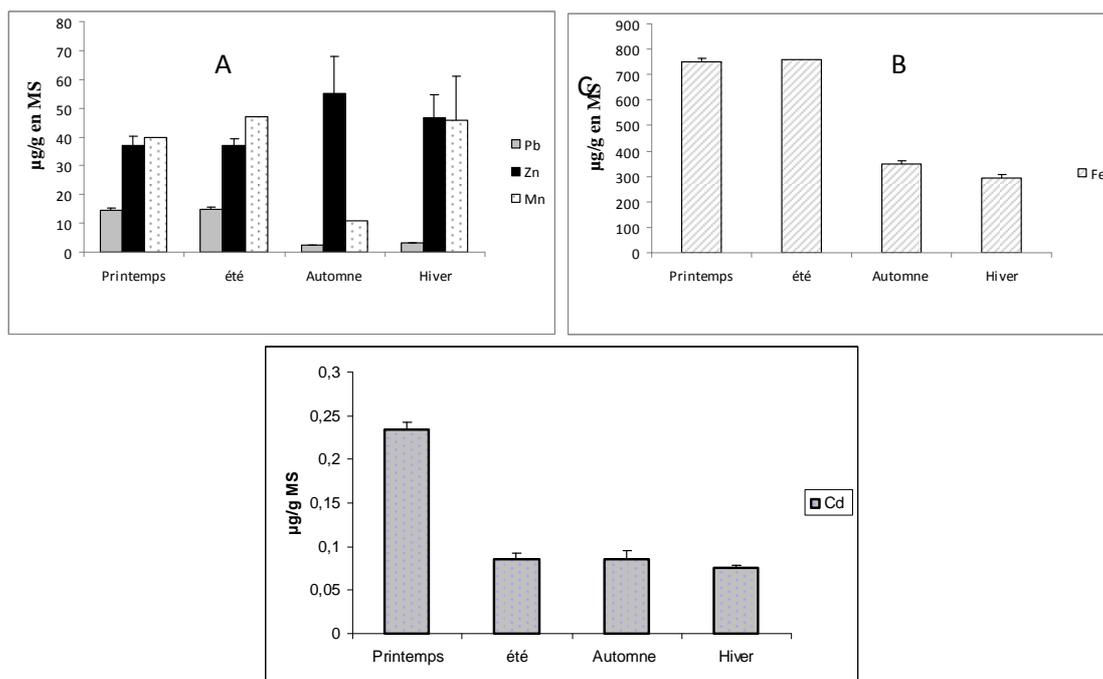


Figure 3 (A ; B ; C) : variation saisonnière en concentrations en métaux traces (Pb, Zn, Mn, Fe et Cd) dans la macro-algue *Chaetomorpha linum* de la lagune nord de Tunis

Pour *U. rigida* (Figure 4), la concentration en Zn a atteint un maximum (85 µg/g MS) pendant l'automne et un minimum (32 µg/g MS) pendant le printemps alors que, la concentration en Mn a atteint son maximum (26 µg/g MS) pendant l'été et un minimum pendant le printemps (11 µg/g MS) alors qu'elle est non détectée (ND) pendant l'hiver. La teneur en Pb est faible pendant toutes les saisons, elle est de l'ordre de 2 µg/g MS (Figure 4-A).

Pour le fer une régression progressive du printemps à l'automne est notée avec un minimum de 257 µg/g MS et un maximum en hiver (826 µg/g MS) (Figure 4-B).

Pour la teneur en cadmium, elle est stable d'une saison à l'autre, avec une augmentation notable en automne de 0,124 µg/g MS (Figure 4-C).

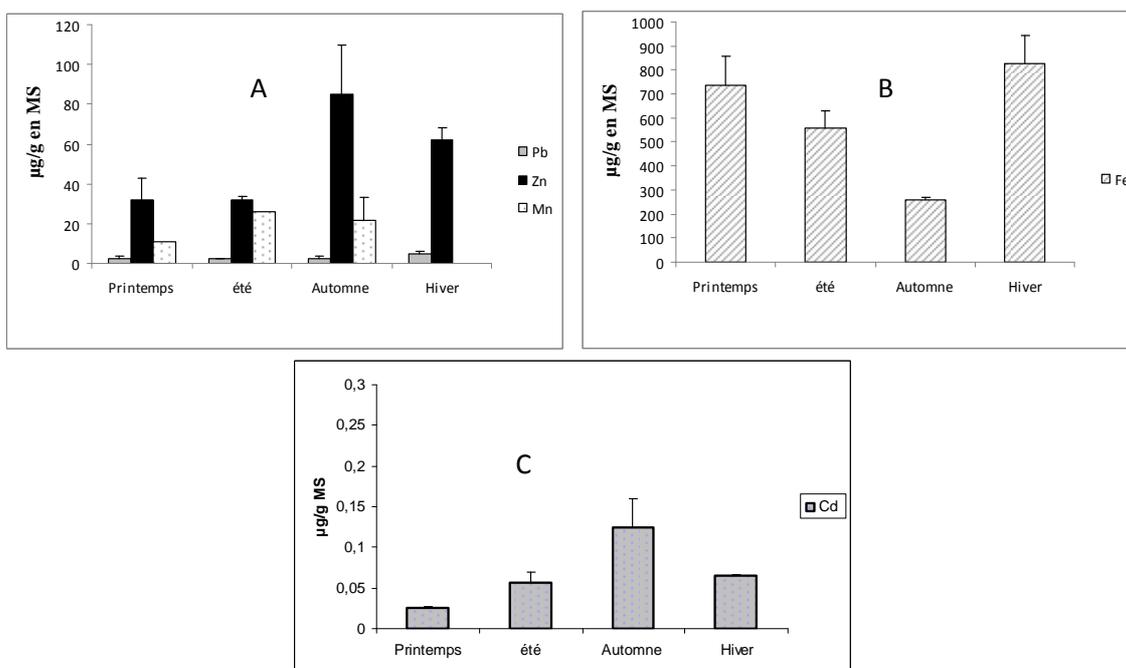


Figure 4 (A ; B ; C) : variation saisonnière en concentrations des métaux traces (Pb, Zn, Mn, Fe et Cd) dans la macro-algue *Ulva rigida* collectée de la lagune nord de Tunis

L'analyse en variations saisonnières par type de métal et selon les espèces d'algues montre que l'espèce *Caulerpa prolifera* diffère significativement ($P < 0,05$) de *C. prolifera* et d'*U. rigida*, pour tous les métaux analysés sauf que le fer ne diffère pas significativement durant les périodes hivernale et automnale.

Les moyennes annuelles en concentrations de Pb, Zn, Mn, Fe et Cd pour les trois espèces d'algues sont

illustrées par la figure 5 (A, B, C). Les histogrammes montrent que, l'espèce *C. prolifera* concentre plus les quatre éléments métalliques (Pb, Zn, Mn et Fe) avec des teneurs deux à trois fois plus élevées que ceux trouvées pour les deux autres espèces (Figure 5-A et 5-B). Néanmoins le Cd présente une concentration plus importante chez *Ch. Linum* (Figure 5-C) et diffère significativement de *C. prolifera* et *U. rigida*.

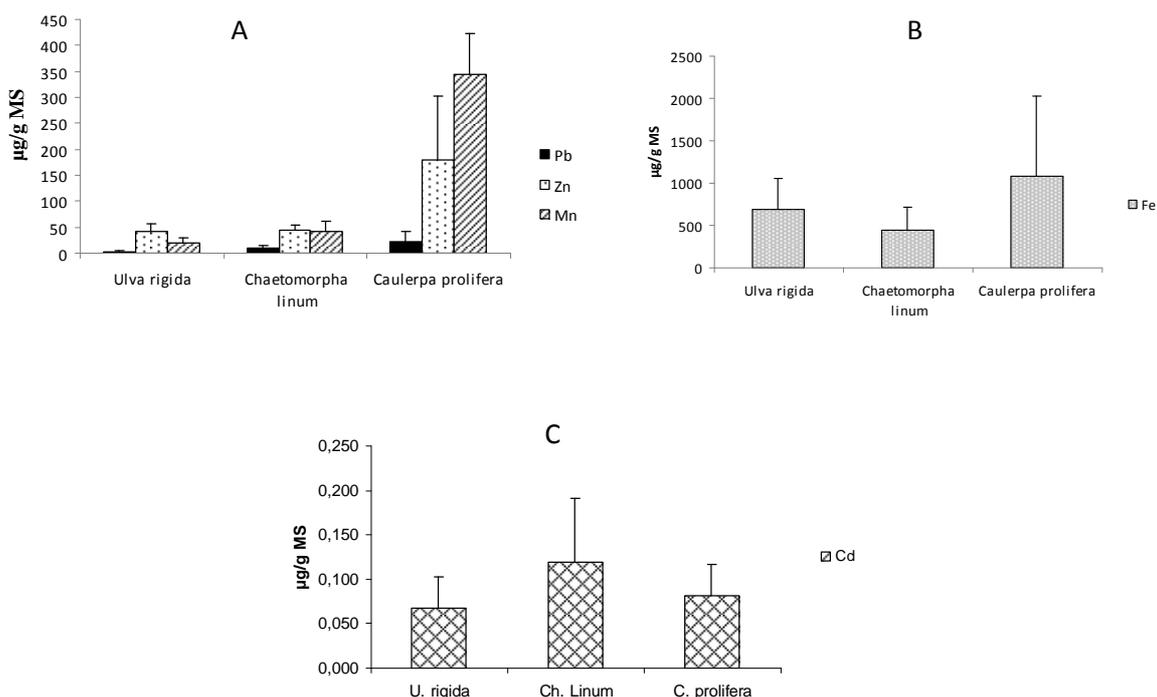


Figure 5 (A,B,C) : Les concentrations moyennes annuelles en Pb, Zn, Mn, Fe et Cd chez les trois espèces de macroalgues collectées de la lagune nord de Tunis

DISCUSSION

Plusieurs espèces d'algues (vertes, rouges et brunes) ont été étudiées pour leur bioaccumulation métallique (Brown *et al.*, 1999 ; Stengel et Dring, 2000 ; El Ati-Hellal *et al.*, 2007). Bien que le contenu de métaux dans les macroalgues soit soumis à une variation importante, une tendance à une teneur en Fe supérieure à celle de Mn a été observée au niveau de la zone de prélèvement, ces résultats sont en accord avec d'autres travaux sur les algues (HO, 1990 ; Mardsen et De Wreede, 2000 ; Kesava-Rao et Indusekhar, 1986). L'affinité de l'accumulation des métaux semble suivre l'ordre suivant (Fe > Zn > Mn > Pb > Cd) dans la lagune de Tunis. Cette affinité est en concordance avec celle trouvée dans d'autres travaux montrant que les macroalgues des régions tempérées accumulent beaucoup de Fe, Zn, Mn et Pb (Aulio,

1983 ; Rajendran *et al.*, 1993 ; Storelli *et al.*, 2001). En effet, le travail de Akcali et Kucuksezgin (2011) montre qu'à l'est de la mer Egée les macroalgues ont une préférence d'accumulation comme suit Fe > Zn > Cu > Cr > Cd > Hg > Pb.

Caulerpa prolifera de la lagune nord de Tunis montre une contamination par le Zn puisque les concentrations enregistrées dépassent la limite normale établie pour cet élément qui est de 115 µg/g MS (Riget *et al.*, 1997 et Stengel *et al.*, 2004). L'accumulation est variable selon les saisons, elle est à son maximum en hiver et au printemps, ce qui peut être expliqué par les apports importants des eaux usées durant ces deux périodes. Cette espèce accumule aussi le Mn et le Fe plus que les autres espèces étudiées.

Wong *et al.*, (1982) et Villares *et al.*, (2001) ont étudié les macroalgues dans des sites contaminés et non contaminés. Ils ont fixé un seuil normal de Zn à 29,9 µg/g Ms dans *Ch. linum*. En tenant compte aussi du fait que la teneur en Zn varie d'un groupe d'espèces à un autre et même au sein d'une même espèce (Stengel *et al.*, 2004), les concentrations de Zn déterminées dans nos échantillons (moyenne annuelle de 44 µg/g MS) dénotent une contamination des algues de la lagune nord de Tunis. Cependant, cette accumulation subit des variations saisonnières, montrant que *Ch. linum* concentre plus le Zn, le Mn et le Cd au printemps et en été. Cette variation est expliquée par la disponibilité du métal dans l'eau (Phillips, 1994), au temps de submersion de l'algue et aux paramètres hydrologiques de l'eau (Akcali et Kucuksezgin, 2011).

Pour l'Ulve l'étude de Villares *et al.* (2002) et Merceron *et al.* (2007) ont montré que l'accumulation des métaux est à son maximum en été (mai-juillet). Dans notre étude une variation saisonnière est détectée selon le métal dosé ; mais généralement le maximum d'accumulation est en automne.

Les fluctuations saisonnières des teneurs en métaux dans les différents types des macroalgues sont souvent observées durant les mois chauds à cause des hauts taux de croissance (Miramand & Bentley, 1992 ; Pohl *et al.*, 1993 ; Phaneuf *et al.*, 1999 ; Villares *et al.*, 2001). Cependant, les activités de croissance n'expliquent pas entièrement à elles seules la différence dans la variabilité saisonnière entre les métaux ; la morphologie des thalles et la relation stratégique entre la croissance et la phylogénétique de l'espèce peuvent y participer (Leal *et al.*, 1997).

La variation de la bioaccumulation des métaux est dépendante de l'âge de l'algue. En effet, Forsberg *et al.*, (1988) ont noté que les teneurs des métaux (Al, Co, Fe, Mn, Ni et Zn) dans les thalles les plus âgés dépassent celles des thalles en croissance (cas de *Fucus vesiculosus*) et aussi, que les épiphytes, qui sont essentiellement limités aux plantes âgées, sont responsables de l'augmentation de la teneur en Fe dans le thalle le plus âgé. Les travaux des Barnett et Aschcroft (1985) ont montré aussi une augmentation de la teneur de Fe, Mn, Ni, Zn et Pb dans les thalles principaux, par comparaison à ceux en développement. Donc l'âge de l'algue influe sur l'accumulation physiologique des métaux.

Eide *et al.*, (1980) ont noté aussi des différences significatives saisonnières des taux d'assimilation du zinc et du plomb par l'algue *Ascophyllum nodosum*. Cependant, cette différence est plus importante avec le zinc qu'avec le plomb et que l'assimilation de ces métaux est liée aux processus métaboliques. Ces travaux s'accordent avec la variabilité saisonnière plus prononcée du zinc, qui est également montrée par notre étude pour le *C. prolifera* et l'*U rigida*.

Les concentrations des différents métaux étudiés pour une même espèce varient aussi suivant les aires géographiques. En effet, la comparaison des données obtenues dans la lagune nord de Tunis pour l'espèce *Ulva rigida* diffèrent de celles trouvées dans d'autres régions (Tableau I), elles sont relativement faibles à l'exception des éléments Zn et Fe.

D'une manière générale, les teneurs métalliques observées chez les macroalgues vertes étudiées, dans la lagune nord de Tunis, ne paraissent pas assez élevées pour causer un risque certain de

Tableau I : Teneurs en métaux traces dans l'Ulve collecté de différentes régions du monde

Régions (µg/g)	Cd	Pb	Zn	Fe	Mn	Références	espèces
	max-mim Moy	max-mim Moy	max-mim Moy	max-mim Moy	max-mim Moy		
Golfe de Thermaikos (Grèce)	0,1-2,5 1	6,3-29,8 14,7	39-82,5 57,3	84,7-119,3 97,2		Haritonidis et Malea (1999)	<i>Ulva rigida</i>
Lagune de Vénice (Italie)	0,1-0,7 0,2	0,7-17,6 7,3	25-179 64	173-1630 1033		Caliceti et al. (2002)	<i>Ulva</i> sp
Golfe San Jorge (Argentine)	0,26-0,46	0,82-1,72	11,4-31,3		19-51,4	Perez et al. (2007)	<i>Ulva</i> sp
Mer noir (Bulgarie)	0,3-2,1 0,8	1,2-1,8 1,6	7-32 16	110-1000 430	9-108 35	Strezav et Nonova (2009)	<i>Ulva rigida</i>
Est de mer Egée	0,87-5,65	13,7-54,2	6,0-50,1		19,4-197,6	Akcali et Kucu - ksezgin (2011)	<i>Ulva</i> sp.
Lagune nord de Tunis	0,03-0,13 0,04	2,2-4,9 2,8	32-85 42	257-826 685	11-22 20	Présent travail	<i>Ulva rigida</i>

contamination. Les métaux analysés montrent bien que l'espèce *C. prolifera* accumule plus que l'*U. rigida* et le *Ch. linum* sauf pour le Cd dont la concentration reste supérieure chez *Ch. linum*.

En fait, chaque métal montre un modèle caractéristique de variation qui est expliqué par plusieurs facteurs (température, transparence, temps de submersion de l'algue dans l'eau etc..) agissant sur le métabolisme de l'espèce (Lobban and Harrison, 1994 et Vasconcelos *et al.* 2002). El Ati-Hellal *et al.* (2007) et Akcali et Kucuksezgin (2011) ont montré aussi que les concentrations des métaux dans l'eau de mer et dans les sédiments sont bien corrélées avec la teneur dans les macroalgues vertes et brunes et que les macroalgues sont des bioindicateurs de l'état de contamination du milieu.

Ainsi, du fait de l'intensification de l'urbanisation et des activités socio-économiques autour la lagune nord, le taux des métaux traces ne pourra qu'augmenter et l'épuration des eaux des rejets par un système de station d'épuration adéquat s'avère nécessaire, si l'on veut conserver un équilibre de l'écosystème aquatique de la lagune nord.

CONCLUSION

L'étude de la teneur en métaux traces (Pb, Cd, Fe, Mn et Zn) chez les espèces d'algues étudiés (*Caulerpa prolifera*, *Chaetomorpha linum* et *Ulva rigida*) de la lagune nord de Tunis montre que la bioaccumulation de ces métaux varie en fonction de la saison. Les concentrations les plus élevées sont généralement enregistrées en hiver, à l'exception du fer et elles ont variées suivant les espèces. C'est l'espèce *Caulerpa prolifera* qui a accumulé plus des métaux que les deux autres espèces. Cette espèce est alors considérée comme le meilleur bioindicateur parmi les trois espèces d'algues étudiées.

Ainsi, le présent travail a mis en évidence l'éventualité d'utilisation des macroalgues comme indicateurs biologiques de pollution métallique dans un écosystème.

BIBLIOGRAPHIE

Afli, A., Ayari, R., Zaabi, S. 2008. Ecological quality of some Tunisian coast and lagoon locations, by using benthic community parameters and biotic indices. *Estuar. Coast. Shelf Scien.* 80: 269-280.

Akcali, I. & Kucuksezgin, F. 2011 A biomonitoring study: Heavy metals in macroalgae from eastern Aegean coastal areas. *Mar. Pollut. Bull.* 62 : 637- 645.

ANPE. 2007. Rapport national de l'état de l'environnement, agence nationale de protection de l'environnement : 103p.

Aulio, K. 1983. Heavy metals in the green alga *Ladophora glomerata* as related to shore types in the Archipelago Sea, SW Finland, *Mar. Pollut. Bull.* 14 (1983) 347-348.

Baeten S. et Zaouli J. 1986. Analyse des captures de poissons faites aux bordigues du lac de Tunis (Partie Nord). *revue de l'INAT*.vol 1 .N°1.

Barnett, B.E., Ashcroft, C.R. 1985. Heavy metals in *Fucus vesiculosus* in the Humber estuary, *Environ. Pollut. Ser. B* 9 : 193-213.

Belkhir M., Hadj Ali Salem M., 1981. Contribution à l'étude des mécanismes l'eutrophisation dans le lac de Tunis : évolution des paramètres physico-chimique et biologiques. *Bull. Inst. Natn. Scient. Tech. Océanogr. Pêche Salammbô*, 8 :81-98.

Belkhir M., Hadj Ali Salem M., 1982. Variation spatio-temporelle des nitrites, des nitrates, des phosphates inorganiques et du rapport N/P dans le lac de Tunis. *Bull. inst. natn. scient. Tech. Océanogr. Pêche Salammbô*, 9 :71-88.

Ben Charrada R., 1995. Impact des aménagements de restauration sur la qualité des eaux et des peuplements benthiques du lac de Tunis. *Marine life*, vol.5, no 1, pp. 55-64.

Ben Hamadou R., 1998. Projet de valorisation des ressources ichtyques du lac Nord de Tunis. *Projet de fin d'études. INAT* : 75 p.

Ben Maiz N. et Shili A., 2006. Les peuplements phytobenthiques de la lagune Nord de Tunis de 1926 à 2006. *Rapport SPLT*.

Ben Maiz N., 1993. Evolution des peuplements phytobenthiques après les travaux d'assainissement dans la Lagune Nord de Tunis. « Qualité du milieu marin-Indicateurs biologiques et physico-chimiques » Boudouresque C.F., Avon M. & Pergent-Martini C.edit., GIS posidonie public. Fr.p :89-104.

Brown M.T., W.M. Hodgkinson, Hurd, C.L. 1999. Spatial and temporal variations in the copper and zinc concentrations of two green seaweeds from Otago Harbour, New Zealand, *Mar. Environ. Res.* 47 :1-10.

Caliceti M.; Argese E., Sfriso, A., Pavoni, B. 2002. Heavy metal contamination in the seaweeds of the Venice lagoon. *Chemosphere* 47: 443-454.

Cardwell AJ, Hawker DW, Greenway M . 2002. Metal accumulation in aquatic macrophytes from southeast Queensland, Australia. *Chemosphere* 48:653-663.

Cossa, S., 2005. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule *Mytilus Galloprovincialis* en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat de l'université du sud Toulon Var. 314p.

Chouba, L. 2009. Bioévaluation et tendance temporelle des métaux traces (Cd, Pb, Hg) dans

- les sédiments et chez les Mollusques bioindicateurs de la qualité du littoral tunisien. Thèse de doctorat. INAT. 180p.
- Eide, I.; Myklestad, S. Melsom, S. 1980. Long-term uptake and release of heavy metals by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. (Phaeophyceae) in situ. Environ. Pollut. Ser. A 23 : 19–28.
- El Ati–Hellal, M.; A. Hedhili & M. Dachraoui, 2007. « Contents of Trace Metals in Water and Macroalgae along the Mediterranean Coast of Tunisia ». Bull. Environ. Contam. Toxicol. N°78 : 33-37.
- Forsberg A., S. Söderlund, A. Frank, L.R. Peterson, M. Pedersen. 1988. Studies on metal content in the brown seaweed, *Fucus vesiculosus*, from the Archipelago of Stockholm, Environ. Pollut. 49 : 245–263.
- Haritonidis, S. & Malea, P. 1999. Bioaccumulation of metals by the green alga *Ulva rigida* from Thermaikos Gulf, Greece. Environ. Pollut. 104: 365-372.
- Ho, Y.B. 1990. Metals in *Ulva lactuca* in Hong Kong intertidal waters. Bull. Mar. Sci. 47 (1990) 79–85.
- Kaimoussi, A., Mouzdahir, A., Saih, A., 2004. Variation saisonnières des teneurs en métaux (Cd, Cu, Fe Mn et Zn) chez l'algue *Ulva lactuca* prélevée au niveau du littoral de la ville d'El Jadida (Maroc). C. R. Biologies 327: 361-369.
- Kesava Rao C.H. et Indusekhar, V.K. 1986. Manganese, zinc, copper, nickel and cobalt contents in seawater and seaweeds from Saurashtra coast Mahasagar. Bull. Nat. Inst. Oceanogr. 19 : 129–136.
- Leal, M.C.F., Vasconcelos, M.T., Sousa-Pinto, I., Cabral, J.P.S. 1997. Biomonitoring with benthic macroalgae and direct assay of heavy metals in seawater of the Oporto Coast (Northwest Portugal). Mar. Pollut. Bull. 34, 1006–1015.
- Lobban, C.S., Harrison, P.J. 1994. Seaweed Ecology and Physiology Cambridge University Press, Cambridge - New York - Oakleigh 1994. 366 pp. ISBN 0-521-40334-0.
- Mardsen, A.D., De Wreede, R.E., 2000. Marine macroalgal community structure, metal content and reproductive function near an acid mine drainage overflow. Environ. Pollut. N°110: 431-440.
- Merceron, M., Virginie Antoine, V., Auby, I., Morand, P. 2007. Growth potential of the subtidal part of green tide forming *Ulva spp.* stocks. Sci. Total Environ. 384 : 293-305.
- Miramand P., D. Bentley 1992. Heavy metal concentrations in two biological indicators (*Patella vulgata* and *Fucus serratus*) collected near the French nuclear processing plant of La Hague. Sci. Total Environ. 111: 135-149.
- Oostingha H. et Van Berk A.H., 1992. North lake of Tunis and its shores: Restauration and Development. Terra et Aqua. 49 : 23-32.
- Pérez, A.A., Farías, S.S., Strobl, A. M., Pérez, L.B., López, C.M., Adriana Piñeiro, A., Roses, O., María Angélica Fajardo, M.A. 2007. Levels of essential and toxic elements in *Porphyra columbina* and *Ulva sp.* from San Jorge Gulf, Patagonia Argentina. Sci. Total Environ. 376 : 51–59.
- Phaneuf, D., Cote, I., Duma, P., Ferron, L.A., LeBlanc, A., 1999. Evaluation of the contamination of marine algae (seaweed) from the St. Lawrence River and likely to be consumed by humans. Environ. Research (Section A) 80, 175–18.
- Phillips, D.J.H., 1994. Macrophytes as biomonitors of trace metals. In: Kramer, K.J.M. (Ed.), Biomonitoring of Coastal Waters and Estuaries. CRC Press Inc, Florida, pp. 85–103.
- Pohl, C., Kattner, G., Schulz-Baldes, M. 1993. Cadmium, copper, lead and zinc on transects through Arctic and Eastern Atlantic surface and deep waters. J. Mar. Syst. 4: 17–29.
- Rajendran K., Sampathkumar, P., Govindasamy, C., Ganesan, M., Kannan, R., Kannan, L. 1993. Levels of trace metals (Mn, Fe, Cu and Zn) in some Indian seaweeds, Mar. Pollut. Bull. 26 (5) : 283–285.
- Riget, F., Johansen, P., Asmund, G., 1997. Baseline levels and natural variability of elements in three seaweed species from West Greenland. Mar. Poll. Bull. 34: 171-176.
- Shili A., 1995. Contribution à l'étude des peuplements *Ruppia (monocotylédone, potamogetonaceae)* dans le lac Nord de Tunis. DEA en biologie marine et océanographie. Fac. Scien. Tunis : 128p.
- Stengel, D.B. & Dring, M.J. 2000. Copper and iron concentrations in *Ascophyllum nodosum (Fucales, Phaeophyta)* from different sites in Ireland and after culture experiments in relation to thallus age and epiphytism. J. Experiment. Mar. Biology and Ecology 246, 145-161.
- Stengel, D.B.; Macken, A.; Morriss, L.; Morley, N. 2004. Zinc concentrations in marine macroalgae and a lichen from western Ireland in relation to phylogenetic grouping, habitat and morphology. Mar. Pollut. Bull. 48 (2004) 902–909.
- Storelli, M.M., Storelli, A., Marcotrigiano, G.O., 2001. Heavy metals in the aquatic environment of the Southern Adriatic Sea, Italy Macroalgae, sediments and benthic species. Environ. Pollut. 26: 505-509.

- Strezov, A. & Nonova, T. 2009. Influence of macroalgal diversity on accumulation of radionuclides and heavy metals in Bulgarian Black Sea ecosystems. *J. Environ. Radioactivity* 100 : 144-150.
- Trabelsi E.G., 1995. Biologie marine et océanographie sur l'étude de *Chaetomorpha* dans le lac nord de Tunis. Mémoire de DEA, Faculté des sciences, Tunis, Tunisie : 128p.
- Vasconcelos, M.T.SD., Leal, M. Fernanda C., Berg, C.M.G. 2002. Influence of the nature of the exudates released by different marine algae on the growth, trace metal uptake and exudation of *Emiliania huxleyi* in natural seawater. *Mar. Chemistry*, 77: 187-210.
- Villares, R., Puente, X., Carballeira, A. 2001. *Ulva* and *Enteromorpha* as indicators of heavy metal pollution. *Hydrobiologia* 462, 221–232.
- Villares, R., Puente, X., Carballeira, A. 2002. Seasonal variation and background levels of heavy metals in two green seaweeds. *Environ. Pollut.* 119:79–90.
- Wong, M.H., Kowk, T.T., Ho, K.C.1982. Heavy metals in *Ulva lactuca* collected within Tolo Harbour, an almost landlocked sea. *Hydrobiol. Bull.* 16 (1982) 223–230.
- Zaouali J., 1983. Historique de l'évolution sédimentologie de la lagune de Tunis. *Notes* (47). Service Géolo. : 61-66.