



Biologie et pathologie végétales / Plant biology and pathology

Variations 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)

Aziz Kaimoussi^{a,*}, Abdelkrim Mouzdahir^a, Abdelkbir Saih^b

^a Laboratoire de chimie organique et bioorganique, département de chimie, faculté des sciences, BP 20, 24000 El Jadida, Maroc

^b Laboratoire d'ingénierie et mathématique, département de mathématiques, faculté des sciences, BP 20, 24000 El Jadida, Maroc

Reçu le 17 juin 2003 ; accepté après révision 20 janvier 2004

Présenté par Michel Thellier

Résumé

La qualité des eaux côtières atlantiques d'El Jadida a été suivie d'avril 1998 à mars 1999 par la mesure des paramètres hydrologiques (oxygène dissous, matière en suspension, phosphates et nitrites) et l'utilisation de l'algue (*Ulva lactuca*) comme bioindicateur quantitatif de la contamination par le cadmium, le cuivre, le fer, le manganèse et le zinc. Les teneurs métalliques chez les algues récoltées chaque mois, dans quatre stations caractérisées par des rejets d'eaux usées et industrielles, montrent des variations significatives selon les stations et la saison de prélèvement. Les algues de la ville d'El Jadida présentent cependant, en général, des teneurs moins fortes comparées à celles provenant d'autres aires géographiques. **Pour citer cet article : A. Kaimoussi et al., C. R. Biologies 327 (2004).**

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Seasonal variations of metal contents (Cd, Cu, Fe, Mn and Zn) in seaweed *Ulva lactuca* from the coast of El Jadida city (Morocco). The quality of El Jadida Atlantic coastal water was monitored from April 1998 to March 1999 by measuring hydrological parameters (dissolved oxygen, suspended particulate matter, phosphates and nitrites) and using the seaweed *Ulva lactuca* as a quantitative bio-indicator of cadmium, copper, iron, manganese and zinc contamination. Metal content in seaweeds, collected every month from four stations characterized by the discharge of urban and industrial waste water, showed significant variations depending on the station and sampling period. However, the seaweed of El Jadida exhibited generally lower contents compared to those of similar species from other geographical areas. **To cite this article: A. Kaimoussi et al., C. R. Biologies 327 (2004).**

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : teneur ; métaux ; algues ; *Ulva lactuca* ; littoral atlantique ; Maroc

Keywords: content; metals; seaweeds; *Ulva lactuca*; Atlantic littoral; Morocco

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : aziz.kaimoussi@caramail.com (A. Kaimoussi).

Abridged English version

The city of El Jadida, which has about 150 000 inhabitants and is considered as the second future industrial pole in Morocco, is undergoing a deep transformation because of the development of its agricultural, tourist and industrial activities, particularly those related to phosphate and to the Jorf Lasfar harbour. These activities, which constitute henceforth the backbone of its economic boom, together with the growth of its population, can affect the exploitation of its marine resources (fishing, exploitation of seaweed, oyster-culture, etc.), which are subjected to the fatal influence of numerous discharges (industrial, urban, agricultural . . .). This, of course, may have an impact on the quality of the marine environment in the long term.

The aim of this study is to characterize the quality of the environment by the chemical analysis of seawater and to evaluate the degree of metal pollution in living organisms like seaweed.

Metal analyses were carried out by atomic absorption spectrophotometry (Perkin Elmer 3100) equipped with a graphite oven (oven Perkin Elmer HGA-600/700).

The study was carried out at four locations along the coast. The monthly variations of metal concentration in the seaweed at El Jadida sites showed a seasonal pattern for some metals. The physicochemical study of the parameters of seawater informed us about the current state of the quality of the seawater of the city. The content of heavy metals generally increases from winter to summer. Although the metal content of seaweeds undergoes a wide range of variations, a trend in concentration of $Fe > Mn > Zn > Cu > Cd$ in seaweeds was observed along the El Jadida coast. With the exception of Cd, the strongest contents in heavy metals were shown at the level of the S1 station characterized by the urban and industrial wastewater discharge of the C1 collector. However, the seaweed at El Jadida generally exhibited lower concentrations compared to those of similar species from other geographical areas.

1. Introduction

L'augmentation de la concentration des polluants dans les estuaires et les océans, en particulier celle des

métaux lourds, est à l'origine de nombreuses études dans différentes zones du globe. Ces études ont porté sur l'accumulation des métaux sous forme de traces au niveau des algues [1–6]. Les algues jouent un rôle important dans le fonctionnement et l'équilibre de tous les écosystèmes aquatiques. Elles participent également de manière non négligeable aux activités économiques de certains pays.

La région d'El Jadida comporte un gisement important et naturel d'algues marines benthiques, en particulier les *Gelidiales* et les *Laminaires*, à grand intérêt économique. L'utilisation de certaines de ces algues comme bio-indicatrices de la pollution métallique devrait permettre de compléter les données sur l'état de salubrité du littoral de la ville d'El Jadida [7–10]. La variation spatiale et temporelle des teneurs en métaux (Cd, Cu, Fe, Mn et Zn) au niveau de l'espèce d'algue *Ulva lactuca* a été étudiée et les résultats obtenus ont été discutés à la lumière des données de la littérature.

2. Matériel et méthodes

Les algues vertes ont été prélevées au niveau de quatre stations choisies sur le littoral de la ville d'El Jadida (Fig. 1). Le choix des stations est basé, outre la présence des algues, sur la proximité des rejets d'effluents, dans le but d'évaluer leur flux polluant et leur impact sur le milieu marin récepteur.

La description et la nature des émissaires d'eaux usées sont résumées comme suit :

- C1, collecteur recevant un mélange d'eaux usées domestiques et industrielles ;
- C2, collecteur recevant un mélange d'eaux usées domestiques et médicales ;
- C3, collecteur recevant uniquement des eaux domestiques.

2.1. Stations de prélèvement

Les stations de prélèvement étaient localisées comme suit :

- S1, station située à proximité du collecteur C1 ;
- S2, station située à proximité du collecteur C2 ;
- S3, station située à proximité du collecteur C3 ;
- S4, station située à la plage de Sidi Bouzid.

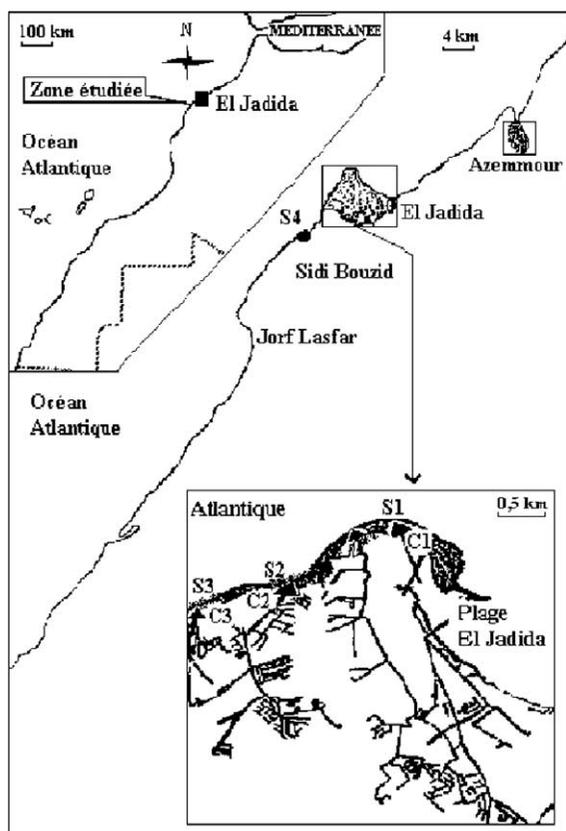


Fig. 1. Localisation des sites de prélèvement des algues le long de la côte dans la ville d'El Jadida (Maroc).

Fig. 1. Localisation of sampling sites of seaweeds along the coast of El Jadida city (Morocco).

Sidi Bouzid est un centre d'estivage situé à 5 km au sud d'El Jadida. Il est connu pour son intérêt touristique, en raison de sa belle plage et de l'absence de toute activité industrielle génératrice de pollution. Le sens des courants marins le long de la côte est dirigé généralement du nord vers le sud (d'El Jadida vers Sidi Bouzid).

2.2. Prélèvement et préparation des échantillons

Les prélèvements des eaux marines sont effectués mensuellement pendant la période d'étude (avril 1998 à mars 1999) suivant le protocole défini par Aminot et Chaussépied [11].

Les algues recueillies ont été débarrassées de leurs épiphytes et des débris adhérent à leurs thalles, rincées sur place à l'eau de mer puis placées dans des sacs

en plastique. À leur arrivée au laboratoire, les algues sont à nouveau rincées à l'eau bidistillée et séchées à 70 °C pendant 48 h. Les algues séchées sont ensuite broyées pour obtenir une poudre fine qui sera utilisée pour la minéralisation. Des fractions aliquotes, de 1 g de poids sec, sont soumises à une attaque par un mélange d'acides (HCl, HNO₃ et HClO₄ Suprapur, d'origine Merck). Les minéralisats sont par la suite filtrés, dilués à l'eau bidistillée, puis stockés dans des flacons maintenus à 4 °C jusqu'à l'analyse [9,10].

2.3. Instruments

Le dosage de cinq éléments métalliques (Cd, Cu, Fe, Mn et Zn) est réalisé à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (Perkin Elmer 3100; flamme air-acétylène) équipé d'un four à graphite (Perkin Elmer HGA-600/700).

2.4. Performances analytiques

2.4.1. Limites de détection

Les limites de détection (LD) ont été calculées comme trois fois l'écart type sur la mesure du blanc, rapportée au poids de la prise d'essai moyenne. Elles sont exprimées en $\mu\text{g g}^{-1}$ (p.s.) (Tableau 1).

2.4.2. Précision

Notre méthode d'analyse a été testée au moyen de dosages sur un échantillon certifié provenant de l'Agence internationale de l'énergie atomique de Monaco (AIEA, Réf. MA-A-2/TM) (Tableau 2).

2.5. Traitement statistique

Le traitement statistique des données est réalisé à l'aide du programme R version 1.4.0 (19/12/2001) pour le calcul des corrélations entre les métaux analysés et les paramètres hydrologiques.

Tableau 1
Limites de détection des dosages par spectroscopie d'absorption atomique

	Cd	Cu	Zn
LD ($\mu\text{g g}^{-1}$) (p.s.)	0,004	0,13	4

Tableau 2
Précision des dosages par spectroscopie d'absorption atomique

MA-A-2/TM	Cd	Cu	Zn
Valeur certifiée ($\mu\text{g g}^{-1}$) (p.s.)	$0,066 \pm 0,012$	$4 \pm 0,33$	$33 \pm 1,0$
Valeur obtenue ($\mu\text{g g}^{-1}$) (p.s.)	$0,06 \pm 0,005$	$3,9 \pm 0,06$	$32 \pm 0,5$

Tableau 3
Caractéristiques de l'eau de mer du littoral de la ville d'El Jadida durant la campagne 1998–1999 (valeurs limites, moyennes \pm écarts types) des quatre stations (S1 à S4)

	pH	Salinité (‰)	Oxygène dissous (mg l^{-1})	M.E.S. (mg l^{-1})	PO_4^{3-} ($\mu\text{g l}^{-1}$)	NO_2^- ($\mu\text{g l}^{-1}$)
S1	7,45–8,13 (7,95 \pm 0,19)	24,7–31,1 (28,36 \pm 2,17)	5,95–7,01 (6,42 \pm 0,30)	70–95 (82,81 \pm 7,60)	94–1045 (513 \pm 331)	24–100 (45 \pm 24)
S2	7,75–8,13 (7,93 \pm 0,11)	26,8–32,3 (29,96 \pm 1,69)	5,10–7,01 (6,48 \pm 0,62)	36–54 (44,15 \pm 4,28)	54–235 (120 \pm 50)	14–31 (21 \pm 4,8)
S3	7,74–8,15 (7,92 \pm 0,12)	27,6–34,5 (30,82 \pm 2,14)	6,20–7,85 (7,02 \pm 0,41)	33–42 (38,23 \pm 2,42)	45–985 (222 \pm 321)	12–29 (19 \pm 4,7)
S4	7,98–8,30 (8,13 \pm 0,10)	28,4–35,7 (32,03 \pm 2,42)	6,70–7,8 (7,41 \pm 0,33)	25–40 (32,65 \pm 3,73)	31–144 (92 \pm 38)	5–13 (10 \pm 2,3)

M.E.S. : matière en suspension ; PO_4^{3-} : orthophosphate ; NO_2^- : nitrite.

3. Résultats

Les caractéristiques de l'eau de mer du littoral de la ville d'El Jadida durant la campagne 1998–1999 sont reportées dans le Tableau 3.

L'étude des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer au cours du cycle annuel renseigne sur l'état de la qualité des eaux marines au niveau de la ville d'El Jadida. Le pH de l'eau de mer de Sidi Bouzid (S4), où l'on note une absence de rejet d'eaux usées, est de 8,13. La valeur moyenne du pH dans les trois stations S1, S2 et S3 est inférieure à 8, indiquant une légère acidification du milieu. La salinité des eaux superficielles du littoral de la région d'El Jadida varie entre 24,7‰ et 35,7‰ au cours du cycle annuel. Les valeurs de salinité les plus faibles sont enregistrées au niveau des stations S1 et S2, qui se trouvent à proximité des rejets des collecteurs C1 et C2. Des concentrations importantes dans les stations S1 et S2, avec des valeurs limites maximales des matières en suspension respectivement 95 et 54 mg l^{-1} , sont enregistrées. Les valeurs limites en oxygène dissous dans les eaux des stations subissent des fluctuations au cours de l'année (5,10 à 7,85 mg l^{-1}). Un enrichissement non négligeable en phosphates est noté pour les stations S1 et S3. L'étude de l'évolution des nitrites montre que les concentrations obtenues sont faibles et sont locali-

sées dans les stations exposées aux rejets. Les faibles valeurs de nitrites sont attribuées, d'une part, à la valeur de la vitesse des réactions de transformation de l'azote ammoniacal en nitrites et en nitrate et, d'autre part, à l'effet de dilution provoqué par la marée.

3.1. Teneurs en métaux dans l'algue verte *Ulva lactuca*

Les teneurs en métaux, calculées sur 12 prélèvements par station, sont présentées dans le Tableau 4.

3.1.1. Cadmium

Les teneurs moyennes obtenues sont voisines de 1 $\mu\text{g g}^{-1}$ de poids sec. La valeur maximale est enregistrée au niveau de la station Sidi Bouzid (S4).

3.1.2. Cuivre

Les teneurs moyennes en Cu dans les différentes stations sont comparables, avec une légère augmentation de la valeur moyenne au niveau de la station S1.

3.1.3. Fer

Les valeurs limites du Fe s'échelonnent de 100 à 825 $\mu\text{g g}^{-1}$ de poids sec, la teneur moyenne des échantillons de la station S1 dépasse celles de toutes les autres stations étudiées, où ces teneurs sont voisines pour les stations S2 et S3.

Tableau 4

Teneurs en métaux ($\mu\text{g g}^{-1}$ de poids sec) des algues *Ulva lactuca* récoltées dans les quatre stations (S1 à S4) du littoral de la ville d'El Jadida (valeurs limites, moyennes \pm écart-types)

Table 4

Heavy metals content ($\mu\text{g g}^{-1}$ dry weight) in seaweeds *Ulva lactuca* sampled in the four stations (S1 to S4) of the coast of El Jadida (ranges, means \pm standard deviations)

	Cd ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Cu ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Mn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$)
S1	0,4–1,4 (0,8 \pm 0,29)	5,5–21,5 (14,5 \pm 5,2)	342–825 (611 \pm 143)	8,7–34 (19,2 \pm 7,2)	126–337 (228 \pm 74)
S2	0,1–1,1 (0,7 \pm 0,35)	6,7–19,25 (11,9 \pm 3,9)	280–550 (411 \pm 101)	10,4–26,2 (8,2 \pm 5,2)	106–345 (224 \pm 69)
S3	0,35–1,4 (0,92 \pm 0,35)	5,35–18,5 (12,5 \pm 4,3)	133–509 (322 \pm 133)	8,9–26,2 (16,3 \pm 5,2)	114–276 (200 \pm 52)
S4	0,46–2,15 (1,07 \pm 0,55)	9,3–17,4 (12,1 \pm 2,8)	100–387 (198 \pm 73)	8,7–22,7 (12,7 \pm 4,2)	96–306 (163 \pm 61)

3.1.4. Manganèse

Les valeurs limites des teneurs en Mn s'échelonnent entre 8,7 et 34 $\mu\text{g g}^{-1}$ de poids sec. Les plus fortes valeurs moyennes sont obtenues au niveau de la station S1.

3.1.5. Zinc

Comme pour le Fe, les plus fortes teneurs moyennes sont obtenues au niveau de la station S1, avec une valeur limite maximale de 337 $\mu\text{g g}^{-1}$ de poids sec. La station de Sidi Bouzid présente la plus faible valeur moyenne.

3.2. Rôle des interactions métalliques

La réponse et la survie d'un métal dépendent des autres métaux présents dans le milieu, en relation avec le rôle que peuvent jouer les facteurs du milieu. En fait, ces interactions, positives ou négatives, exercent une influence certaine sur la biodisponibilité des métaux et, de là, sur leur bioaccumulation [12]. Nous avons évalué ces interactions par les corrélations entre métaux, calculées chez *Ulva lactuca*. L'examen des matrices de corrélations montre que les coefficients sont significativement positifs, suggérant une action synergique entre les métaux considérés (Tableau 5). Le Fe et le Mn ont, en effet, un comportement géochimique bien souvent proche. Il est intéressant de révéler tout particulièrement la corrélation entre Fe et Mn, qui traduit, outre leur origine continentale commune, leur co-précipitation classique dans les mêmes conditions physico-chimiques.

Tableau 5

Matrice de corrélations entre les métaux analysés chez l'algue *Ulva lactuca* le long de la côte dans la ville d'El Jadida

	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn
Cd	1,000				
Cu	0,037	1,000			
Fe	-0,002	0,106	1,000		
Mn	-0,029	0,109	0,489	1,000	
Zn	-0,065	0,197	0,312	0,549	1,000

Nous avons également corrélié les variations des teneurs métalliques dans les tissus de l'algue verte aux paramètres relatifs à la qualité des eaux des sites étudiés, en utilisant des données globales sur l'ensemble des sites prospectés, pour tenter de dégager l'influence potentielle de ces derniers sur la charge métallique (Tableau 6). La salinité est négativement corrélée au Cu, Fe, Mn et corrélée positivement avec le Cd. Ces anti-corrélations sont intéressantes, car elles reflètent l'origine continentale des éléments métalliques concernés (Mn et Fe). Pour l'oxygène dissous, les facteurs de corrélation négative les plus importants sont notés pour Fe, Mn et Zn. Le Cd est le seul métal corrélié avec l'oxygène dissous et le pH dans *U. lactuca*. À l'exception du Cd, tous les métaux sont positivement corrélés avec les MES. Les coefficients de corrélations les plus importants sont enregistrés pour le Fe. Les métaux étudiés ne présentent pas de corrélations significatives avec les nitrites et les phosphates, à l'exception du Fe, qui est bien corrélié tant aux phosphates qu'aux nitrites pour l'algue étudiée.

Tableau 6

Matrice de corrélations entre les métaux chez l'algue *Ulva lactuca* et la qualité des eaux du milieu

	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn
pH	0,305	-0,073	-0,217	-0,131	-0,292
MES	-0,150	0,319	0,731	0,342	0,246
SAL	0,415	-0,007	-0,369	-0,040	0,074
OD	0,231	-0,137	-0,353	-0,138	-0,212
PO ₄ ³⁻	-0,003	0,188	0,539	0,235	0,062
NO ₂ ⁻	-0,218	0,366	0,326	0,024	0,231

3.3. Variations saisonnières

Les variations mensuelles des teneurs métalliques chez *U. lactuca* sont présentées sur la Fig. 2. Les teneurs en Fe accusent de grandes variations durant l'année, avec un maximum en avril 1998, pour la station S4, en juillet 1998 pour la station S3, en septembre 1998 pour la station S1, et en juin 1998 pour la station S2 (Fig. 2). Le Fe montre de faibles teneurs durant l'été.

La variation saisonnière de Zn est moins marquée avec un maximum en mai 1998 pour la station S4, en août 1998 pour la station S3, en décembre 1998, pour la station S1 et en avril 1998 pour la station S2.

Le Cu présente des fluctuations au cours de la saison ; sa teneur est sensiblement plus élevée pour les trois stations S1, S2 et S3 que pour la station S4.

La valeur en Cd est importante pour la station S4. Elle est maximale en juin 1998 (2,15 µg g⁻¹ de poids sec).

La variation saisonnière de Mn est moins significative, avec un maximum en juin 1998 pour la station S1, en avril 1998 pour la station S2, en novembre 1998 pour la station S3 et en mai 1998 pour la station S4.

4. Discussion

Ulva lactuca est largement utilisée comme bio-indicateur de la contamination métallique dans plusieurs parties du monde [13–15]. À partir de ces études, on peut obtenir une évaluation de la gamme des valeurs du cuivre et du zinc trouvée dans cette espèce d'algue. La gamme de valeurs pour le cuivre dans *U. lactuca* prélevée en sites non contaminés est de 0,1 à 3 µg g⁻¹ de poids sec [16,17], tandis que les valeurs de sites fortement contaminés s'étendent entre 14 et

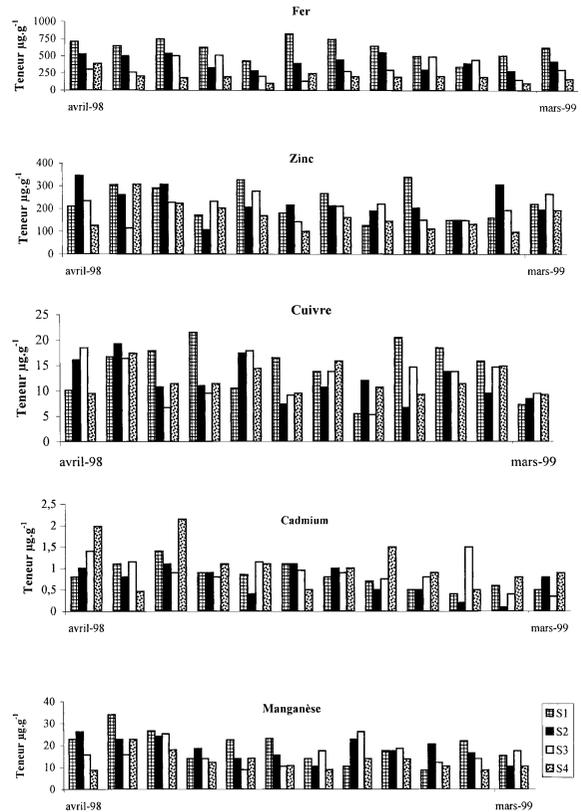


Fig. 2. Variations saisonnières des teneurs métalliques (Cd, Cu, Fe, Mn et Zn) en µg g⁻¹ p.s. chez *Ulva lactuca*, prélevée au niveau des quatre stations (S1 à S4) du littoral de la ville d'El Jadida.

Fig. 2. Seasonal variations of the metal contents (Cd, Cu, Fe, Mn and Zn, µg g⁻¹ dry weight) in *Ulva lactuca* from the four stations (S1 to S4) along the coast of El Jadida (Morocco).

134 µg g⁻¹ de poids sec [17–19]. Sur la base de ces données, la gamme des teneurs en cuivre enregistrées dans *U. lactuca* indique que les stations de la ville d'El Jadida ne sont que très faiblement contaminées par le cuivre. La gamme des teneurs moyennes de zinc, annoncées dans *U. lactuca* à partir de sites non contaminés, est de 0,5 à 23 µg g⁻¹ de poids sec [16,17] et à partir de sites pollués de 42 à 160 µg g⁻¹ de poids sec [19,20]. En employant de nouveau ces valeurs comme guide, il est clair que l'on peut considérer la plupart des stations de la ville d'El Jadida comme ayant des teneurs indiquant un degré significatif de contamination. Les teneurs considérables en Cd obtenues dans les algues prélevées dans la zone de Sidi Bouzid sont liées à l'abondance de ce métal dans l'eau de mer [9].

Cette abondance serait liée aux courants marins responsables de la remontée des eaux profondes, spécialement riches en métaux traces, y compris Cd [21,22].

Bien que le contenu de métaux dans les algues soit soumis à de grandes variations, une tendance à une teneur en Fe supérieure à celle de Mn a été observée le long de la côte de la ville d'El Jadida, en accord avec d'autres travaux sur les algues [23–25]. Les algues de la ville d'El Jadida accumulent ainsi plus de Fe que, dans l'ordre, de Zn, Mn, Cu et Cd. Les algues des régions tempérées accumulent plus de Fe que, dans l'ordre, de Mn, Zn et Cu [26–29].

Les variations saisonnières de métaux lourds dans les algues ont été notées par plusieurs auteurs [1,2,30–32], tandis que d'autres ont annoncé l'absence d'une telle variation [33]; aucune fluctuation saisonnière n'a été observée [4,34]. Les teneurs des métaux Cd, Cu, Fe, Mn et Zn, dans l'espèce étudiée varient sensiblement pendant la période de prélèvement des échantillons, chaque métal montrant un modèle caractéristique de variation.

Des fluctuations saisonnières des teneurs en métaux dans les algues sont souvent observées et rapprochées des variations saisonnières de leur taux de croissance [35]. Cependant, les activités de croissance n'expliquent pas entièrement à elles seules la différence dans la variabilité saisonnière entre les métaux. Eide et al. [5] ont trouvé des différences marquées du taux d'assimilation de cadmium et de zinc entre les saisons dans l'algue *Ascophyllum nodosum*, et proposent que l'assimilation de ces métaux puisse être liée aux processus métaboliques. Dans le cas du plomb, ils ont trouvé moins de différence dans la bioaccumulation entre les saisons et ont suggéré qu'un processus d'échange d'ion puisse être impliqué dans l'assimilation principale. Ces travaux s'accordent sur la variabilité saisonnière plus prononcée du zinc et du cadmium, également révélée par notre étude. Miramand et Bentley [32] ont proposé un modèle saisonnier prononcé pour le zinc et le cadmium dans l'algue brune *F. serratus* et aucune variation saisonnière pour les autres métaux. La variation saisonnière pourrait aussi refléter des changements temporels de la teneur des métaux lourds dans l'eau de mer ambiante [36]. La teneur des métaux dans les macro-algues aquatiques est généralement basse durant les mois chauds, en raison des hauts taux de croissance, qui « diluent » les métaux accumulés [35]. Cependant, Hägerhäll [3] a annoncé

que les teneurs en Cu (aussi bien que Ni et Zn) dans *Ascophyllum nodosum* à Öresund (en Suède) étaient à leur maximum à la mi-juillet et Drude de Lacerda et al. [37] ont constaté que les teneurs en Cd, Cu et Pb (parmi d'autres métaux) dans cinq algues marines (site de prélèvement au sud du Brésil) étaient généralement à leur maximum en janvier (été) et à leur minimum en août (hiver). De même, Fernanda Leal et al. [38] ont constaté que les teneurs en Cd, Hg et Pb, tant dans *Enteromorpha spp.* que dans *Porphyra spp.*, étaient plus élevées au printemps (juin–avril) qu'en hiver (mars–novembre). L'étude de la variation saisonnière de la bioaccumulation de Fe et Co indique un maximum à l'approche du printemps pour *Enteromorpha spp.* Cependant, en ce qui concerne le cuivre, les auteurs [38] enregistrent des modèles presque identiques, avec des minimums en hiver, probablement parce qu'ils ont des demandes saisonnières analogues dans les metalloenzymes contenant du cuivre [39]. Pour d'autres auteurs, la teneur des métaux lourds dans les algues dépend de l'âge de celles-ci. En effet, Forsberg et al. [40] 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*). Le Cr montre une tendance similaire, qui n'est pas constatée pour le Cd, le Cu et le Pb. Barnett et Aschcroft [41] ont enregistré une augmentation de la teneur de Fe, Mn, Ni, Zn et Pb dans les thalles principaux, par comparaison à ceux en développement. Bryan et Hummerstone [1] suggèrent que cette différence d'accumulation des métaux est due au nombre de sites de fixation, étant donné qu'au fur et à mesure que le thalle se développe, le nombre de site augmente. De plus, Forsberg et al. [40] ont noté que les épiphytes, qui sont essentiellement limités aux plantes âgées, sont responsables de l'augmentation de la teneur de Al, Cr, Fe et V dans le thalle le plus âgé.

Les teneurs métalliques observées chez l'algue verte *U. lactuca*, à El Jadida, ne paraissent pas assez élevées pour conduire à un risque certain de contamination. Le zinc, métal essentiel, paraît le plus abondant. La comparaison de nos données avec celles fournies par la littérature, pour la même espèce, prélevée dans des zones polluées ou non, montre que les teneurs des métaux Cd, Cu, Fe, Mn sont intermédiaires entre les valeurs limites de la littérature, bien que, dans de nombreux cas, ces teneurs présentent des valeurs plus

faibles que celles relevées dans d'autres aires géographiques [6,15,18–20,42,43].

5. Conclusion

L'étude de la teneur en cinq métaux lourds (Cd, Cu, Fe, Mn et Zn) chez l'espèce d'algue *Ulva lactuca* de la ville d'El Jadida montre que ces teneurs varient en fonction du site de prélèvement et de la saison ; les teneurs en métaux lourds augmentent généralement de l'hiver à l'été.

À l'exception du Cd, les plus fortes teneurs en métaux lourds sont détectées au niveau de la station S1, caractérisée par les déversements des eaux usées domestiques et industrielles du collecteur C1.

La gamme des valeurs de Cu et du Zn trouvées dans l'espèce étudiée montre que, pour le Cu, les stations de la ville d'El Jadida ne sont que très faiblement contaminées. Les concentrations en Zn indiquent un degré significatif de contamination.

L'accumulation des métaux suit en général l'ordre suivant Fe > Zn > Mn > Cu > Cd.

La présence des métaux lourds dans les algues de la côte d'El Jadida est plus faible que celle enregistrée dans d'autres régions du globe. Avec l'intensification de l'urbanisation et des activités socio-économiques, le taux des métaux lourds 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 à l'écosystème aquatique de la ville d'El Jadida.

Références

- [1] G.W. Bryan, L.G. Hummerstone, Brown seaweed as an indicator of heavy metals in estuaries of south-west England, *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 53 (1973) 705–720.
- [2] R. Fuge, K.H. James, Trace metal concentrations in brown seaweeds. Cardigan Bay, Wales, *Mar. Chem.* 1 (1973) 281–293.
- [3] B. Hägerhäll, Marine botanical-hydrographical trace element studies in the Öresund Area, *Bot. Mar.* 16 (1973) 53–64.
- [4] A. Haug, S. Melsom, S. Omang, Estimation of heavy metal pollution in two Norwegian fjord areas by analysis of the brown alga *Ascophyllum nodosum*, *Environ. Pollut.* 7 (1974) 179–192.
- [5] I. Eide, S. Myklestad, S. Melsom, Long-term uptake and release of heavy metals by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. (Phaeophyceae) in situ, *Environ. Pollut. Ser. A* 23 (1980) 19–28.
- [6] I.M. Munda, V. Hudnik, Trace metal content in some seaweeds from the northern Adriatic, *Bot. Mar.* 34 (1991) 241–249.
- [7] A. Kaimoussi, A. Chafik, M. Cheggour, A. Mouzdahir, S. Bakkas, Variations saisonnières des concentrations en métaux (Cd, Cu, Zn, Fe et Mn) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* du littoral de la région d'El Jadida (Maroc), *Mar. Life* 10 (2000) 77–85.
- [8] A. Kaimoussi, A. Chafik, A. Mouzdahir, S. Bakkas, The impact of industrial pollution on the Jorf Lasfar coastal zone (Morocco, Atlantic Ocean): the mussel as an indicator of metal contamination, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 333 (2001) 337–341.
- [9] A. Kaimoussi, État de la pollution métallique au niveau du littoral de la région d'El Jadida : étude comparative entre l'année 94/95 et l'année 98/99, thèse d'État, université Chouaib-Doukkali, faculté des Sciences, El Jadida, Maroc, 2002, 175 p.
- [10] A. Kaimoussi, A. Chafik, A. Mouzdahir, S. Bakkas, Diagnosis on the state of healthiness, quality of the coast and biological resources: case of the Moroccan Atlantic coast (City of El Jadida), *C. R. Biologies* 325 (2002) 253–260.
- [11] A. Aminot, M. Chaussepied, Manuel des analyses chimiques en milieu marin, CNEXO, 1983, 395 p.
- [12] M. Ahsanullah, D.S. Negilski, M.C.V. Mobley, Toxicity of zinc, cadmium, and copper to the shrimp *Callinassa australiensis*. I: Effects of individual metals. III: Accumulation of metals, *Mar. Biol.* 64 (1981) 229–304 and 311–316.
- [13] Y.B. Ho, Metals in 19 intertidal macroseaweed in Hong Kong waters, *Mar. Pollut. Bull.* 18 (1987) 564–566.
- [14] P.J. Say, I.G. Burrows, B.A. Whitton, *Enteromorpha* as a monitor of heavy metals in estuaries, *Hydrobiol.* 195 (1990) 119–126.
- [15] M.T. Brown, W.M. Hodgkinson, C.L. Hurd, Spatial and temporal variations in the copper and zinc concentrations of two green seaweeds from Otago Harbour, New Zealand, *Mar. Environ. Res.* 47 (1999) 175–184.
- [16] J.G. Shiber, Washburn, Lead, mercury and certain nutrient elements in *Ulva lactuca* (Linnaeus) from Ras Beirut, Lebanon, *Hydrobiology* 61 (1978) 187–192.
- [17] M.H. Wong, T.T. Kowk, K.C. Ho, Heavy metals in *Ulva lactuca* collected within Tolo Harbour, an almost landlocked sea, *Hydrobiol. Bull.* 16 (1982) 223–230.
- [18] U. Seeliger, P. Edwards, Correlation coefficients and concentration factors of copper and lead in seawater and benthic seaweed, *Mar. Pollut. Bull.* 8 (1987) 16–19.
- [19] Y.B. Ho, Metals in *Ulva lactuca* in Hong Kong intertidal waters, *Bull. Mar. Sci.* 47 (1990) 79–85.
- [20] R.D. Stenner, G. Nickless, Heavy metal in organisms of the Atlantic coast of SW Spain and Portugal, *Mar. Pollut. Bull.* 6 (1975) 89–92.
- [21] K.W. Bruland, R.P. Franks, Mn, Ni, Cu, Zn and Cd in the western North Atlantic, in: C.S. Wong, E. Boyle, K.W. Bruland, J.D. Burton, E.D. Goldberg (Eds.), Trace Metals in Seawater, Plenum Press, New York, 1983, pp. 395–414.
- [22] Z. Sidoumou, M. Romeo, M. Gnassia-Barelli, P. Nguyen, R. Caruba, Détermination de la qualité des eaux du littoral

- mauritanien par la mesure des métaux traces chez les mollusques *Donax rugosus* et *Venus verrucosa*, Hydroécol. Appl. 2 (1992) 33–41.
- [23] V.V. Agadi, N.B. Bhosle, A.G. Untawale, Metal concentration in some seaweeds of Goa (India), Bot. Mar. 21 (1978) 247–250.
- [24] B. Patel, S. Pawar, M.C. Balani, S. Patel, Macro seaweed as 'sentinel' of trace and heavy metals in the management of coastal environment, in: B. Patel (Ed.), Management of Environment, Wiley Eastern, New Delhi, India, 1980, pp. 371–388.
- [25] C.H. KesavaRao, V.K. Indusekhar, Manganese, zinc, copper, nickel and cobalt contents in seawater and seaweeds from Saurashtra coast Mahasagar, Bull. Nat. Inst. Oceanogr. 19 (1986) 129–136.
- [26] K. Aulio, 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.
- [27] P.M. Sivalingam, Biodeposited trace metals and mineral content studies of some tropical marine seaweed, Bot. Mar. 21 (1978) 327–330.
- [28] J.R.D. Guimaraes, L. Drude de Lacerda, V.L. Teixeira, Concentrations of heavy metals in benthic seaweed of bay of *Ribeira Angra dos Reis*, and subjected monitor species, Rev. Bras. Biol. 42 (1982) 553–557.
- [29] K. Rajendran, P. Sampathkumar, C. Govindasamy, M. Ganesan, R. Kannan, L. Kannan, Levels of trace metals (Mn, Fe, Cu and Zn) in some Indian seaweeds, Mar. Pollut. Bull. 26 (5) (1993) 283–285.
- [30] O. Rönnerberg, K. Adjers, C. Ruokolahti, M. Bondestam, *Fucus vesiculosus* as an indicator of heavy metal availability in a fish farm recipient in the northern Baltic sea, Mar. Pollut. Bull. 21 (8) (1990) 388–392.
- [31] V.A. Catsiki, E. Papathanassiou, F. Bei, Heavy metal levels in characteristic benthic flora and fauna in the central Aegean Sea, Mar. Pollut. Bull. 22 (1991) 566–569.
- [32] P. Miramand, D. Bentley, 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 (1992) 135–149.
- [33] E.G. Young, W.M. Langille, The occurrence of inorganic elements in marine seaweed of the Atlantic provinces of Canada, Can. J. Bot. 36 (1958) 301–310.
- [34] J.G. Shiber, Trace metals with seasonal considerations in coastal seaweed and molluscs from Beirut, Lebanon, Hydrobiol. 69 (1980) 147–162.
- [35] C. Pohl, G. Kattner, M. Schulz-Baldes, Cadmium, copper, lead and zinc on transects through Arctic and Eastern Atlantic surface and deep waters, J. Mar. Syst. 4 (1993) 17–29.
- [36] D.J.H. Phillips, Macrophytes as biomonitors of trace metals, in: K.J.M. Kramer (Ed.), Biomonitoring of Coastal Waters and Estuaries, CRC Press, Boca Raton, FL, 1994, pp. 85–103.
- [37] L. Drude de Lacerda, V.L. Teixeira, J.R.D. Guimaraes, Seasonal variation of heavy metals in seaweeds from Conceição de Jacarei (R.J.), Brasil, Bot. Mar. 28 (1985) 339–343.
- [38] M.C. Fernanda Leal, M. Teresa Vasconcelos, I. Sousapinto, J.P.S. Cabral, Biomonitoring with benthic Macro seaweed and direct assay of heavy metals in seawater of the oporto coast (Northwest Portugal), Mar. Pollut. Bull. 34 (12) (1997) 1006–1015.
- [39] T. Sawidis, A.N. Voulgaropoulos, Seasonal bioaccumulation of iron, cobalt and copper in marine seaweed from thermaikos gulf of the northern Aegean sea, Greece, Mar. Environ. Res. 19 (1986) 39–47.
- [40] A. Forsberg, S. Söderlund, A. Frank, L.R. Peterson, M. Pedersen, Studies on metal content in the brown seaweed, *Fucus vesiculosus*, from the Archipelago of Stockholm, Environ. Pollut. 49 (1988) 245–263.
- [41] B.E. Barnett, C.R. Ashcroft, Heavy metals in *Fucus vesiculosus* in the Humber estuary, Environ. Pollut. Ser. B 9 (1985) 193–213.
- [42] J.-C. Dumon, Y. Lapaquellerie, C. Latouche, Éléments-traces des algues et des phanérogames marines (Zostères) du contexte laguno-marin d'Arcachon. Recherche des influences de l'environnement pédologique sur le chimisme du peuplement végétal, Vie Milieu 44 (3/4) (1994) 167–183.
- [43] K.C. Güven, N. Saygi, B. Öztürk, Survey of metal contents of bosphorus seaweed, *zostera marina* and sediments, Bot. Mar. 36 (1993) 175–178.