

**ELIMINATION D'ALUMINIUM PAR DES
SUPPORTS PREPAREES A PARTIR DE DEUX
ALGUES MARINES : *SARGASSUM MUTICUM*
(YENDO) FENSHOLT, 1955 ET *CYSTOSEIRA*
TAMARISCIFOLIA (HUDSON)**

Ould abdellahi Lella

Elyahyaou Ouafae

Kerrouri Saloua

Sammama Amal

Bouabid Bahia

Doctorante en Laboratoire de Nutrition et Santé, Département de biologie,
Faculté de Sciences, université Ibn Tofail , Kenitra, Maroc

Bengueddour Rachid

Professeur, Département de biologie,
Faculté de Sciences, université Ibn Tofail , Kenitra, Maroc

Abstract

The ore loading and the rejected wastes in Nouadhibou port cause major problems threatening the bay of the Star. So, several national and international sectors (associations, Ministers, Universities,...) are heading the search for appropriate solutions to minimize the dangers of this problem. To contribute to these solutions, we have prepared homogenates of two algae *Sargassum muticum* and *Cystoseira tamariscifolia*. Also, metal solutions were prepared by simply dissolving aluminum nitrate in distilled water. Then, the seaweed shreds were put in contact with the aluminum solutions and the systems were stirred, the solutions are then filtered and the filtrate is analyzed by ICP (Inductively Coupled Plasma). The results obtained during the kinetics of aluminum adsorption ambient conditions have shown that shreds of *Cystoseira* and *Sargassum* algae *muticum tamariscifolia* have extremely large capacities for adsorbing aluminum. This was confirmed by the textural analysis through analysis by scanning electron microscopy, fluorescence spectrometry analysis X, as well as infrared spectroscopy of the supports before and after contacting with the metal. Thereby, *Cystoseira tamariscifolia* and *Sargassum muticum* could be used as an alternative

solution to protect the bay of the “Star” especially these two algae lives naturally in the aquatic ecosystem of the region.

Keywords : *Sargassum muticum*; *Cystoseira tamariscifolia*; Baie de l'étoile; Aluminium; Biosorption.

Résumé

Les travaux de chargement au port minéralier de Nouadhibou (Mauritanie) et les rejets des usées provoquent des grands problèmes qui menacent la baie de l'Etoile. Plusieurs secteurs nationaux et internationaux (Associations, Ministres, Universités, ...) se dirigent vers la recherche des solutions convenables pour minimiser les dangers de ce problème. Pour contribuer à ces solutions nous avons préparé des matériaux à partir des broyats des deux algues *Sargassum muticum* et *Cystoseira tamariscifolia*. Aussi des solutions métalliques ont été préparées par simple dissolution du nitrate d'Aluminium dans l'eau distillée. Des masses des broyats d'algues ont été mises en contact avec les solutions d'Aluminium et les systèmes sont maintenus sous agitation, les solutions sont ensuite filtrées, et les filtrats sont analysés par ICP (Inductively Coupled Plasma).

Les résultats obtenus au cours de la cinétique d'adsorption d'aluminium a des conditions ambiantes montrent que les broyats des algues *Sargassum muticum* et *Cystoseira tamariscifolia* ont des capacités extrêmement importantes pour l'adsorption de l'aluminium. Ceci à été confirmé par les analyses texturales par L'analyse microscope électronique à balayage, l'analyse spectrométrie de fluorescence X, ainsi que par la spectroscopie infrarouge des supports avant et après la mise en contact avec le métal. Après ces analyses on peut conclure que l'utilisation de *Sargassum muticum* et *Cystoseira tamariscifolia* est une solution alternative pour protéger la baie de l'étoile car ces algues ce trouvent naturellement à l'écosystème aquatique de cette région.

Mots-clefs : *Sargassum muticum*; *Cystoseira tamariscifolia*; Baie de l'étoile; Aluminium; Biosorption.

Introduction :

Les côtes de Mauritanie sont caractérisées par la présence de nombreuses Baies longeant l'ensemble des côtes de l'Ouest (Figure 1). Ces Baies ont une importance primordiale pour la conservation de la biodiversité en raison de réserves naturelles. La baie de l'étoile on est en cas

La prise en compte des habitats benthiques de la Baie de l'Etoile est d'autant plus justifiée qu'ils abritent diverse peuplement biocénotique dont les espèces constituent des maillons du réseau trophique. Notons en outre

que la pollution de l'eau et des milieux aquatiques constitue un problème majeur tant pour la population, utilisatrice des ressources en eau, que pour la faune et la flore pour lesquelles l'eau représente le milieu de vie [Viessman et al., 2008]. Parmi les indicateurs de cette pollution, la concentration des métaux lourds qui sont des polluants toxiques et non biodégradables [Barbier et al., 2000]. Pour réduire cette concentration, l'utilisation des algues marines en médecine et en pharmacie est connue depuis la plus haute antiquité mais reste limitée, [Torresa et al., 2007]; [Kosovel et al., 1988]. Mais à l'état actuel certaines macroalgues marines font même partie des matériaux utilisés dans l'élimination des métaux lourds à partir des solutions aqueuses diluées [Sheng et al., 2004]; [Matheickal et al., 1999]; [Murphy et al., 2008]. Plusieurs fonctions se trouvent responsables de cette fixation à savoir les groupements carboxyles, hydroxyles, sulfoniques et les groupements amines [Smith et al., 2002].

Notons que l'efficacité du traitement de la solution est liée au nombre des sites présents au niveau du broyat, leur accessibilité et leur affinité vis-à-vis de l'espèce métallique à éliminer. En outre, les groupements fonctionnels impliqués participent à la fixation des métaux par plusieurs mécanismes tels que l'échange d'ions ou par formation des complexes [Davis et al., 2003] qui peuvent varier selon le type de biomasse utilisé, de son origine et du traitement dont elle a été soumise.

Une des alternatives pour traiter les effluents, c'est la technique biosorption [Volesky et al., 1990]. Cette méthode peu coûteuse offre l'avantage de réduire de fortes quantités de métaux lourds grâce aux matériaux naturels utilisés principalement les algues marines riches en groupements fonctionnels [Holan et al., 1993] capables de fixer les ions métalliques à partir des eaux de rejets [Davis et al., 2003]; [Tsui et al., 2006]. Ce phénomène est dû principalement à leurs biomatériaux (polysaccharides, protéines et lipides) riches en fonctions amines, alcools, sulfates, et groupements carboxyliques responsables de la fixation des métaux lourds [Ramelow et al., 1992]; [Smith et al., 2002].

Dans ce travail nous avons étudié la capacité de *Sargassum muticum* *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt, 1955 et *Cystoseira tamariscifolia* (Hudson) Papenfuss 1950, deux algues Phaeophyceae, Sargassaceae, prélevées au niveau de la Baie de l'étoile (voir la figure 1) pour éliminer les ions Al^{2+} à partir des solutions aqueuses synthétiques.



Figure 7: Baie de l'étoile (source Google earth, 2013)

Matériel et méthode

Préparation de la biomasse d'algues et les solutions métalliques

Les thalles de *Sargassum muticum* et *Cystoseira tamariscifolia* (Figure8) ont été récoltés sur la côte Atlantique Mauritanienne au niveau de la Baie de l'étoile (Figure1). Ces algues ont été rincées à l'eau de mer afin d'enlever leurs épiphytes et les débris adhérent à leurs thalles, séchées à l'air libre jusqu'à déshydratation complète, puis broyées pour obtenir une poudre fine qui servira pour la suite de notre étude. Les solutions métalliques ont été préparées par simple dissolution du nitrate d'Aluminium dans l'eau distillée.

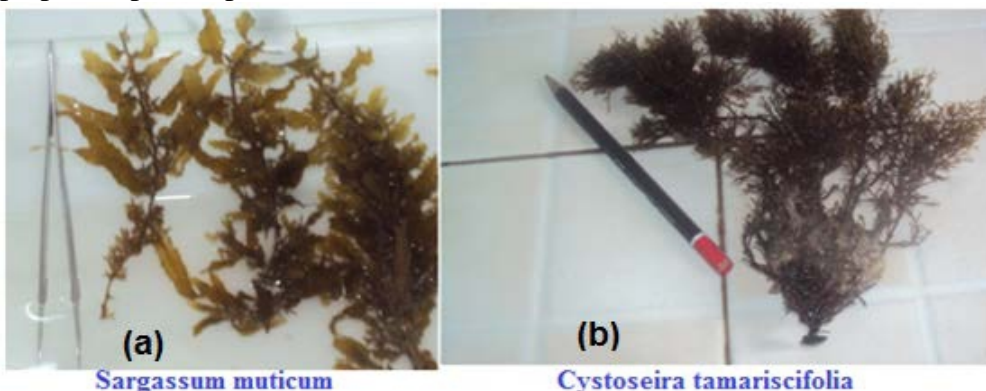


Figure 9: (a) *Sargassum muticum* et (b) *Cystoseira tamariscifolia* (photo prise par l'auteur)

Analyses de filtrates par Inductively Coupled Plasma (ICP)

a) Détermination de l'effet de la concentration en métal :

La concentration en ions métalliques est un paramètre important dans l'élimination de toutes les résistances de transfert de métaux entre la phase aqueuse et la phase solide [Malkoc et al., 2003]. Des masses de 1g des supports d'algues ont été mises en contact avec des solutions d'Aluminium à des concentrations croissantes (50, 100, 150, et 200 ppm); pour but de déterminer la charge maximale du support algal en métal. Le système est maintenu sous agitation pendant 180 min, les solutions sont ensuite filtrées, et analysées par ICP (Inductively Coupled Plasma). Le spectromètre d'émission utilisé est de type Jobin Yvon Ultima 2 et le pourcentage de biosorption est donné par la relation suivante :

$$P = (C_i - C_f) \times 100 / C_i$$

- C_i : la concentration initiale du métal dans la solution aqueuse.
- C_f : la concentration du métal, à l'équilibre d'extraction, dans la solution surnageant.

b) Mesure de la masse optimale des supports :

L'augmentation des masses de biosorbant implique l'augmentation de la surface de contact entre le matériel utilisé et la solution à traiter [Ho et al., 2003]; [Malkoc et al., 2003]; [Nuhoglu et al., 2003]; [Martin-Dupont et al., 2002]; [Prasad et al., 2000]; [Holan et al., 1995] Cependant, cette dernière peut diminuer suite à l'agrégation des broyats entraînant ainsi une régression de l'aire du contact. Ceci est confirmé par les travaux de [Sari et al., 2008] ; [El – Sikaily et al., 2007]. Pour déterminer la quantité minimale du support algal de *S. muticum* et *C. tamariscifolia* capable d'épurer un volume donné d'eau usée, nous avons placé dans un volume de 70 ml de solution Aluminium 100 ppm des masses croissantes des supports d'algues (0.5, 1, 1.5, et 2 g). Chaque système a été maintenu sous agitation pendant 180 min, ensuite, les solutions ont été filtrées et analysées par ICP.

c) Détermination du temps d'équilibre entre la phase aqueuse et la matrice algale :

Une masse de 1g des broyats d'algues a été mise en contact de 70 ml de la solution synthétique d'Aluminium = 100 ppm. Des prélèvements ont été effectués au cours du temps à 30 min d'intervalle, de 150 min jusqu'à 240 min. L'analyse de ces échantillons par ICP a pour fin de rechercher le temps au bout duquel, le biomatériau s'équilibre avec la solution aqueuse.

d) Etude du pH optimum :

Le pH de la solution est un facteur important qui influence la biosorption des ions métalliques [Davis et al., 2003]; [Figueira et al., 2002]; [Chen et al., 1999]; [Matheickal et al.,1996].

Les espèces algales contiennent des groupements amines, alcools, sulfates et carboxyles [Smith et al., 2002] ce qui suggère que le processus de biosorption peut être largement affecté par le changement du PH. L'étude du pH optimum a été menée dans un intervalle allant de 2 à 6. Le pH des solutions a été ajusté en utilisant HCl et NaOH à 1M. Pour ce faire, une masse de 1g des broyats a été mise en contact de 70 ml de la solution métallique d'Aluminium = 100 ppm, le système est maintenu sous agitation pendant 180 min, les solutions sont ensuite filtrées, et analysées par ICP.

Analyses de broyats

a) Analyse microstructure :

L'analyse microscope électronique à balayage est une technique efficace permettant l'étude des surfaces et de la morphologie des échantillons,

Les échantillons d'algues ont été analysés par microscope électronique à balayage Quanta 200. Cette étude a été réalisée pour les broyats de *S. muticum* et *C. tamariscifolia* en présence et en absence de la solution métallique (voir figures 9 ; 10). Cette microanalyse a été faite dans le but de révéler la présence du métal au niveau des deux supports.

b) Spectrométrie Fluorescence X :

La spectrométrie de fluorescence X est une technique d'analyse multi-élémentaire non destructive. Cette méthode permet de déterminer avec précision la composition chimique globale d'un échantillon en éléments majeurs (en %) et en éléments traces (jusqu'à $\mu\text{g/g}$ -1). L'analyse Fluorescence X offre la possibilité de déterminer les éléments contenus dans ces échantillons et de calculer leurs concentrations (voir tableaux 1; 2, 3, 4).

Appareil utilisé est la Spectromètre en dispersion de longueur d'ondes – Type Axios, Méthode de préparation Pastille (PROT-ELE03-v01).

Les échantillons d'algues ont été analysés par Fluorescence X. Cette étude a été réalisée pour les broyats de *S. muticum* et *C. tamariscifolia* en présence et en absence de la solution métallique.

c) Infrarouge (IRTF):

L'efficacité du traitement de la solution est liée au nombre des sites présents au niveau du broyat, leur accessibilité et leur affinité vis-à-vis de l'espèce métallique à éliminer.

L'analyse des broyats d'algues par Spectroscopie Infrarouge a pour but de révéler la présence des groupements fonctionnels caractéristiques susceptibles de fixer les espèces métalliques.

Les spectres Infrarouge ont été réalisés par le biais d'un spectrophotomètre AVATAR 360 Thermo Nicolet sur une gamme de fréquences comprises entre 400 et 4000 cm^{-1} .

Résultats

Effet de la concentration métallique

La figure 3 illustre les variations des rendements d'extraction d'Aluminium en fonction de sa concentration initiale par les broyats de *S. muticum* et *C. tamariscifolia*. Celles-ci montrent que l'adsorption diminue au fur et à mesure que la concentration d'Aluminium augmente. Le pourcentage de biosorption passe de 92,12 % à 34,775 % pour *S. muticum* et de 52,68 % à 26,445 % pour *C. tamariscifolia*. Ceci est probablement dû à la saturation des sites responsables de la rétention.

La même figure montre que *S. muticum* à une capacité de fixation très forte par rapport à *C. tamariscifolia*.

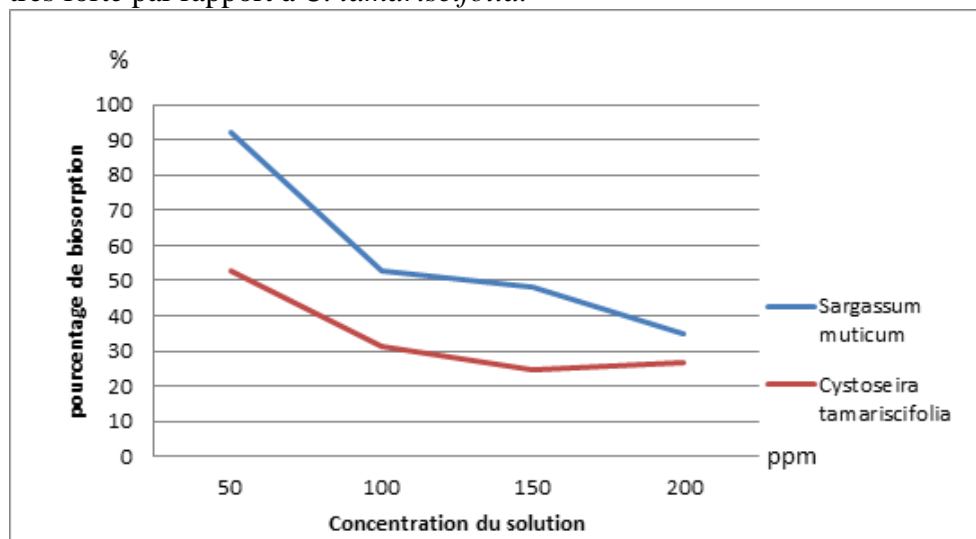


Figure 10: Saturation des Sargassum muticum et Cystoseira tamariscifolia par le Métal

Mesure de la masse optimale des supports :

La figure 4 montre que, pour les deux espèces, le meilleur rendement de rétention est obtenu en utilisant une masse de 2 g de broyat de l'algue. Pour *S. muticum* la capacité de biosorption est de l'ordre de 77,67 %, alors que pour *C. tamariscifolia*, la valeur est de l'ordre de 72,772 %. Et que le pourcentage de biosorption augmente parallèlement avec l'augmentation de la masse.

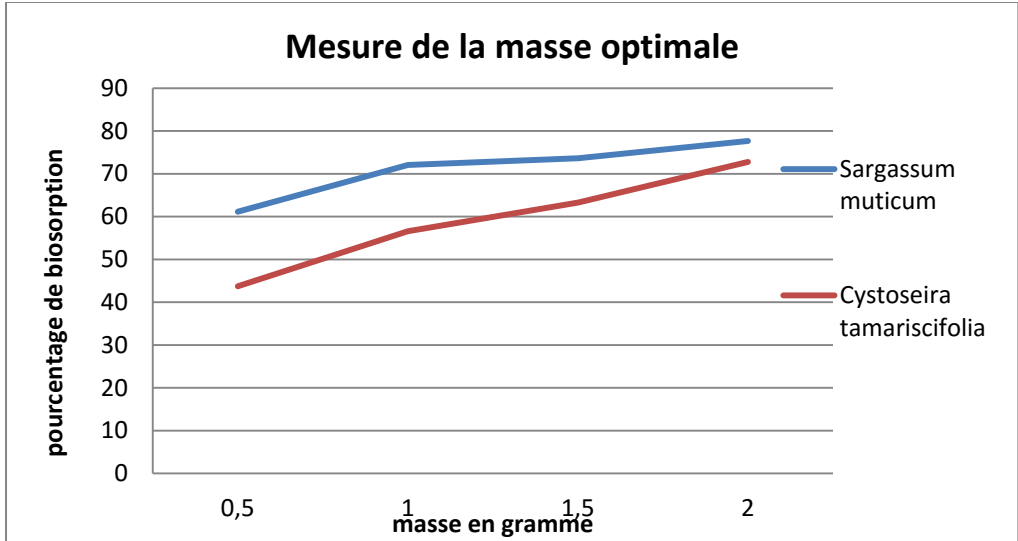


Figure 11 : Effet de la masse des supports de *Sargassum muticum* et *Cystoseira tamariscifolia* sur le rendement de biosorption

Détermination du temps d'équilibre entre la phase aqueuse et la matrice algale :

Le temps de contact est un paramètre important dans le processus de biosorption. La figure 5 illustre le pourcentage de biosorption de l' Al^{2+} en fonction du temps. D'après cette figure, nous constatons une diminution de concentration de la solution en métal en fonction du temps. Cependant un palier correspondant à l'équilibre de biosorption est atteint au bout de 240 min pour les deux espèces est noté. En outre, la figure montre que pour les deux espèces étudiées, plus de 90 % de la teneur du métal a été éliminé.

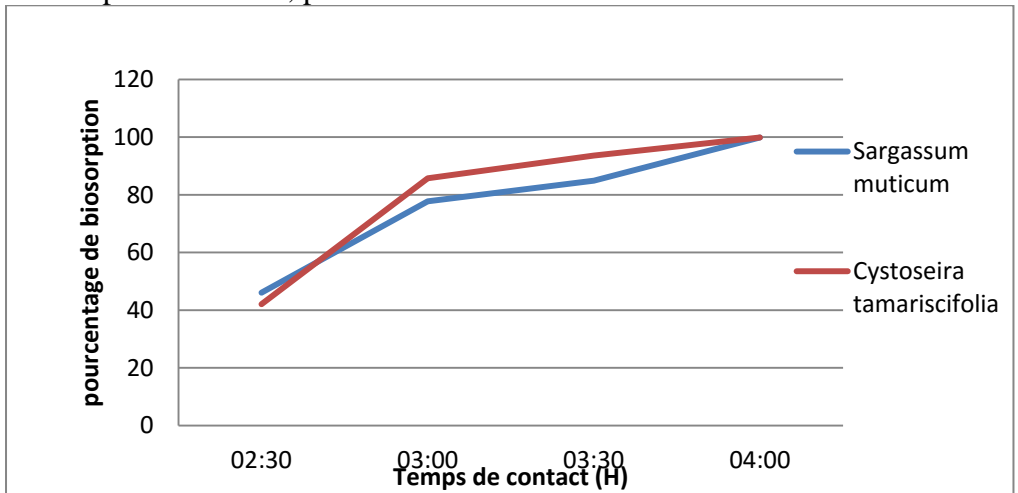


Figure 12 : Cinétique de biosorption du métal par les supports de *Sargassum muticum* et *Cystoseira tamariscifolia*

Effet du pH de la solution sur l'adsorption de l'Aluminium :

La figure 6 illustre l'effet du pH sur la biosorption des ions Al^{2+} par les broyats de la *S. muticum* et *C. tamariscifolia* dans un intervalle allant de 2 à 6. Les courbes obtenues sont composées de deux parties bien distinctes pour les deux espèces algales :

- La première située dans un intervalle de pH variant de 3 à 5 correspond à une augmentation progressive de la capacité de rétention en fonction de l'augmentation du pH ;

- La deuxième correspond à une phase de stabilisation du rendement d'extraction et qui commence à partir d'un pH=5.

Les deux espèces présentent donc, le même comportement vis-à-vis de la variation du pH avec un pourcentage d'adsorption qui peut atteindre 90 %.

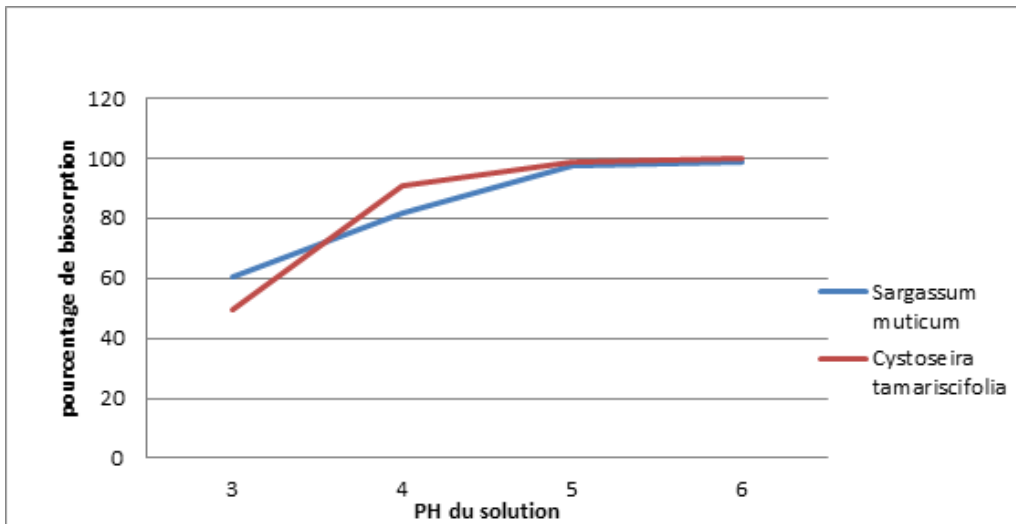
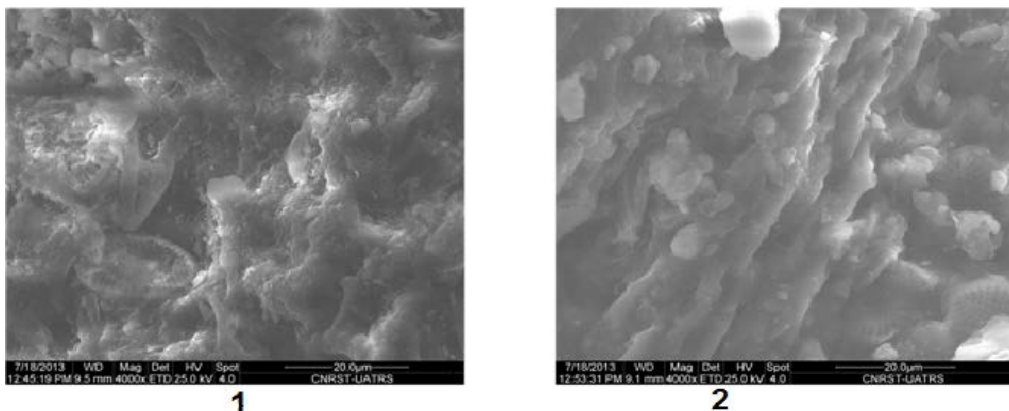


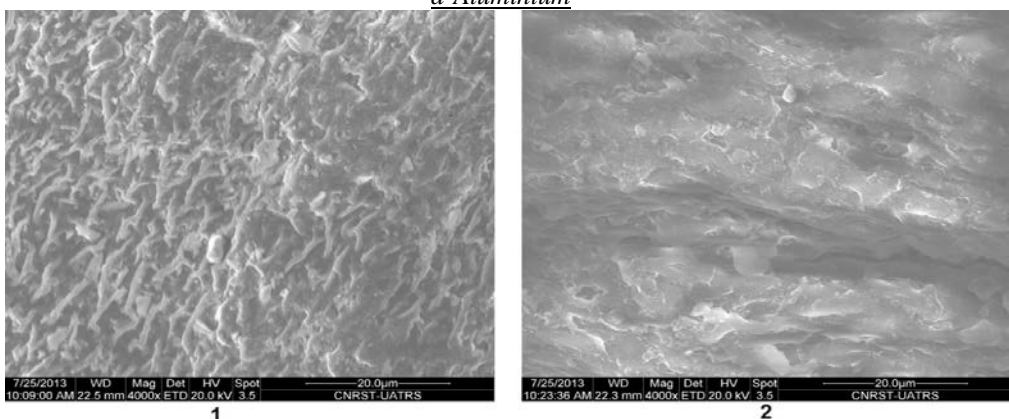
Figure 13: Effet du PH de la solution sur la biosorption du métal par Sargassum muticum et Cystoseira tamariscifolia

Analyse Microscope Électronique à Balayage (MEB)

Les figures 7 et 8 montrent que, pour les deux espèces, on obtient des structures poreuses qui paraissent distinctes, probablement à cause de la fixation du métal.



1 **2**
Figure 7 : Images par MEB de *S. muticum* avant et après mise en contact avec la solution d'Aluminium



1 **2**
Figure 8 : Images par MEB de *C. tamariscifolia* avant et après mise en contact avec la solution d'Aluminium

1: Avant mise en contact avec la solution d'Aluminium
2: Après mise en contact avec la solution d'Aluminium

Fluorescence X :

Pour les deux espèces d'algales étudiées, les résultats sont illustrés dans les Tableaux 1, 2, 3 et 4 qui sont réorganisé dans deux parties bien distinctes. La première partie représente les différents composés métalliques et le deuxième représente les différents éléments métalliques présents dans le broyat avant et après la mise en contact avec la solution d'aluminium.

Tableau 5: Résultats de Fluorescence X du broyat de Sargassum muticum (les composées métalliques)

	avant la mise en contact avec la solution d'Aluminium			après la mise en contact avec la solution d'Aluminium	
	Nom du Composé	Conc%		Nom du Composé	Conc%
	P.a.f	! 81,6		P.a.f	! 84,7
	K2O	4,72		SO3	3,23
	Cl	3,84		CaO	3,14
	SO3	3,04		K2O	2,77
	CaO	2,52		Cl	1,91
	SiO2	1,49		SiO2	1,69
	Fe2O3	0,846		Al2O3	0,601
	MgO	0,477		MgO	0,553
	Al2O3	0,428		P2O5	0,429
	P2O5	0,352		Fe2O3	0,367
	Na2O	0,251		Na2O	0,28
	SrO	0,179		SrO	0,196
	CuO	0,098		I	0,06
	I	0,0928		CuO	0,0322
	Br	0,0498		Br	0,0275
	MnO2	0,0414		MnO2	0,0213
	PbO	0,0105		TiO2	0,0162
	ZnO	0,00615		Somme	100
	Y	<<			
	Somme	100			

n.d : non détecté

! : Fixe

P.a.F. : Perte au feu

<< : inférieur au limite de détection

Tableau 6: Résultats de Fluorescence X du broyat de Sargassum muticum (les éléments métalliques)

	avant la mise en contact avec la solution d'Aluminium			après la mise en contact avec la solution d'Aluminium	
	Elément	Conc%		Elément	Conc%
	O	64,4		O	66,7
	C	22,3		C	23,1
	K	3,92		K	2,3
	Cl	3,84		Ca	2,24
	Ca	1,8		Cl	1,91
	S	1,22		S	1,29
	Si	0,696		Si	0,79
	Fe	0,592		Mg	0,333
	Mg	0,288		Al	0,318
	Al	0,227		Fe	0,257
	Na	0,186		Na	0,208
	P	0,154		P	0,187
	Sr	0,151		Sr	0,166
	I	0,0928		I	0,06
	Cu	0,0784		Br	0,0275
	Br	0,0498		Cu	0,0257
	Mn	0,0261		Mn	0,0135
	Pb	0,0098		Ti	0,0097
	Zn	0,00494			
	Y	<<			

Tableau 8: Résultats de Fluorescence X du broyat de *Cystoseira tamariscifolia* (les composées métalliques)

Tableau 7: Résultats de Fluorescence X du broyat de *Cystoseira tamariscifolia* (les éléments métalliques)

avant la mise en contact avec la solution d'Aluminium		après la mise en contact avec la solution d'Aluminium		avant la mise en contact avec la solution d'Aluminium		après la mise en contact avec la solution d'Aluminium	
Nom du Composé	Conc%	Nom du Composé	Conc%	Elément	Conc %	Elément	Conc %
P.a.f	! 82,6	P.a.f	! 84,1	O	64,6	O	66,3
K ₂ O	4,62	CaO	3,78	C	22,5	C	23
Cl	3,98	K ₂ O	2,91	Cl	3,98	Ca	2,7
CaO	2,77	SiO ₂	2,63	K	3,84	Ca	2,7
SO ₃	2,19	SO ₃	2,34	Ca	1,98	K	2,41
SiO ₂	1,88	Cl	2,02	Si	0,877	Cl	2,02
Fe ₂ O ₃	0,504	Al ₂ O ₃	0,508	S	0,877	Si	1,23
P ₂ O ₅	0,301	Fe ₂ O ₃	0,49	Fe	0,352	S	0,938
Al ₂ O ₃	0,299	P ₂ O ₅	0,324	Na	0,189	Fe	0,343
MgO	0,297	MgO	0,314	Mg	0,179	Al	0,269
Na ₂ O	0,255	SrO	0,244	Sr	0,176	Sr	0,206
SrO	0,208	Na ₂ O	0,204	Al	0,159	Mg	0,19
Br	0,0551	Br	0,0514	P	0,132	Na	0,151
CuO	0,0426	CuO	0,0276	Br	0,0551	P	0,141
I	0,0243	I	0,0241	Cu	0,034	Br	0,0514
NiO	0,0166			I	0,0243		
ZnO	0,00775			Ni	0,013		
Y	<<			Zn	0,0062 ₂		
Somme	100	Somme	100	Y	<<	I	0,0241
						Cu	0,022

n.d : non détecté ! : Fixe P.a.F. : Perte au feu << : inférieur au limite de détection

Analyse IRTF :

La présence des groupements fonctionnels au niveau des broyats d’algues constitue un élément clé dans la biosorption des métaux lourds. Ainsi, l’examen des spectres Infrarouges de *S. muticum* et *C. tamariscifolia* (fig. 9 et 10) met en évidence la présence d’une bande large entre 3000 et 3500 cm⁻¹. Cette zone correspond à l’absorbance des groupements carboxyles et alcools capables de fixer les métaux lourds.

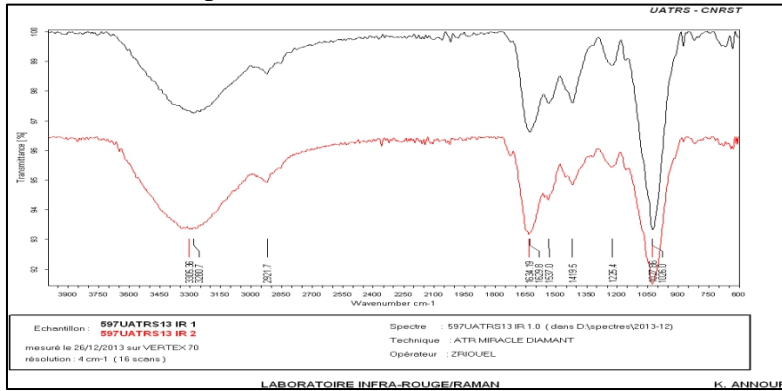


Figure 9: Spectre infrarouge du broyat de *Sargassum muticum* avant (—) et après (—) mise en contact avec la solution d’Aluminium

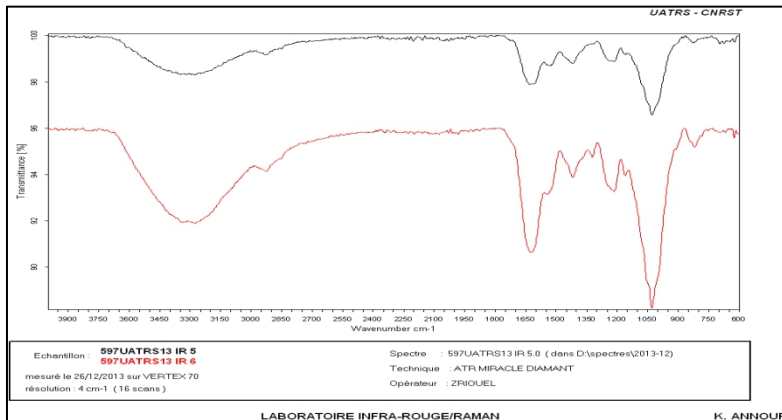


Figure 10: Spectre infrarouge du broyat de *Cystoseira tamariscifolia* avant (—) et après (—) mise en contact avec la solution d’Aluminium

Discussions

Cette étude a été suivie par Deux groupes des analyses (analyses des filtrats et analyses du broyats). L’analyse des filtrats par ICP a montré que :

- l’adsorption diminue au fur et à mesure que la concentration d’Aluminium augmente, figure 3. Ceci pourrait être dû à la saturation des sites responsables de fixation du métal même résultats à été obtenu par [El – Sikaily et al., 2007] qui explique la diminution du

pourcentage de ces groupements. Ce phénomène peut s'agir d'une biosorption.

- Le meilleur rendement de biosorption est obtenu par la masse la plus grande pour les deux espèces, figure4, car l'augmentation des masses de biosorbant implique l'augmentation de la surface de contact entre le matériau utilisé et la solution à traiter.
- Les sites actifs au niveau des broyats au cours du temps saturent, ce qui implique que la croissance du pourcentage de biosorption est stationnaire, figure5, Ces résultats sont confirmés par ceux signalés par [Sari et al., 2008] [El – Sikaily et al., 2007].
- Le pH optimal de fixation du métal pour les deux broyats d'algues est voisin de 5, pour les valeurs supérieures on observe une stabilisation figure 6. Le pH peut influencer l'ionisation de ces groupements chimiques présents au niveau des broyats. Ceci explique les différences de fixation selon le Ph.

Les analyses par l'Infrarouge (IR), microscopie électronique à balayage (MEB), et par la fluorescence faites sur les broyats pour confirmer les résultats obtenus.

Les résultats obtenus par le MEB Figure (7 et 8) sont différentes ceci est probablement due à l'adsorption du métal au niveau des broyats Car Nous illustrons sur les résultats de la fluorescence sur les broyats de *S. muticum* et *C. tamariscifolia* que La concentration d'aluminium est plus grande au niveau des broyats mise en contact avec la solution métallique Tableaux(1234).

Dans le but de vérifier ces résultats nous avons réalisés des analyses par IR sur les broyats en absence et en présence du métal et ceci dans des conditions optimales de Température, temps, PH, et concentration des broyats les spectres IR obtenus montrent que les bandes correspondantes des groupements OH et NH₂ est plus large en absence du métal, la fixation du métal est probablement en jeu ces groupements Figure (9 et10).

Conclusion

Ce travail avait pour objectif, la valorisation de deux algues marines brunes de la côte

Atlantique de Mauritanie : *Sargassum muticum* et *Cystoseira tamariscifolia*. Notre investigation comporte une application environnementale qui était axée par l'étude de biosorption d'Aluminium sur des matériaux préparés à partir des algues marines. Les résultats obtenus au cours de ces analyses de l'adsorption d'Aluminium avec les deux algues, montrent qu'on peut utiliser les supports bruts et activés de *Sargassum muticum* et *Cystoseira tamariscifolia* dans le traitement des eaux polluées. Il s'agit donc d'une nouvelle voie de valorisation de la biomasse algale du

Mauritanie tout en donnant de nouveaux produits et matériaux dans des domaines d'application variés. Enfin, au terme de ce travail, on peut dire que ces substances naturelles sont loin d'être totalement exploités et continueront, sans doute, à offrir d'autres applications environnementales plus intéressantes. A titre d'exemple les résultats très encourageants, obtenus par notre laboratoire dans ce domaine d'utilisation des algues, contre les dangers métalliques potentiels menacent la baie de l'étoile.

Remerciements

Je tiens à remercier :

- ✓ le Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST) à Rabat, pour sa collaboration au niveau des analyses MEB, ICP, IR, Fluorescence.
- ✓ L'Institut Mauritanien de Recherches Océanographiques et des Pêches (IMROP) pour sa collaboration au niveau des prélèvements, préparations et transportations des les échantillons.

Laboratoire : Botanique, biotechnologie et protection des plantes à l'Université Ibn Tofail - Kénitra Faculté des Sciences et son responsable Pr. Al

References:

- Davis. T. A., Volesky .B, Mucci. A, 2003: A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Res.* 37, 4311–4330.
- Tsui.M. T. K., Cheung.K. C., Tam.N.F.Y., Wong.M. H., 2006: A comparative study on metal sorption by brown seaweed. *Chemosphere* 65, 51–57.
- Smith.R.W., Lacher.C., 2002: Sorption of Hg (II) by *Potamogeton natans* dead biomass. *Miner. Eng.* 15, 187–191.
- Ho.Y.S., McKay.G. 2003: Sorption of dyes and copper ions onto adsorbents, *Process Biochem.* 38, 1047–1061.
- Malkoc.E., Nuhoglu. Y. 2003: The removal of chromium (VI) from synthetic wastewater by *Ulothrix zonata*, *Fresenius Environ. Bull.* 12, 376–381.
- Nuhoglu.Y, Oguz.E. 2003: Removal of copper (II) from aqueous solutions by adsorption on the cone biomass of *Thuja orientalis*, *Process Biochem.* 38, 1627– 1631.
- Martin-Dupont.F., Gloaguen.V., Granet.R., Guilloton.M, Morvan.H., Krauszi. P, 2002: Heavy metal adsorption by crude coniferous barks: a modeling study, *J. Environ. Sci. Health A* 37, 1063 1073.
- Prasad.M.N.V, Freitas. H. 2000: Removal of toxic metals from solution by leaf, stem and root phytomass of *Quercus ilex* L. (holly oak), *Environ. Pollut.* 110, 277–283.

- Holan.Z.R, Volesky. B. 1995: Accumulation of cadmium, lead and nickel by fungal and wood adsorbents, *Appl. Biochem. Biotechnol.* 53, 133–146.
- Matheickal.J.T, Yu.Q. 1996: Biosorption of lead from aqueous solutions by marine alga *Ecklonia radiata*, *Water Sci. Technol.* 34, 1–7.
- Smith.R.W, Lacher.C. 2002: Sorption of Hg (II) by *Potamogeton natans* dead biomass. *Miner. Eng.* 15, 187–191.
- Sari.A, Tuzen.M. 2008: Biosorption of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution using green alga (*Ulva lactuca*) biomass. *Journal of Hazardous Materials* 152, 302–308.
- El – Sikaily. A, El Nemr.A, Khaled A, Abdelwehab.O. 2007: Removal of toxic chromium from wastewater using green alga *Ulva lactuca* and its activated carbon. *Journal of Hazardous Materials* 148, 216 – 228.
- Chen.J.P, Hong.L.A, Wu.S.N, Wang.L, L. 2002: Elucidation of interactions between metal ions and Ca alginate-based ion-exchange resin by spectroscopic analysis and modeling simulation. *Langmuir.* 18, 9413–9421.
- Figueira.M.M, Volesky.B, Mathieu.H.J. 1999: Instrumental analysis study of iron species biosorption by *Sargassum* biomass. *Environ. Sci. Technol.* 33, 1840–1846.
- Viessman,W. Hammer.M.J, Perez.E.M, Chadik.P.A. 2008: “Water Supply and Pollution Control”, Edition Prentice Hall, 8th Edition, pp 864.
- Barbier.F, Duc.G, Petit-Ramel.M. 2000: Adsorption of lead and cadmium ions from aqueous solution to the montmorillonite:water interface, *Colloids Surf., A: Physicochem. Eng. Aspects* 166, 153–159.
- Volesky.B, in B. Volesky (Ed), 1990: *Biosorption and Biosorbents. Biosorption of Heavy Metals*, CRC Press, Boca Raton.
- Holan.Z.R, Volesky.B, Prasetyo.I.. 1993: Biosorption of cadmium by biomass of marine algae, *Biotechnol. Bioeng.* 41 , 819–825.
- Torresa.M.R, Sousaa.A.P.A, Silva Filhoa.E.A.T, Meloa.D.F, Feitosab.J.P.A, de Paulab.R.C.M, Limaa.M.G.S. 2007: “Extraction and physicochemical characterization of *Sargassum vulgare* alginate from Brazil”, *Carbohydrate Research*, Vol 342, pp 2067-2074.
- Kosovel.V, Avanzini.A, Scarcia.V, Furlani.A. 1988: “Algae as possible sources of antitumoural agents. Preliminary evaluation of the “in vitro” cytostatic activity of crude extracts”, *Pharmacological Research Communications*, Vol 20, pp 27-31.
- Sheng.P. X, Peng Ting.Y, Chen. P, and Hong. L. 2004: Sorption of lead, cooper, cadmium, zinc and nickel by marine algal biomass: Characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms. *Journal of colloid and Interface Science* 275, 131 – 141.
- Matheickal.J.T, Yu.Q. 1999: Biosorption of lead (II) and copper (II) from aqueous solutions by pre-treated biomass of Australian marine algae, *Bioresour. Technol.* 69, 223–229.

Murphy.V, Hughes.H, McLoughlin.P. 2008: Comparative study of chromium biosorption by red, green and brown seaweed biomass. *Chemosphere* 70, 1128 – 1134.

Ramelow G.J, Fralick.D, Zhao.Y. 1992: Factors affecting the uptake of aqueous metal ions by dried seaweed biomass, *Microbios* 72, 81–93.

Google earth, 2013 : Map of nouadhibou mauritanie, Disponible sur le site: <https://www.google.com/maps/@21.0216536,-17.0011775,2182m/data=!3m1!1e3>). Consulté le 15/07/2013.