

Variation saisonnière de la composition chimique de carraghénophyte, *Gymnogongrus patens* (J. Agardh) de la côte atlantique marocaine

Fatah EL OMARI* et Aziza MOURADI

Laboratoire de Biochimie, Biotechnologies et Environnement, Département de Biologie,
Université Ibn Tofail, BP 133 - 14000 Kénitra, Maroc

* Correspondance, courriel : elomari155@gmail.com

Résumé

Les compositions chimiques du carraghénophyte, *Gymnogongrus patens* ont été analysées sur des échantillons d'algues récoltées mensuellement pendant un cycle annuel, d'avril 2002 à mars 2003, sur la plage de Méhdia (Nord ouest de la côte atlantique marocaine). L'analyse de la composition chimique des thalles montre que la teneur en matière sèche (MS), en carraghénanes, en azote total et en cendres présente des variations saisonnières. La teneur moyenne en matière sèche est de 19,7% de la matière fraîche du thalle. Ainsi, celle-ci varie de 16% en automne-hiver à 22,5% en période printanière et estivale. L'étude de la production des carraghénanes par *Gymnogongrus patens* montre que les meilleurs rendements sont obtenus en été (30,2 % en août), les plus faibles en hiver (8,4% en janvier). Ceci montre que la meilleure période de récolte de l'espèce en vue de son exploitation est l'été. Les teneurs en azote total sont comprises entre un maximum noté en février (3,61% MS) et un minimum enregistré en août (2,57 % MS). Les taux moyens en cendres sont légèrement élevés, ils sont de l'ordre de 35% MS. Le maximum est obtenu en janvier (46,34% MS) et le minimum pendant le mois de septembre (28,77% MS). L'analyse des taux en cendres au cours de l'année montre que cette espèce est capable d'accumuler des concentrations élevées en sels minéraux et peut donc être utilisées pour l'épuration des eaux.

Mots-clés : *gymnogongrus patens*, composition chimique, carraghénanes, azote total, cendres, Maroc.

Abstract

Seasonal variation in the Chemical composition of *Gymnogongrus patens* Agardh on Moroccan Atlantic coast

The chemical composition of *Gymnogongrus patens* J. Agardh (Rhodophyta, Phylloporacea) has been analyzed on samples collected monthly on a one year cycle from April 2002 to March 2003 on Méhdia beach (North west Atlantic coast of Morocco). The analysis of chemical composition of thallus shows that the content of dry matter, of carrageenan, of nitrogen and of ash present also a seasonal variations. The study of carrageenan production from *Gymnogongrus patens* shows that the best yields were obtained in summer (30,2% in August) and the lowest ones in winter (8,4% in January). This shows that the best period of harvest of this species in order to its exploitation is a summer. The contents of total nitrogen are between a maximum in February (3,62%) and a minimum registered in August (2,57%). The medium rates of ash are higher little bit, they arrived to 35 %. The maximum is observed in January (46.34 % MS) and the minimum during September (28,77 % MS).

This important variation of ash rates during a year show that this species can accumulate high concentrations of minerals salt, therefore it can be used like an also for the epurification of waters.

Keywords : *gymnogongrus patens*, *chimical composition*, *carrageenans*, *nitrogen*, *ash*, *Morocco*.

1. Introduction

L'influence saisonnière de facteurs environnementaux est importante sur les métabolismes des algues en particulier celui des glucides, des protéines et des pigments photogénérés [1-3]. L'extraction des phycocolloïdes (alginates, agar-agar, carraghenanes) constitue un important créneau pour l'exploitation des algues marines à l'échelle mondiale. Les carraghenanes sont des polysaccharides très sulfatés extraits de la paroi cellulaire de la majorité des Gigartinales, leur teneur oscille autour de 25 à 70% du poids sec des algues, et varie notablement avec l'espèce, la saison, la phase de croissance, le lieu de récolte et la technique d'extraction utilisée [4-5]. Ces phycocolloïdes possèdent une valeur commerciale importante. En effet ils sont utilisés comme gélifiants, épaississants ou émulsifiants dans l'industrie agroalimentaire, médicale, pharmaceutique, cosmétique, textile, ... Environ 15 structures idéales des carraghenanes ont été définies par des lettres Grec, les plus utilisées industriellement sont les kappas, iota, lambda carraghenanes [6]. Le développement actuel de nouvelles applications biotechnologiques est à l'origine de l'augmentation mondiale en production de carraghenanes, il est donc très important de bien structurer l'exploitation des ressources en carraghenophytes et de développer l'aquaculture, à l'image de ce qui passe en Extrême Orient.

Au Maroc, les côtes atlantiques (3000 Km) connaissent une grande diversité en espèces carraghenophytes dont la plupart sont non encore exploitées et méritent d'être valorisées afin d'augmenter la production et de développer l'industrie de phycocolloïde. Le genre *Gigartina* est le carraghenophyte le plus exploité au Maroc [7-8]. L'espèce *Gymnogongrus patens* présente un polysaccharide industriellement intéressante : les carraghenanes kappa et iota, très demandés dans l'industrie laitière en particulier, ceci selon le cycle de développement de l'algue [9-11]. L'extraction des carraghenanes à partir de cette algue a fait l'objet des travaux dans le but d'explorer les ressources algales marocaines. Afin de mieux valoriser l'algue *Gymnogongrus patens*, exporté à l'état brut, et qui présente une large distribution sur le littoral atlantique marocain, ce travail a pour objectif l'analyse de la composition chimique (carraghenanes, matière sèche, azote total, cendres) de l'espèce en milieu naturel, durant un cycle annuel, afin de déterminer l'effet des facteurs environnementaux sur la synthèse biochimique, et de déterminer les relations qui existent entre les composantes chimiques étudiées.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation du matériel biologique

Le matériel biologique étudié est la rhodophycée *Gymnogongrus patens*. Elle appartient à l'ordre des Gigartinales (famille de Phylloporacées). Le thalle de consistance coriacée ou rigide, de couleur rouge sombre ou foncé. Sa taille peut atteindre 15cm (**Figure 1 A et B**). *Gymnogongrus patens* est une espèce pérennante, abondante sur les rochers en milieu battu au niveau de la zone littorale inférieure [12]. Cette algue est présente en Atlantique Nord, sur tout le littoral marocain [13, 14].

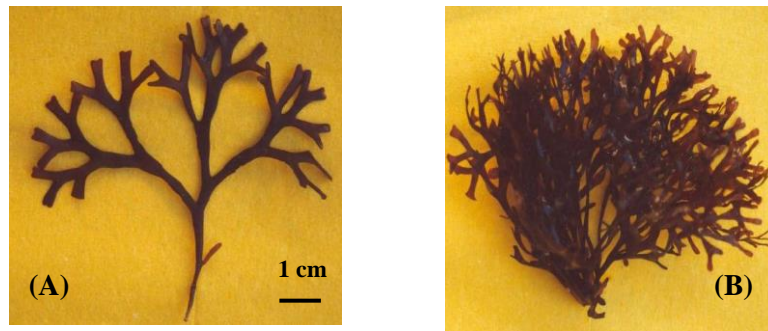


Figure 1 : Morphologie de *Gymnogongrus patens* récoltée à la plage de Méhdia. (A) : Morphologie externe; (B) : Touffes de l'algue

2-2. Présentation du site de récolte

L'échantillonnage de *Gymnogongrus patens* a été effectué sur les enrochements de la plage de Méhdia située sur le littoral de la région du Gharb, qui constitue un des secteurs côtiers du Maroc riches en ressources algales. La plage de Méhdia se situe entre les parallèles 34° et 35°, soit à 10Km à l'Ouest de Kénitra et à 35Km au Nord de Rabat, sur la rive gauche de l'oued Sebou (Figure 2).

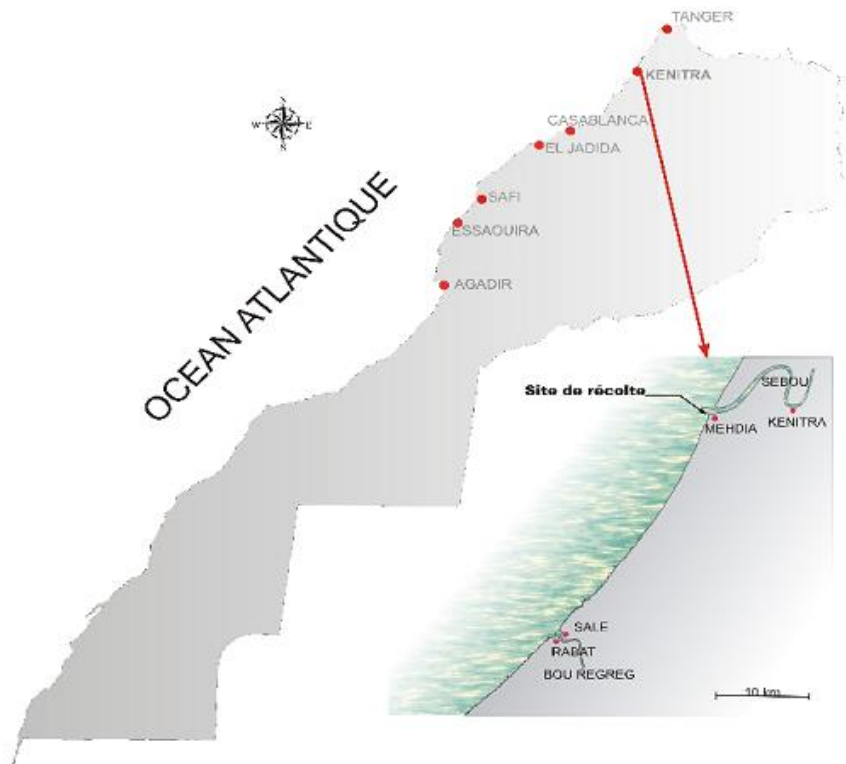


Figure 2 : Situation géographique de la station de récolte

2-3. Prélèvement et préparation des échantillons

Les prélèvements des échantillons ont été effectués mensuellement à marée basse. Les algues recueillies ont été débarrassées de leur épiphytes et des débris adhérent à leur thalles, rincées sur palace à leur de mer filtrée puis placées dans des sacs en plastique.

À leur arrivée au laboratoire, les algues sont à nouveau rincées à l'eau distillée et séchées à 60 °C pendant 48h, afin de déterminer le poids sec. Les échantillons sont ensuite broyés pour obtenir une poudre fine qui sera utilisée pour l'extraction des carraghénanes, dosage de l'azote total et la détermination des cendres.

2-4. Extraction des carraghénanes

L'extraction des carraghénanes a été réalisée selon la méthode décrite par Craigie et Leigh [15] : 10 g d'algues sèches sont hydratées dans 500 mL d'eau distillée pendant une nuit à température ambiante sous agitation. Les algues sont ensuite dépigmentées dans l'acétone pendant 2h sous agitation. Ces traitements permettent d'éliminer les produits hydrosolubles et les produits organosolubles. Le carraghénane est ensuite extrait à 90°C pendant 5h dans 500mL d'eau distillée. La solution est purifiée par une série de filtration (0,45µm). Le jus obtenu est concentré par rotavapeur, précipité dans trois volumes d'isopropanol. Le coagulum formé est récupéré par filtration sur une toile de nylon. Le précipité obtenu est séché dans l'étuve à 60°C pendant 48 h et pesé afin de déterminer le rendement en carraghénanes selon la relation suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{\text{Poids de carraghénanes}}{\text{Poids d'algue sèche}} \times 100 \quad (1)$$

2-5. Dosage de l'azote total et estimation de la concentration en protéines

Le dosage de l'azote total a été réalisé par la méthode de Kjeldahl. Cette méthode d'analyse consiste en une minéralisation des différentes formes d'azote contenues au niveau du tissu algal jusqu'à réduction sous formes NH_4^+ , en présence d' H_2SO_4 et des réducteurs métalliques. 500mg de la poudre d'algue sont placés dans les matras à digestion. Les échantillons sont soumis à une digestion acide à chaud en présence d'une solution de H_2SO_4 (12mL), et une pincée de catalyseur (acide salicylique (2,5%), thiosulfate de sodium et sélénium). la température de digestion est de 395°C. La détermination de la teneur en azote total se réalise après trois étapes : Digestion, distillation et titration, selon la relation suivante :

$$1\text{mL HCL (0.2N)} = 2,803 \text{ mg NH}_3 \quad (2)$$

La concentration en protéines est déterminée en multipliant la teneur en azote total par le coefficient classique d'Atwater : 6,25.

2-6. Détermination des cendres

La méthode consiste à récupérer les matières minérales en éliminant les matières organiques de l'algue. Au cours de cette étude, la détermination des cendres a été faite par minéralisation physique en utilisant un four à moufle à 600°C pendant 6 heures, selon la méthode décrite en 1978 par Larsen [16].

2-7- Analyse de corrélation

Une analyse de régression a été réalisée afin d'étudier les corrélations qui peuvent exister entre les composantes chimiques de *Gymnogongrus patens* à savoir la matière sèche ; carraghénanes et cendres.

2-8- Analyse physicochimique de l'eau de mer

La température de l'eau de mer a été mesurée, in situ à l'aide d'un thermomètre à mercure gradué au 1/10°C à 10 cm de profondeur. La salinité a été déterminée à l'aide d'un réfractomètre portatif.

Une courbe d'étalonnage permet d'obtenir directement la salinité en fonction de l'indice de réfraction et de la température. Les nitrates (NO_3^{2-}) sont réduits quantitativement en nitrites par voie chimique en utilisant le sulfate d'hydrazine [17]. Les nitrites ainsi formés sont dosés par la méthode classique au sulfanilamide/dichlorohydrate [18]. Les phosphates (PO_4^{3-}) sont dosés par la méthode de Stephens [19], qui est une extension de celle décrite par Murphy et Riley [20]. Elle est très sensible et particulièrement adaptée pour mesurer les faibles concentrations en phosphates.

3. Résultats

3-1. Analyse physicochimique de l'eau de mer

3-1-1. Température

Les variations mensuelles de la température de surface au niveau de la plage de Méhdia entre avril 2002 et mars 2003 montrent deux périodes distinctes (**Figure 3**) : Une période froide s'étalant de novembre à mars : avec une moyenne de 16°C et une température minimale de 15°C au mois de janvier. Une période chaude d'avril à octobre, avec une augmentation progressive de la température, les mois d'août et de septembre sont les plus chauds (22°C).

3-1-2. Salinité

Au niveau de la station de Méhdia, la salinité est peu variable. Elle fluctue entre un minimum de 3,3% enregistré aux mois de janvier, mars et avril et un maximum de 3,7% noté aux mois d'août et septembre (**Figure 3**). Les variations de la salinité sont liées à l'apport d'eau douce par l'oued Sebou, ce qui explique sa diminution en hiver, période des pluies au Maroc.

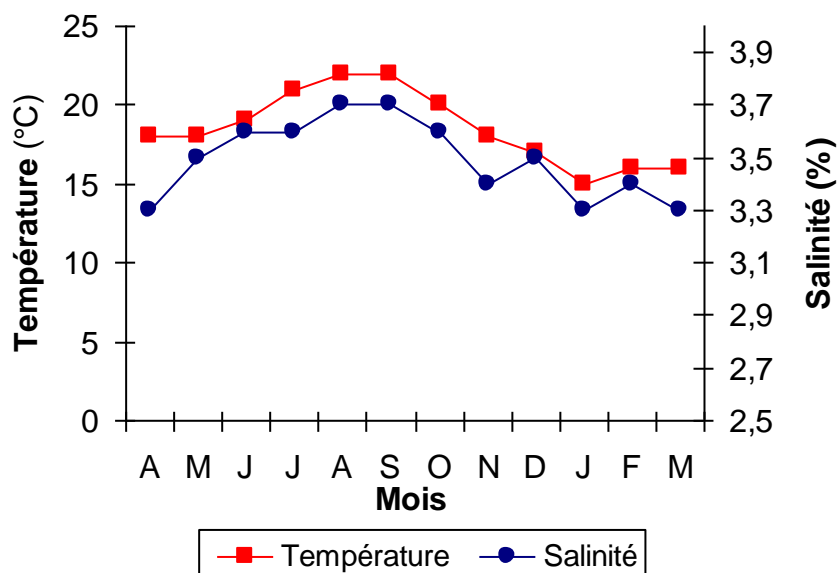


Figure 3 : Variation mensuelle de la température et de la salinité de l'eau de mer à la station de Méhdia (avril 2002 à mars 2003)

3-1-3. Nitrates

La **Figure 4** montre que le taux de nitrates varie entre un minimum de 1,41 mg. L⁻¹ enregistré en février et un maximum de 7,46 mg.L⁻¹ en mai.

3-1-4. Phosphates

Les teneurs en phosphates obtenues sont faibles (**Figure 4**). Elles varient entre un minimum de 0,33 µatgP L⁻¹ noté au mois de juin et un maximum de 2,33 µatgP L⁻¹ enregistré au mois de février. Les concentrations en nitrates et en phosphates montrent une variation mensuelle importante. Celle-ci est liée aux apports de l'oued Sebou.

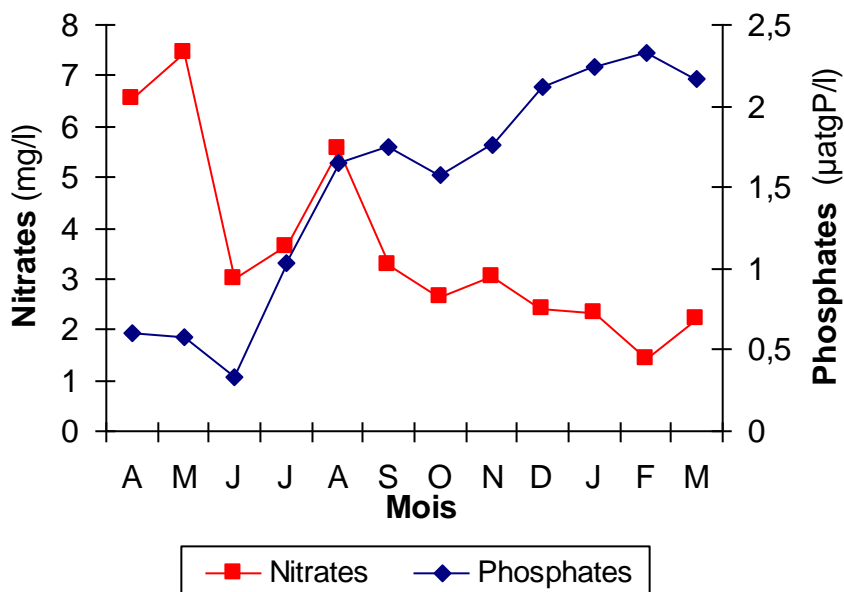


Figure 4 : Variation mensuelle de la concentration en nitrates et en phosphates de l'eau de mer de la station de Méhdia (avril 2002 à mars 2003)

3-2. Composition chimique du thalle de *Gymnogongrus patens*

3-2-1. Variations de la matière sèche

La teneur en matière sèche exprimée en pourcentage du poids frais des algues est représentée sur la **Figure 5**. Cette dernière montre que la teneur en matière sèche présente des fluctuations importantes au cours d'un cycle annuel, les teneurs les plus élevées sont enregistrées au printemps, avec un maximum de 22,5% en mai et en été avec un maximum de 21,4% en août. Ces mois correspondent aux périodes de forte croissance de l'algue. Les plus faibles teneurs sont enregistrées en automne (17,3% en décembre) et en hiver (16,9% en mars) et coïncident avec le ralentissement de la croissance [20].

3-2-2. Variations quantitative des carraghénanes

Le rendement en carraghénanes présente une variation annuelle très marquée (**Figure 5**). Il augmente depuis le mois d'avril jusqu'au mois d'août pour atteindre un maximum de 30,2% et diminue considérablement depuis ce mois jusqu'au mois de janvier pour atteindre un minimum de 8,4% ; il augmente à nouveau jusqu'au mois de mars.

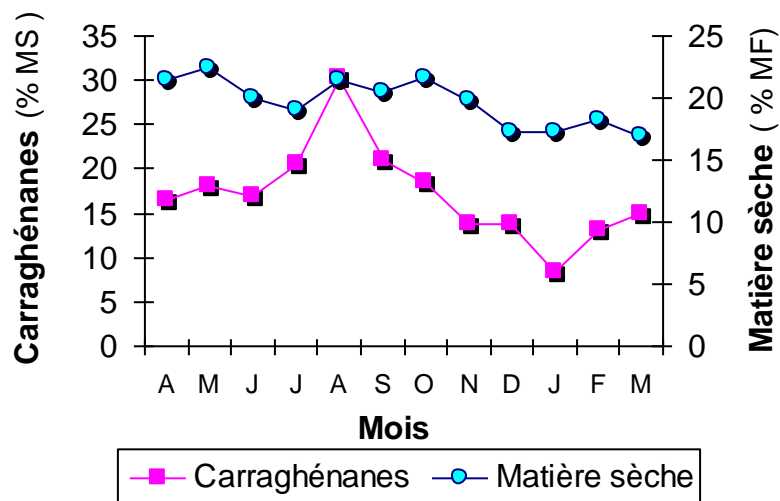


Figure 5 : Variation mensuelle de la teneur en matière sèche et en carraghénanes de *Gymnogongrus patens* récoltée à la station de Méhdia (avril 2002 à mars 2003)

3-2-3. Variations géographiques des carraghénanes

Afin de mieux contrôler les variations quantitatives des polysaccharides de *Gymnogongrus patens*, nous avons essayé de réaliser simultanément la récolte de l'algue (mars 2003) sur trois sites différents de la côte atlantique marocaine où l'espèce présente des gisements importants. Les teneurs en matière sèche et les rendements en carraghénanes sont relativement moins importants à la plage de Rabat, alors que dans le site d'Essaouira, le thalle de *Gymnogongrus patens* ne présente que des taux relativement faibles en particulier les rendements en carraghénanes par rapport à Méhdia (Figure 6).

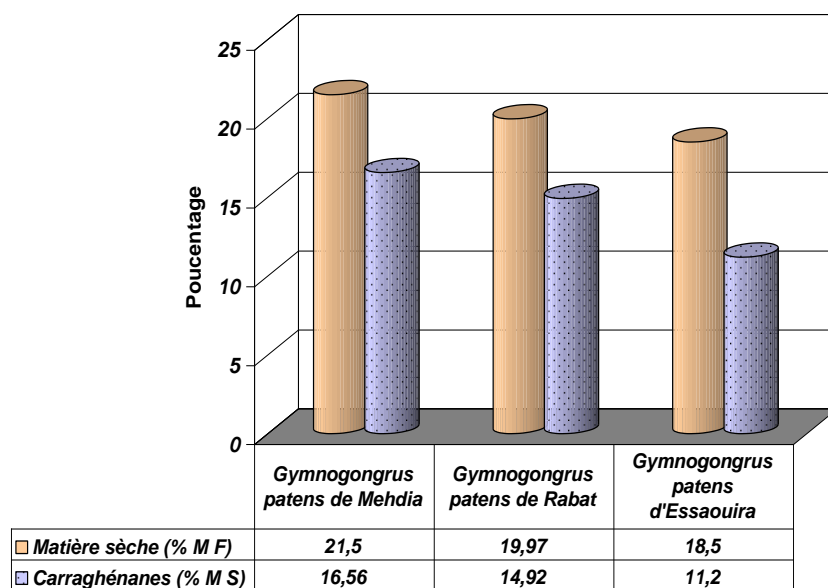


Figure 6 : Variation de matière sèche et du rendement en carraghénane extrait de *Gymnogongrus patens* dans trois localités différentes (mars 2003)

3-2-4. Variation de l'azote total et les protéines

Le taux moyen en azote total est de 3,11% MS, il varie entre un maximum au mois de février (3,62% MS) et un minimum au mois d'août (2,58% MS). La teneur moyenne en protéines est de 19,40% MS, elle atteint son maximum pendant la saison hivernale avec 22,59 % MS (février) et son minimum à la fin d'été avec 16,11% MS (août) (**Tableau 1**). Notons que la teneur en protéines est déterminée à partir de celle de l'azote total multiplié par le facteur de corrélation (6,25). De ce fait les protéines suivent la même évolution que celle de l'azote total. Généralement les valeurs enregistrées sont moyennement élevées.

Tableau 1 : Variation mensuelle de la teneur en azote total et en protéines du thalle de *Gymnogongrus patens*

Mois	Azote total en % MS	Protéines en % MS
Avril	3,307	20,669
Mai	3,251	20,319
Juin	2,971	18,569
Juillet	2,662	16,638
Août	2,578	16,113
Septembre	2,718	16,988
Octobre	3,307	20,669
Novembre	3,195	19,969
Décembre	3,167	19,794
Janvier	3,111	19,444
Février	3,615	22,594
Mars	3,363	21,019

3-2-5. Variation des cendres

Les résultats obtenus sur l'évolution annuelle des teneurs en cendres montrent une variation saisonnière au cours de l'année (**Figure 7**). Les teneurs les plus faibles sont enregistrées pendant la période de juillet à octobre avec un minimum de 28,77% MS en septembre, alors que les valeurs les plus élevées sont obtenues durant la période allant de novembre jusqu'à mars avec un maximum de 46,34% MS en janvier. L'analyse mensuelle des cendres révèle qu'elles évoluent de manière inverse avec la croissance de l'algue et la production des carraghénanes (**Figures 7 et 8**).

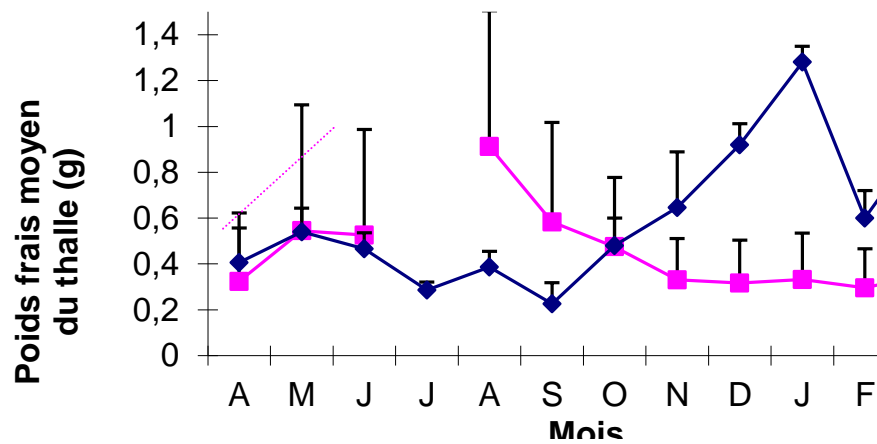


Figure 7 : Variation mensuelle du pourcentage en cendres (n = 3) et du poids du thalle (n=100), de *Gymnogongrus patens* récoltée à la station de Méhdia, durant un cycle annuel

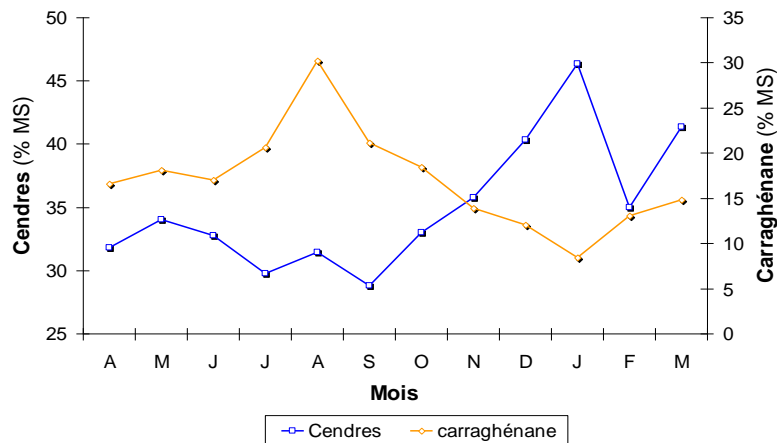


Figure 8 : Variation mensuelle de la teneur en cendres et du carraghénane de *Gymnogongrus patens* récoltée à la station de Méhdia, durant un cycle annuel

3-2-6. Corrélations entre les différentes composantes chimiques

Les résultats de l'analyse des corrélations entre les différentes composantes chimiques étudiées sont présentés dans le **Tableau 2**.

Tableau 2 : Diagramme de corrélation entre les différentes composantes chimiques de *Gymnogongrus patens* récoltée à la plage de Méhdia, durant la période d'avril 2002 à mars 2003

	Matière sèche	Carraghénanes	Cendres
Matière sèche	1	r = 0,61 (*)	r = -0,69 (*)
Carraghénane	-	1	r = -0,74 (**)
Cendres	-	-	1

(*), (**): Coefficients de corrélation respectivement significatifs à 5% et à 1%.

Les résultats obtenus révèlent des corrélations significatives entre les différentes composantes chimiques. Ainsi, une corrélation positive est notée entre le taux en matière sèche et le rendement en carraghénanes ($r = 0,61$). Par contre, le pourcentage des cendres montre une corrélation négative avec les teneurs en matière sèche et en carraghénanes (respectivement $r = -0,69$ et $r = -0,74$). La comparaison des teneurs en résidus minéraux avec celle en azote total et celle du rendement en carraghénanes de *Gymnogongrus patens* au cours d'un cycle annuel fait apparaître presque même évolution entre les cendres et l'azote total mais inverse entre ces deux paramètres et la croissance de l'espèce et la production en polysaccharides (**Figure 9**). D'avril à août il y a opposition de phase entre le taux de l'azote total et le rendement en carraghénanes. La valeur minimale de l'azote total coïncide avec le maximum de la production des polysaccharides. Même chose a notée pour la période s'étalant d'août à octobre mais avec la diminution de la production des carraghénanes et l'augmentation de l'azote au niveau du thalle. D'octobre à janvier, le rendement en carraghénane continue à diminuer avec une faible diminution de l'azote total. En février-mars l'azote total atteint son maximum. La figure 9 montre également, que la variation des pourcentages des cendres est en opposition de phase entre celle du contenu en carraghénanes et la croissance en poids. Nous notons en janvier que le minima des carraghénanes et le maxima des cendres coïncident.

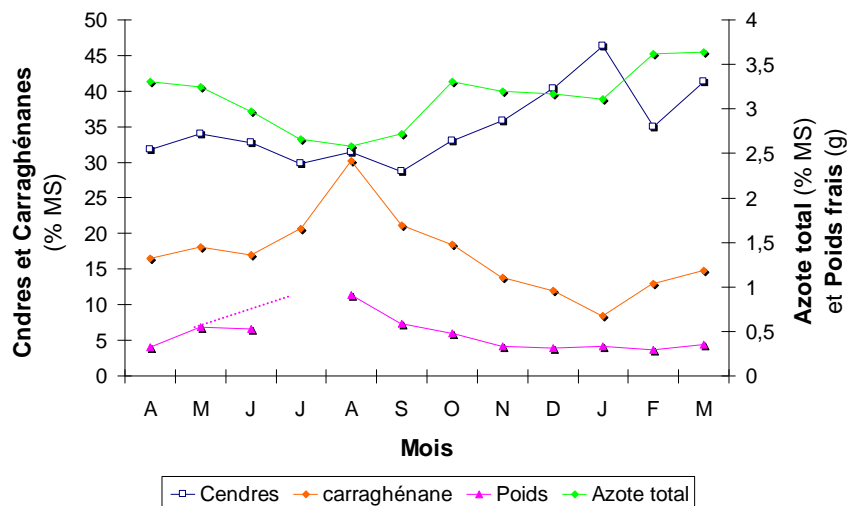


Figure 9 : Variation mensuelle du rendement en carraghénanes, du pourcentage en cendres, du teneur en azote total et le poids frais de *Gymnogongrus patens* récoltée à la station de Méhédia, durant un cycle annuel

4. Discussion

Pour mieux comprendre le métabolisme et la physiologie de *Gymnogongrus patens* au cours de son cycle de vie, il est nécessaire de suivre les variations de la composition chimique du thalle de l'espèce. Au cours cette étude, nous avons dégagé un certain nombre de tendances et de corrélations entre les paramètres biochimiques étudiés. L'analyse et l'interprétation des résultats obtenus pour l'évaluation de la biochimie de l'algue montrent que la matière sèche et les teneurs en carraghénanes évoluent presque dans le même sens. Nous constatons une chute de la teneur en carraghénanes à partir du mois d'octobre pour atteindre une faible valeur vers le mois de février, chute qui entraîne une baisse de la matière sèche. Les rendements en carraghénanes commencent à augmenter à partir de mai entraînant un accroissement de la matière sèche.

Ces variations permettent de comprendre les grandes tendances métaboliques de l'algue au cours de l'année : durant la saison estivale, l'algue accélère le métabolisme des polysaccharides, alors que pendant la période automnale-hivernale, qui coïncide avec la croissance stationnaire [12, 21], le métabolisme glucidique est réduit, marqué aussi par une diminution en matière sèche. La matière sèche et le rendement en carraghénanes produit par *Gymnogongrus patens* présentent une corrélation positive ($r = 0,61$). Des résultats identiques ont été retrouvés chez *Calliblepharis jubata* par [22]. Par contre, le taux des cendres montre une corrélation négative avec les teneurs en matière sèche et en carraghénanes (respectivement $r = -0,69$ et $r = -0,74$). Au cours de la synthèse des polysaccharides, l'algue puise dans ses réserves et les faibles teneurs en azote total dans le thalle pourraient expliquer ce phénomène. Par ailleurs la production de polysaccharides et la teneur en azote total dans le thalle de l'espèce évoluent en sens inverse, ceci a été mentionné par plusieurs auteurs. Nos résultats sont comparables de ceux obtenus chez les algues agarophytes telles que *Gracilaria multipartita* [23], *Gelidium sesquipedale* [24] et *Gracilaria cervicornis* [25] et chez les algues carraghénophytes telles que *Gigartina teedii* [26], *Calliblepharis jubata* [22, 27] et *Hypnea musciformis* [28]. Au contraire, selon Breden *et al.* (1994) [29], il y aurait absence de corrélations entre l'évolution de l'azote et donc les protéines et celle des carraghénanes. Ce phénomène controversé semble être lié à la spécificité de chaque espèce ou à l'effet non déterminé des facteurs environnementaux [30].

L'analyse mensuelle des teneurs en azote total révèle également qu'elles évoluent de manière inverse avec la croissance de l'algue [12, 21]. Des résultats similaires ont été trouvés chez plusieurs espèces telles que *Calliblepharis jubata* [21, 26], *Hypnea musciformis* [28], *Gigartina teedii* (Zinoun, 1993), *Gelidium latifolium* [31-32], *Gracilaria gracilis* et *Gracilaria dura* [33]. Les teneurs en azote total présentent des variations mensuelles comprises entre 2,58 à 3,62% MS. Ces valeurs sont comparables à celles trouvées pour d'autres espèces récoltées au Maroc; ainsi chez *Gracilaria multipartita*, la variation est de 1,9 à 3,7% MS [23], chez *Hypnea musciformis*, elle est de 1,92 à 3,88% MS [28], chez *Gracilaria dura*, elle est de 2,52 à 4,12%MS [34] et pour *Gracilaria cervicornis* de Brazil, la variation est de 2,28 à 3,63% [25]. Cependant, Reani (1998) [30] a obtenu des taux plus élevés de l'azote total dans le thalle de *Cystoclonium purpureum*. Notons que cette évolution d'azote total suit un rythme saisonnier dont les valeurs les plus élevées sont rencontrées en hiver et au printemps et les plus faibles sont obtenus en été et en automne. Les protéines contenues dans le thalle de *Gymnogongrus patens* présentent également des variations saisonnières avec des taux plus élevées en saison hivernale (22,59%MS en février) et plus faibles en saison estivale (16,11%MS en août).

Ces résultats sont comparables à ceux trouvés par Rosenberg et Ramsus (1982) [34] sur *Gracilaria foliifera*, Penniman (1983) [35] sur *Gracilaria tikvahiae*, Zinoun et Cosson (1996) [22] sur *Calliblepharis jubata*, Fleurence *et al.* (2001) [36] sur *Gracilaria verrucosa* et Mariano-Soriano *et al.* (2005) [25] sur *Gracilaria cervicornis*. Ces auteurs ont signalé une corrélation négative entre la teneur en protéines, la température et la salinité de l'eau. Selon Haas et Hill (1993) [37], la teneur en azote total ou des protéines chez les algues est intimement liée aux conditions de leur environnement. En effet, lorsque la teneur en azote devient limitante dans le milieu, il en résulte une réduction d'enzymes impliquées dans le métabolisme de l'azote (nitrate réductase, glutamate synthétase), une réduction de la teneur en pigments ainsi que les stocks d'acides aminés libres et d'azote tissulaire. L'algue utilise les stocks de protéines pour survivre pendant cette période de faible disponibilité en azote [38]. La teneur en azote serait donc liée à la croissance et aux apports du milieu en éléments nutritifs. En outre, les travaux de Stadler (1984) [39] montrent que le taux d'azote total diminue au niveau des algues pendant leur forte croissance; période qui coïncide pour l'espèce *Gymnogongrus patens* avec la saison estivale où les concentrations des pigments photosynthétique sont faibles [12, 40]. Zavodnik (1973ab) [41,42] a signalé chez *Hypnea musciformis* et *Fucus virosides*, que la teneur en pigments est corrélée avec le niveau des protéines dans le thalle.

Les teneurs en cendres trouvées dans les thalles de *Gymnogongrus patens* présentent aussi des variations mensuelles, elles varient de 28,77% MS noté en septembre à 46,34% MS noté en janvier. Ces résultats sont similaires à ceux rencontrés chez plusieurs espèces, telle que *Gracilaria vermiculata* dont la teneur en cendres est comprise entre 10,42% MS en octobre et 43,08% MS en janvier [43], *Gracilaria multipartita* dont les valeurs enregistrées varient de 28%MS (novembre) et 45%MS (septembre) [23] et *Gelidium sesquipedale* dont les teneurs varie entre 24,38%MS en avril et de 35,6%MS en décembre [24]. Le suivi du taux des cendres dans les thalles de *Gymnogongrus patens* au cours de l'année montre que l'espèce est caractérisée par un taux élevé de cendre. Des teneurs comparables ont été trouvées chez *Gracilaria tikvahiae* [44], *Hypnea musciformis* [28, 46] et *Grateloupia dorphyra*, *Gymnogongrus patens* [10]. Cependant, des teneurs plus faibles ont été obtenues chez *Gelidium latifolium* [31], chez *Gracilaria gracilis* et *Gracilaria dura* [33] et chez *Gracilaria cervicornis* [35]. Les teneurs élevées des cendres pourraient être liées à l'accumulation de grandes quantités de sels minéraux. Ce résultat permet d'envisager la valorisation de résidu d'extraction de l'espèce dans le domaine de l'agriculture comme fertilisant ou dans les systèmes d'épuration des eaux.

Notons, l'existence d'une relation négative au cours de l'année entre le taux de cendres et la vitesse de croissance et le rendement en carraghénanes. Donc la teneur en cendre représente un bon indice de croissance, puisqu'elle diminue avec l'augmentation de la lumière et de la croissance. Cette constatation a été relevée par Lapointe (1981) [46], indiquant que lorsque les conditions du milieu sont défavorables, notamment la lumière, l'algue accumule une grande quantité de résidus minéraux dans ses tissus. Les variations saisonnières de la teneur en minéraux dans les tissus algales agissent aussi sur le rendement en polysaccharides [47]. La biosynthèse des carraghénanes s'effectue donc aux dépens des réserves accumulées en phase de croissance. L'analyse mensuelle des cendres révèle qu'elles évoluent de manière inverse avec la croissance de l'algue et la production des carraghénanes. Ces résultats concordent avec ceux obtenus chez *Gymnogongrus griffithsiae* et *Grateloupia dorpyphora* [48], *Gracilaria multipartita* [23], *Hypnea musciformis* [28], *Gracilaria cervicornis* [25] et chez *Gracilaria gracilis* et *Gracilaria dura* [33]. Selon Lapointe et Ryther (1979) [49] et Penniman (1983) [35], la relation entre la teneur en minéraux et la croissance est controversée et semble à priori dépendre des espèces considérées.

Pendant le développement et la croissance de l'algue, le changement de comportement physiologique de l'espèce et l'influence des facteurs physico-chimiques du milieu semblent présenter un impact sur la variation de la composition chimique du thalle. Au cours de l'hiver et début d'automne, la diminution en matière sèche et le faible rendement en carraghénanes pourraient s'expliquer par l'enrichissement de l'algue en eau. Par ailleurs, durant la période estivale et printemps, nous observons une élévation du pourcentage de la matière sèche en relation avec l'accroissement du rendement en polysaccharides, ceci coïncide avec la période de fertilité maximale de l'espèce [12, 50]. Cependant, Neish *et al.* (1977) [51] et Zinoun et Cosson (1996) [22] ont établi une relation inverse entre la période de croissance active et la production des phycocolloïdes. L'élévation de la matière sèche et le rendement en carraghénanes pendant la phase de forte croissance semble en relation avec l'âge des thalles. Ces résultats ont été démontrés par Craigie *et al.* (1984) [52] pour *Gracilaria tikvahiae* et par Mouradi *et al.* (1992) [53] qui ont signalé de fortes teneurs en agar à partir des thalles âgés dans une population de *Gelidium latifolium*. L'augmentation de la production des polysaccharides en été pourrait être expliquée d'une part par l'augmentation de la luminosité et de la température comme cela a été signalé par certains auteurs [1, 48, 54] et d'autre part par la diminution de la quantité de l'azote total et des phycoblines [2, 54]. Les différences quantitatives en fonction de la localité géographique semblent liées à la nature du substrat, soit à un décalage dans le cycle de croissance de l'espèce ou encore à la variation des facteurs climatiques et hydrodynamiques entre les stations.

Nos résultats montrent que *Gymnogongrus patens* de Méhdia produit plus de polysaccharides que celui récolté dans la plage de Rabat et à la plage d'Essaouira. Cette différence s'explique par l'influence des conditions physico-chimiques du milieu particulièrement l'éclairement, la nature du substrat et l'enrichissement en élément minéraux sur la croissance de l'algue ainsi sur le rendement et la qualité des carraghénane [26]. En effet au niveau de la digue de Méhdia, le substrat est rocheux, l'espèce vit surtout enfouie en profondeur à l'étage médiolittoral inférieur. On note l'influence des apports de l'oued Sebou. La plage de Rabat est une plate-forme gréseuse de l'étage médiolittoral composé essentiellement de vasques peu profondes, avec un substrat de nature sableuse. L'espèce est souvent immergée à la surface de la plage, donc subit un degré important de dessiccation. Dans le site d'Essaouira, *Gymnogongrus patens* se trouve enfouie et prolifère sur un substrat sablo-rocheux, d'où l'impact des ces facteurs sur les phénomènes photosynthétiques.

5. Conclusion

Le suivi mensuel de la composition chimique de *Gymnogongrus patens* récoltée sur la plage de Méhdia montre que le métabolisme de l'espèce est orienté vers la production des carraghénanes en été où les conditions environnementales, température et intensité lumineuse sont élevées, alors qu'en hiver le métabolisme cellulaire est plutôt orienté vers une synthèse de protéines (azote total et phycobilliprotéines dans une moindre mesure au mois de janvier) et d'une accumulation de sels minéraux. L'algue est caractérisée par des teneurs élevées des cendres, ils sont de l'ordre de 35% par rapport à la MS. Ce résultat permet d'envisager la valorisation de résidu d'extraction de l'espèce dans le domaine de l'agriculture comme fertilisant ou dans les systèmes d'épuration des eaux. L'analyse de la production des carraghénanes par *Gymnogongrus patens* montre que les meilleurs rendements sont obtenus en été (30,2 % en août), les plus faibles en hiver (8,4% en janvier). Ceci montre que la meilleure période de récolte de l'espèce en vue de son exploitation est l'été.

Le suivi du taux de l'azote total et des cendres dans les thalles de *Gymnogongrus patens* au cours de l'année montre que l'espèce abrite une quantité importante de ces éléments durant la période automnale et hivernale. Par ailleurs pendant le printemps et l'été, l'espèce contient une faible teneur en azote et en cendres. La diminution des deux éléments au printemps et en été coïncide avec la période de croissance active et la production des carraghénanes. Les analyses biologiques et chimiques menés sur cette espèce montrent également, qu'au cours de l'année, les teneurs en cendres et en azote total sont inversement proportionnelles à la croissance et à la teneur en carraghénanes. Les variations géographiques des carraghénanes sont certainement liées à des conditions différentes de milieu, ayant une action sur le métabolisme général de l'algue que ce soit croissance ou synthèse de polysaccharides.

Références

- [1] - M. TORRES, F.N. XAVIER and P. ALGARRA. "Photosynthesis of *Gelidium sesquipedale*: effect of temperature and light on pigment concentration, C/N ration and cell-wall polysaccharides". *Hydrobiologia* 221 (1991) 77-82.
- [2] - A. REANI, J. COSSON, A. PARKER and D. ZAOUÏ. "Variation of Growth, Carrageenan content and Rheological Properties of *Cystoclonium purpureum* (Huds) Batters (Rhophyta, Cystocloniaceae) from the Calvados Coast (France)". *Bot. Mar.* Vol. 41 (1998b) pp. 383-387.

- [3] - N. KORBEE, F.L. FIGEROA, and J. AGUILERA. "Effect of light quality on the accumulation of photosynthetic pigments, proteins and mycosporine-like amino acids in the red alga *porphyra leucosita* (Bangiales, Rhodophyta)". Journal of photochemistry and photobiology B, Biology 80 (2005) 71-78.
- [4] - S. H. Knusten, e. Murano, m. D'a mato, r. Toffanin, r. Rizzo and s. Paoletti. "Modiffied procedures for extraction and anlysis of carrageenan applied to the red alga *Hypnea musciformis*". Journal of Applied Phycology 7 (1995) 565-576.
- [5] - M.F. LAI and C.Y. LII. "Effects of extractions conditions on structural rheological characterisation of agar from *Pterocladia capillacea* and carrageenan from *Grtolopia filicina*". Bot. Mar, 41(1998) 223-234.
- [6] - T. CHOPIN, G. SHARP, E. BELYEA, R. SEMPLE and D. JONES. "Open-water aquaculture of red alga *Chondrus crispus* in Prince Edward Island Canada". Hydrobiologia. 398/399 (1999)417-425.
- [7] - D. J. MCHUGH. "Worldwide distribution of commercial ressources of seaweeds including *Gelidium*". Hhdrobiologia. 221 (1991) 19-29.
- [8] - H. J. BIXLER. "Recent developments in manufacturing and marketing carrageenan Hydrobiologia". 326/327 (1996) 35-57.
- [9] - A. AMIMI. "Etude biochimique de l'algue carraghénophyte *Gigartina pistillata* (Gmelin) Stackhouse de la côte atlantique marocaine". Thèse de doctorat. Fac. Sci. Kenitra. (2002) pp 133.
- [10] - N. CHIADMI. "Biologie et biochimie de quelques carraghénophytes de la côte atlantique marocaine". Thèse de doctorat es Science naturelles (Doctorat d'état). Fac. Sci. Kenitra. (2001) pp 143.
- [11] - TH. GIVRNAUD. "Gestion et valorisation des ressources algales au Maroc". Thèse de Doctorat Es sciences. Fac. Sci. Kénitra, Maroc, (2007) 265p.
- [12] - F. EL OMARI. "Biologie et Biochimie de l'algue *Gymnogongrus patens* (J. Agardh) de la côte atlantique marocaine". Thèse de Doctorat Es sciences. Fac. Sci. Kénitra, Maroc, (2009) 155p.
- [13] - P. GAYRAL. "Les algues de la côte atlantique marocaine", Soc. SC. Nat. et Phys. du Maroc". Rabat. (1958) 527 p.
- [14] - S. BENNISSOUN, C. F. BOUDOURESQUE, M. PERRET-BOUDOURESQUE, and M. VERLAQUE, "A checklist of the seaweed of the Mediterranean and Atlantic coasts of Morocco". III — Rhodophyceae (excluding Gerzmiales)". Bot. Mar. 45 (2002) 391-412.
- [15] - J. S. Craigie and C. Leigh. "Carrageenans and agars. In Hellebust, J.A. & J.S. Craigie (eds), Handbook of physiological Methods". Cambridge University Press. (1978) 10-131.
- [16] - B. LARSEN. "Browen seaweed: analysis of ash, fiber, iodine and mannitol. In Hellebust, J. A. et Craigie, T. S. (eds), Handbook of phycological methods and boichimical methods". Cambridge University Press, Cambridge. (1978) 182-188.
- [17] - J. B. MULLIN and J. P. RILEY. "The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to seawater". Anal. Chim. Acta. 12 (1955) 162-170.
- [18] - J.D.H. STRICLAND, and T. R. PARSON. "Apratical handbook of seawater ananlysis". Bull. Fisf. Res. Bd can. 167 (1972) 71-89.
- [19] - E. STEPHENS. "A practical handbook of Seawater analysis". Limonol. Ocean. 8 (1963) 361p.
- [20] - J. MURPHY and J. P. RILEY. "A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters". Anal. Chim. Acta. 26 (1962) 31-36.
- [21] - F. EL OMARI, A., MOURADI, L. BENNASER, M. BENNIS, H. BLAIL, AH. MOURADI, and TH. GIVERNAUD. "Analyse de la croissance de *Gymnogongrus patens* Agardh de la côte atlantique marocaine". Afrique Sciences. 03 (3) (2007) 413-433.
- [22] - M. ZINOON and J. COSSON. "Seasonal variation in growth and carrageenan content of *Calliblepharis jubata* (Rhodophyceae, Gigartinales) from the Normandy coast, France". Journal of Applied Phycology 8 (1996) 29-34.

- [23] - A. EL-GOURJI. "Biologie et biochimie de l'agarophyte *Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvey (Rhodophycée, Gracilariales)". Thèse de doctorat en sciences. Fac. Sci. Kénitra, Maroc. (1999) 166 p.
- [24] - L. M. HASSANI, "Biologie, Biochimie et écophysiole de l'agarophyte *Gelidium sesquipedale* (Turner) Thuret (Rhodophycées, Gélidiales)". Thèse de Doctorat en sciences, Fac. Sci. Kénitra, Maroc. (2000) p. 157.
- [25] - E. MARINHO-SORIANO, P.C. FONSEA, M.A.A. CARNEIRO, W.S.C. MOREIRA. "Seasonal variation in the chemical composition of tow tropical seaweeds". Bioresource Technology. (2005).
- [26] - M. ZINOUN. "Etudes biochimiques des polysaccharides pariétaux produits par deux Gigrtinales (Rhodophycées) des côtes de la manche, in situ et en cultures contrôlées: *Callibipharis jubata* et *Gigartina teedi*". Thèse de doctorat es Science. Université de technologie de Compiègne (1993) 192 pp.
- [27] - D. CHRISTIAEN. "Etude biochimique de l'agar-agar de *Gracilaria Verrucosa*". Thèse de 3^{ème} cycle. Lilli, (1981)167p.
- [28] - M. CHIKHAOUI. "Etude de la biologie et de la biochimie du carraghénophyte *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux (Rhodophycées, Gigartinales)". Thèse de doctorat. Fac. Sci. Kenitra. (2001) pp 167.
- [29] - P.C. BREDENET and K.T. BIRD. "Effects of environmental factors on carrageenan from *Gymnogongrus griffithsiae* (Glgartinales, Rhodophyta)". J. appl. Phycol. 6 (1994) 371-380.
- [30] - A. REANI. "Etude des carraghénanes de *Cystoclonium purpureum* (Huds) Btters (Rhodophycées, Gigartinales) in situe et en cultures contrôlées". Thèse de doctorat d'état. Université Chouaib Doukkali, (1998) 97 p.
- [31] - A. MOURADI. "Recherches biologiques pour la production d'agarose chez *Gelidium latifolium*". Thèse doctorat ès-Sciences naturelles, Univ. Caen. (1992) 351 p.
- [32] - A. MOURADI-GIVERNAUD, L.M. HASSNI, TH. GIVERNAUD, Y. LEMOINE and O. BENHARBIT. "Biology and agar composition of *Gelidium sesquipedale* harvested along the atlantic coast of Morocco". Hdrobiologia, 398/399 (1999) 391-395.
- [33] - S. EL BACHA. "Biologie, écophysiole et biochimie de deux agarophytes de la côte Atlantique marocaine". Thèse de Doctorat Es sciences. Fac. Sci. Kénitra, Maroc, (2006) 162p.
- [34] - G. ROSENBERG, and J. RAMSUS. "Ecological growth strategies in the seaweeds *Gracilaria foliifera* (Rhodophyceae) and *Ulva sp.* (Chlorophceae) soluble nitrogen and reserve carbohydrates". Mar. Biol. 66 (1982) 251-259.
- [35] - C.A. PENNIMAN. "Ecology of *Gracilaria tikvahiae* McLachlan (Gigartinales, Rhodophyta) in the Great Bay Estuary, New Hampshire". Ph.D. Thesis, University of New Hampshire, Durhman, (1983) 267p.
- [36] - J. FLEURENCE. C. ROUXEL, A. DANIEL, M. JEROME, M. ETIENNE. "Species identification by Sds-page of red algae used as seafood or a food ingredient". Food Chemistry 74 (2001) 349-353.
- [37] - P. HAAS and T.G. HILL. "Observations on the metabolism of certain Seaweeds". Ann. Bot. (London) [N.S] 47 (1993) 55-67.
- [38] - V. VONA, M.V. DI RIGANO, S. ESPOSITO, C. DI MARTINO and C. RIGANO,. "Growth, photosynthesis, respiration and ineracellular free aminoacid profiles in the unicellular alga *Cyanidium caldarium*. Effect of nutrient limitation and resupply". Physiol. Plant. 85 (1982) 652-658.
- [39] - T. STADLER. "Physiologie de la production d'agar dans les parois de *Gracilaria verrucosa*". Thèse de 3^{ème} cycle, lille (1984) 45-102.
- [40] - F. EL OMARI, et al. 2014 Afrique Sciences. sous press. Vol.10 (3) (2014) 20p.
- [41] - N. ZAVODNIK. "Seasonal variation in rate of photosynthetic activity and chemical composition of the littoral seaweeds commun to the North Adriatic. Part I. *Fucus virsoides* (Don) J. Ag". Bot. Mar. 16 (1973a) 155-165.
- [42] - N. ZAVODNIK. "Seasonal variation in rate of photosynthetic activity and chemical composition of the littoral seaweeds commun to the North Adriatic". Part II. *Wrangelia pencillata* C. Ag. Bot. Mar. 16 (1973b) 166-170.

- [43] - A. KHLALQA. "Contribution à l'étude écophysiological et biochimique de l'agarophyte *Gracilaria vermicophylla*". Mémoire DESS Pharmaceutique-industrielle. Fac. Sci. Kénitra, Maroc. (2004).
- [44] - C.A. PENIMAN and A.C. MATHIESON. "Variation in chemical composition of *Gracilaria tikvahiae* McLachlan (Gigartinales, Rhodophyta) in the Great Bay Estuary, New Hampshire". Bot. Mar. 30(1987) 525-534.
- [45] - F. BI. S. IQBAL., "Chemical investigation and elicitor activity of polysaccharide of red algae *Hypnea musciformis* and *Botryocladia leptopoda*". Pakistan of Scientific and Industrial Research. 425 (1999) 223-226.
- [46] - B.E. LAPOINTE. "The effect of light and nitrogen on growth, pigment content, and biochemical composition of *Gracilaria folifera v. angustissima*". J. phcol. 17 (1981) 90-95.
- [47] - P.S. EKMANE, Y. VU and M. PEDRERSEN, "Effects of altered salinity, Darkness and algal yield of cultivated *Gracilaria sordida*", Br. Phcol. J. 26 (1991)123-131.
- [48] - P.N.M. PERFETO. "Relation between chemical composition of *Grateloupia doryphora* (Montagne) Howe, *Gymnogongrus griffithsiae* (Turner) Martius, and abiotic parameters". Acta Botanica Brasileria 12 (1998) 77-78.
- [49] - B.E. LAPOINTE and J. H. RYTHER. "Effects of temperature, Light and salinity on growth in culture of *Chondrus crispus*, *Furcellaria lumbricalis*, *Gracilaria tikvahiae* (Gigartinales, Rhodophyta), and *Fucus serratus* (Fuciales, Phaeophyta)". Botanica Marina. 22 (1979) 521-527.
- [50] - F. EL OMARI, A. MOURADI, D. LAAMRI, D. LAMRIOUI, M. HADJI, T. GIVERNAUD. Croissance et capacité reproductive de *Gymnogongrus patens* (J. Agardh) (Rhodophyceae, Gigartinales) de la côte atlantique marocaine. Afrique Science 09 (1) 102-119.
- [51] - A.C. NEISH, P.EF. SHACKLOK, C.H. FOX and F.J. SIMPSON. "The cultivation of *Chondrus crispus*. Factors affecting growth under greenhouse conditions". Can. J. Bot. 55 (1977) 2263-2271.
- [52] - J. S. CRAIGIE, Z.C. WEN and J.P. VANDER MEER.. "Interspecific, intraspecific and nutritionally determined variations in the composition of agars from *Gracilaria sp*". Bot. Mar. 27 (2) (1984) 55-61.
- [53] - A. MOURADI-GIVERNAUD, TH. GIVERNAUD, H. MORVAN and J. COSSON. "Agar from *Gelidium latifolium* (Rhodophyceae, Gelidiales)". Biochemical composition and seasonal variations. Bot. Mar. 35 (1992) 153-159.
- [54] - A. ROTEM, N. ROTH-BEJERANU and S.M. ARAD. "Effect of controlled environmental conditions on starch and agar of *Gracilaria sp.* (Rhodophyceae)". Journal of Phycology 22 (1986) 11-121.