



Analyse des pigments de la rhodophycée *Gymnogongrus patens* (J. Agardh) de la côte atlantique marocaine

Fatah EL OMARI^{1*}, Aziza MOURADI¹, Ahlam MOURADI¹, Thierry GIVERNAUD²,
Mohamed HADJI³ et Abderrahmane F AISSAOUI⁴

¹ *Laboratoire de Biochimie, Biotechnologies et Environnement, Université Ibn Tofail,
Faculté des sciences, BP 133 - 14000 Kénitra, Maroc*

² *Société STEOF. 5, lot. Johara, Bir Rami Est, 14000 Kénitra, Maroc*

³ *Equipe de recherche Environnement et Parasitologies, Laboratoire de Biologie et Sant,
Université Ibn Tofail, Faculté des sciences, BP 133 - 14000 Kénitra, Maroc*

⁴ *Laboratoire de physiologie-pharmacologie et santé environnementale, Univerité Mohamed ben abdellah,
Faculté des Sciences Dhar Mehrez- Fès, Maroc*

*Correspondance, courriel : elomari155@gmail.com

Résumé

Les pigments du carraghénophyte, *Gymnogongrus patens* ont été analysés 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). Les analyses pigmentaires durant cette période d'étude, montrent que les pigments phycobiliprotéiques présentent des variations saisonnières très marquées pour les R-phycoyanines (R-PE) et les Allophycoyanines (A-PC) et nettement moins importantes pour les R-phycoérytrines (R-PC), avec une dominance des R-PE sur les A-PC et les R-PC. Par contre les teneurs en Chlorophylle a (Chl.a) varient peu. Les taux les plus élevés en R-PE sont obtenus en octobre (2,83mg/g de matière fraîche). L'influence des facteurs physico-chimiques (température (T), salinité (S), nitrates (N) et phosphates (P)) sur l'évolution de la composition pigmentaire a été étudiée par des analyses quantitatives en composantes principales (ACP). Cette analyse montre que l'algue est très riche en A-PC, R-PC et R-PE pendant la saison automnale et hivernale alors qu'elle s'atténue au printemps et en été.

Mots-clés : *gymnogongrus patens, pigments, facteurs physicochimiques, ACP, côte atlantique marocaine.*

Abstract

Pigmentary analysis of the red algae *Gymnogongrus patens* (j. Agardh) on the Moroccan Atlantic coast

The pigmentary 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 pigmentary analysis during this study show that the phycobiliproteines pigments present marked seasonal variations of R-phycoyanines (R-PE) and Allophycoyanines (A-PC) in comparison with R-phycoérytrines (R-PC), with dominance of R-PE. On the other hand, the contents of Chlorophylle a (Chl.a) present a little variation. The higher rates of R-PE were obtained in October (2,83mg/g MF). The influence of environmental parameters (temperature, salinity, nitrates and phosphates) on pigmentary composition has been studied using Principal components Analysis (ACP).

The principal component analysis precise that the pigmentary composition of *Gymnogongrus patens* is so rich with R-PE, A-PC and R-PC during the autumn and winter season whereas spring and summer these components. This analysis showed a seasonal variation of phycobiliproteins components don't seem to be affected especially by T° and salinity.

Keywords : *gymnogongrus patens*, pigments, physicochemical factors, ACP, moroccan atlantic coast.

1. Introduction

Grâce aux diversités pigmentaires qu'elles contiennent, les algues sont capables de transformer l'énergie solaire en matière organique et en oxygène. Ces organismes sont à l'origine d'environ 70% de la photosynthèse planétaire [1]. En plus de la chlorophylle a omniprésente, ces organismes contiennent d'autres pigments (des caroténoïdes et des phycobiliprotéines). Les algues rouges, comme exemple, se caractérisent par une couleur rouge plus ou moins évidente due à la présence des phycoérythrine (pigments rouges) accompagnés toujours d'un taux variable de phycocyanine. La chlorophylle a et les phycobiliprotéines sont les pigments les plus importants chez ce groupe d'algues, leur concentrations sont variables selon l'espèce, la phase de croissance, l'exposition et la saison. Leur étude s'avère donc d'une grande importance. Les phycobiliprotéines jouent un rôle important dans l'activité photosynthétique, en effet, ils transmettent à la chlorophylle l'énergie qu'ils ont captée.

L'effet des facteurs physico-chimiques du milieu, tels que, la lumière, la température, le pH et l'enrichissement du milieu en sels nutritifs et en carbonates est important sur le métabolisme des algues en particulier celui des glucides et la synthèse des pigments photosynthétiques [2-5]. L'Afrique du sud et le Maroc sont les deux pays africains qui s'intéressent à l'industrie des phycocolloïdes ; alginates, agar-agar, carraghénanes. Ces derniers possèdent une valeur commerciale importante à l'échelle mondiale. Les carraghénanes sont des polysaccharides très sulfatés extraits de la paroi cellulaire de la majorité des Gigartinales, ils sont utilisés comme gélifiants, épaississants ou émulsifiants dans l'industrie agroalimentaire, médicales pharmaceutiques et cosmétiques, textiles, etc. [6-14]. Au Maroc, les côtes atlantiques (3000 Km) connaissent une grande diversité en espèces carraghénophytes 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 carraghénophyte le plus exploité au Maroc [7, 15, 16].

L'espèce *Gymnogongrus patens* présente un polysaccharide industriellement intéressante : les carraghénanes kappa et iota, très demandés dans l'industrie laitière en particulier, ceci selon le cycle de développement de l'algue [17-20]. Dans le but d'exploiter industriellement de 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 quantitative de la composition pigmentaire de l'espèce en milieu naturel afin de déterminer l'effet des facteurs environnementaux sur la synthèse de pigments photosynthétiques et sur le déroulement de son cycle de développement.

2. Matériel et méthodes

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 [5, 21]. Cette algue est présente en Atlantique Nord, sur tout le littoral marocain [22, 23]. Les prélèvements ont été effectués à marée basse. Nous avons choisi cette espèce pour sa croissance ainsi que son rendement en

carraghénanes sont très important [5, 18, 19, 24-26]. Au cours de ce travail, le suivi des variations mensuelles de la composition pigmentaire de *Gymnogongrus patens* a été réalisé en milieu naturel afin de cerner les facteurs qui peuvent avoir une influence importante sur la synthèse de pigments photosynthétiques.

2-1. Détermination de l'espèce

Le thalle des Phylloporacée, est cylindrique ou aplati, ramifié, de type multiaxial avec un cortex à petites cellules. Les cystocarpes sont soit enfoncés, soit proéminents. Cette famille comporte trois genres : *Gymnogongrus*, *Phyllophora*, *Stenogramme*. *Gymnogongrus* se distingue des autres genres des *Phylloporacées* par la présence de thalle coriace plus ou moins comprimé (**Figure 1 A et B**), à ramifications dichotomiques. Les cystocarpes sont répartis sur les extrémités supérieures des thalles, faisant fortement saillie sur un seul côté ou sur les deux côtés du thalle [22]. L'espèce présente un polymorphisme importante aussi bien par la largeur de ses rameaux que par leur forme qu est tantôt comprimée, tantôt plus ou moins cylindrique [22, 27, 28]. D'un point de vue morphologique, les espèces du genre *Gymnogongrus* sont très proches, en particulier *Gymnogongrus norvegicus* (Gunner) Agardh et *Gymnogongru patens*. Des coupes histologiques transversales du thalle ont été réalisées par un cryo-microtome pour s'assurer de la détermination de l'espèce étudiée (**Figure 1 C**). Les observations ont été effectuées au microscope photonique équipé d'un système de contraste de phase interférentiel et d'un système photographique.

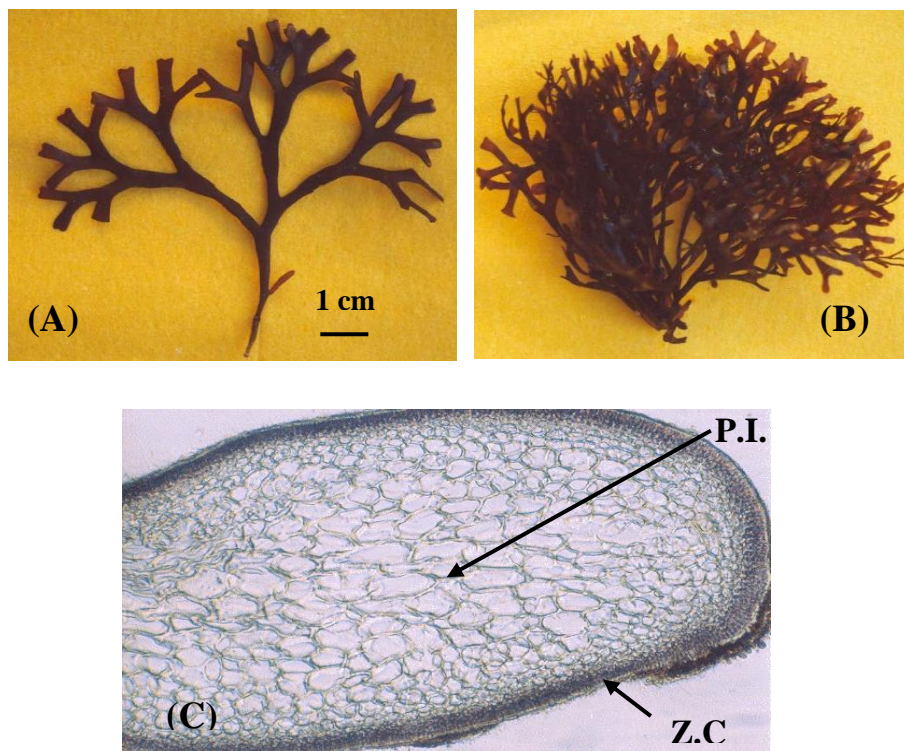


Figure 1 : Morphologie et anatomie de *Gymnogongrus patens* récoltée à la plage de Méhdia. P. I. : Parenchyme incolore; Z.C. : Zone corticale assimilatrice. (A) : Morphologie externe; (B) : Touffes de l'algue; (C) : Coupe transversale (x100).

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 (**Figure 2**). Ce site se situe sur le littoral atlantique et est soumis à un climat méditerranéen caractérisé par des hivers doux et des étés chauds. La plage de Méhdia se situe entre les parallèles 34° et 35°, soit à 10 Km à l'Ouest de Kénitra et à 35 Km au Nord de Rabat, sur la rive gauche de l'embouchure de l'oued Sebou.

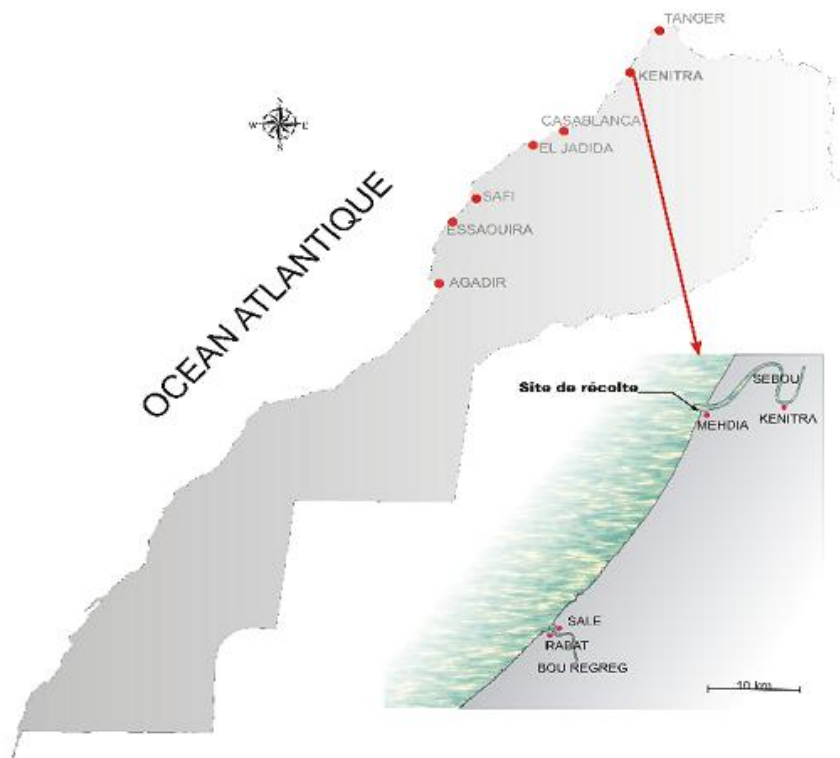


Figure 2 : Situation géographique de la station de récolte

2-3. Analyse de la composition pigmentaire en milieu naturel

L'analyse quantitative de la composition pigmentaire de *Gymnogongrus patens* a été réalisée sur un échantillon mensuel pris au hasard dans le site de récolte durant la période d'étude d'avril 2002-Mars 2003. Les algues recueillies ont été débarrassées de leur épiphytes et des débris adhérant à leur thalles, rincées sur palace à leur de mer filtrée puis rapidement à l'eau distillée. L'étude de la composition pigmentaire a porté sur deux types de pigments : phycobiliprotéines et pigments organosolubles.

2-3-1. Méthodes d'extraction et de dosage des phycobiliprotéines

2-3-1-1. Protocole expérimental

0,4 g d'algues fraîches et propres, préalablement rincées à l'eau de mer filtrées et essorées, sont finement broyées dans un mortier dans 5 ml de tampon phosphate à forte molarité (0,75 M) et à pH 7 (pour détruire les structures cellulaires).

L'extraction se réalise sous des conditions bien déterminées : A basse température pour minimiser au maximum les réactions métaboliques et favoriser la stabilité des interactions entre les protéines. A l'abri de la lumière car les pigments sont photolabiles. Après centrifugation pendant 5 min à 6000 tr/min, l'estimation quantitative des phycobiliprotéines se fait par lecture spectrophotométrique du surnageant à quatre longueurs d'ondes (651, 614, 499 et 498 nm), contre le tampon phosphate. Puis par calcul, grâce aux formules données par Kursar *et al.* [29] :

$$[R-PC] = 151.1 D.O_{614} - 99.1 D.O_{651} \quad (1)$$

$$[A-PC] = 181.3 D.O_{651} - 22.3 D.O_{614} \quad (2)$$

$$[R-PE] = 155.8 D.O_{498.5} - 40.0 D.O_{614} - 10.5 D.O_{651} \quad (3)$$

[R-PC], [A-PC] et [R-PE] représentent respectivement les concentrations exprimées en mg.l⁻¹ des R-phycoyanines, Allophycoyanines et R-phycoérytrines.

2-3-2. Méthodes d'extraction et de dosage des pigments organosolubles

2-3-2-1. Protocole expérimental

0,4 g d'algues fraîches et propres, préalablement rincées à l'eau de mer, filtrées et essorées, sont finement broyées dans un mortier dans un volume d'acétone. Le broyat obtenu est ajusté à 10 mL avec le solvant. Cette manipulation se fait en obscurité, car les pigments organosolubles sont très sensibles à la lumière. Après centrifugation pendant 5 min à 6000 tr/min, le surnageant est récupéré et analysé immédiatement au spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes 647 et 664 nm, contre le solvant organique. La concentration en chlorophylle a, exprimée en mg. L⁻¹, est calculée selon la formule donnée par Ziegler et Egle [30] :

$$[Chl. a] = 11.78 D.O_{664} - 2.29 D.O_{647} \quad (4)$$

2-4. Analyse physicochimique de l'eau de mer

Les prélèvements d'eau de mer ont été effectués mensuellement durant un cycle annuel (avril 2002 à mars 2003) en même temps que la récolte de l'espèce. 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. Les nitrates (NO₃²⁻) sont réduits quantitativement en nitrites par voie chimique en utilisant le sulfate d'hydrazine [31]. Les nitrites ainsi formés sont dosés par la méthode classique au sulfanilamide/dichlorohydrate [32]. Les phosphates (PO₄³⁻) sont dosés par la méthode de Stephens, qui est une extension de celle décrite par Murphy et Riley [33].

2-5. Analyses statistiques

2-5-1. Analyse de corrélation

Une analyse de régression a été réalisée afin d'étudier les corrélations qui peuvent exister entre différents paramètres physicochimique de l'eau de mer et les composantes pigmentaires de *Gymnogongrus patens*.

2-5-2. Analyse en composantes principales (ACP)

L'évaluation de l'effet des facteurs environnementaux sur la variation de composition pigmentaires de *Gymnogongrus patens* en milieu naturel a été assurée par une analyse en composantes principales (ACP) en combinant les quatre composantes pigmentaires (Chl. a, A-PC, R-PC et R-PE) et les quatre facteurs physicochimiques du milieu (T, S, N et P). Au cours de cette étude, l'ACP a été effectuée sur la matrice de données formée par les 12 relevés annuels dans la plage de Méhdia.

3. Résultats et discussion

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

3-1-1- Température

Les variations mensuelles de la température au niveau de la plage de Méhdia durant la période d'étude montrent deux périodes distinctes (**Figure 3**):

- Une période froide s'étalant de novembre à mars, avec une température minimale de 15°C enregistré en janvier 2003.
- Une période chaude de juin à octobre; elle consiste en une augmentation progressive de la température, le mois d'août est le plus chaud (22°C).

3-1-2- Salinité

La détermination mensuelle de la salinité de l'eau de mer montre que celle-ci fluctue entre 3,3% enregistrée en hiver et un maximum de 3,7% en été (**Figure 3**). Le degré moyen annuel de salinité est de 3,49%. La salinité de l'eau de mer est étroitement liée à la température. Elle augmente lorsque la température de l'eau s'élève.

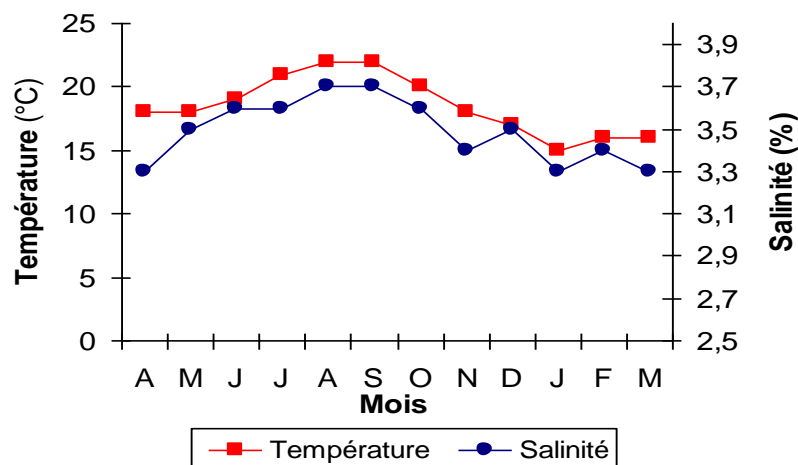


Figure 3 : Variation mensuelle de la température et de la salinité de l'eau de mer à la station de Méhdia (avril 2002 à mars 2003)

3-1-3- Nitrates

Le taux de nitrates présente une grande variation (**Figure 4**). Il varie entre un minimum de 1,41 mg.L⁻¹ enregistré en février et un maximum de 7,46 mg.L⁻¹ noté en avril.

3-1-4- Phosphates

Les teneurs en phosphates obtenues sont assez faibles (**Figure 4**). Elles varient entre une valeur minimale de 0,33 µatgP L⁻¹ en juin 2002 et une valeur maximale de 2,33 µatgP L⁻¹ en février 2003. Les concentrations en nitrates et en phosphates montrent une variation mensuelle importante. Celle-ci est liée aux apports de l'oued Sebou.

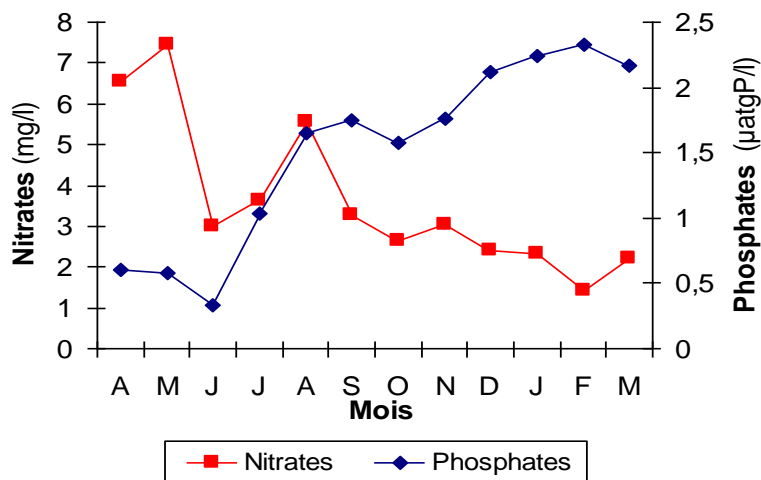


Figure 4 : Variation mensuelle de la concentration en nitrates et en phosphates de l’eau de mer de la station de Méhdia (avril 2002 à mars 2003)

3-2. Variation de la composition pigmentaire

L’analyse de la composition pigmentaire de *Gymnogongrus patens* montre la même évolution mensuelle des concentrations des pigments biliprotéiques avec une dominance des R-PE sur les autres pigments (**Figure 5**). Ainsi les teneurs sont élevées en automne, avec un maximum de 2,83 mg par g de matière fraîche (mg/g MF) pour les R-PE, de 2, 51 mg /gMF pour les A-PC et de 1,02 mg /gMF pour les R-PC, ceci correspondent aux valeurs trouvées pendant le mois d’octobre. L’analyse montre également que les teneurs en R-PE et A-PC présentent deux maxima au cours de l’année, le premier est de 2 ,83 et 2, 51 mg /g MF (octobre 2002) respectivement pour R-PE et A-PC. Le second est de 2,60 et 1, 74 mg /g MF (mars 2003) respectivement pour R-PE et A-PC. Par contre, pour le R-PC, la variation est nettement moins marquée, notant aussi que sa teneur est faible par rapport aux R-PE et A-PC. L’analyse de l’extrait organosoluble de l’algue permet de suivre l’évolution de la teneur en Chl.a qui représente le principal pigment organosoluble. La teneur la plus élevée est de 0,18 mg/g de MF trouvée respectivement en mai et décembre, la plus faible est de 0,059 mg/g de MF notée en juillet (**Figure 5**). Les concentrations en Chl. a sont peu variables pendant la période d’étude et restent nettement inférieures à celles des phycobiliprotéines.

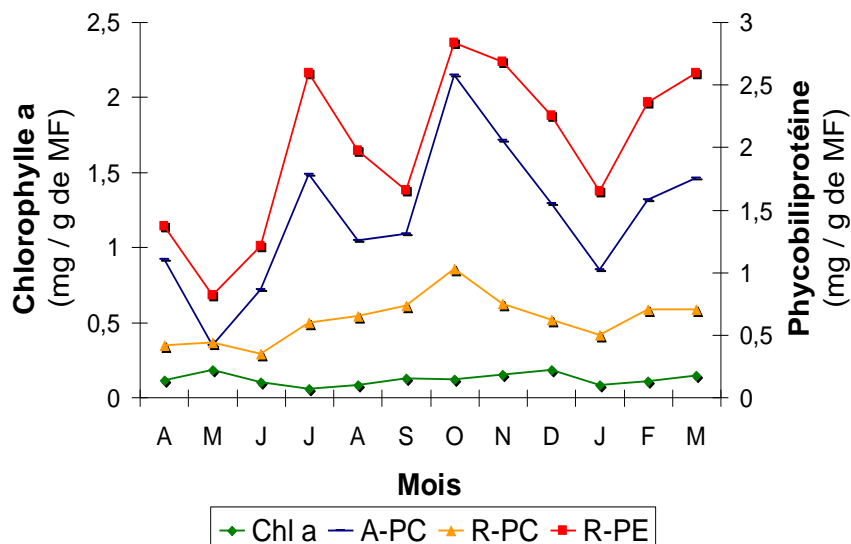


Figure 5 : Variation mensuelle des pigments de *Gymnogongrus patens* récoltée à la station de Méhdia durant la période d'avril 2002 à mars 2003

3-2-1. Rapport pigmentaire

Le rapport Chl a / R-PE présente une variation au cours de l'année, les valeurs maximales sont enregistrées en printemps (mai). Les valeurs minimales sont noté en été (juillet). Pour le rapport R-PE / R-PC, le maximum a été trouvé en été, le minimum au printemps et à l'automne (**Figure 6**).

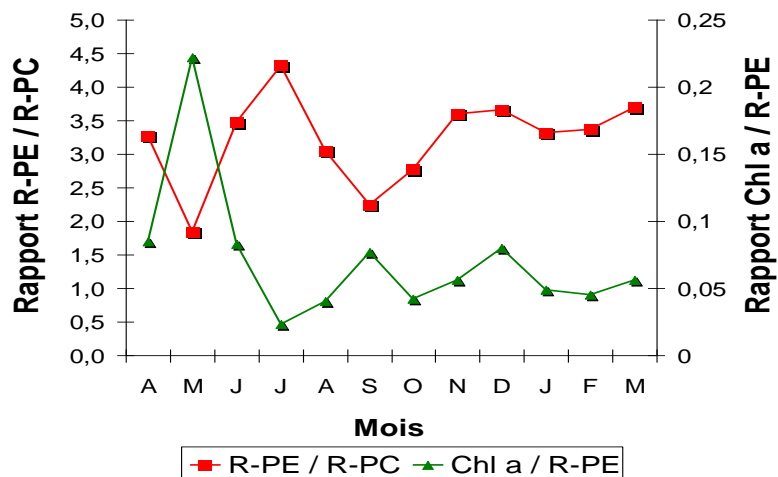


Figure 6 : Evolution des rapports molaires des pigments de *Gymnogongrus patens* récoltée à la station de Méhdia, durant la période d'avril 2002 à mars 2003

3-3. Analyse statistique des variations de la composition pigmentaire

3-3-1. Analyse des corrélations

Les résultats de l'analyse des corrélations entre les différentes composantes pigmentaires étudiées sont présentés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Diagramme de corrélation entre les différentes composantes pigmentaires étudiées chez *Gymnogongrus patens* récoltée à Méhdia

	Chl a	A-PC	R-PC	R-PE
Chl a	1	-0,08 (N.S)	0,07 (N.S)	-0,12 (N.S)
A-PC	-	1	0,87 (**)	0,94 (**)
R-PC	-	-	1	0,79 (.)
R-PE	-	-	-	1

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

Les analyses réalisées révèlent qu'il existe de fortes corrélations positives entre les pigments biliprotéiques et surtout entre les R-PE et les A-PC ($r = 0,94$). Par contre, de très faibles corrélations non significatives sont notées entre la Chl. a et les pigments biliprotéiques (A-PC, R-PC et R-PE) de *Gymnogongrus patens*.

3-3-2. Analyse en composantes principales

Dans le but d'examiner l'effet des facteurs environnementaux sur la variation de la composition pigmentaire de *Gymnogongrus patens*, une analyse en composantes principales est réalisée en combinant les composantes pigmentaires aux facteurs physicochimiques du milieu dans la station de Méhdia.

Les valeurs propres des trois axes F1, F2 et F3 et leur contribution à l'inertie totale sont données dans le tableau suivant (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Répartition de l'inertie entre les axes

Axes	Valeurs propres (λ)	Inertie totale (%)	Inertie cumulée (%)
F1	3,65	45,69	45,69
F2	2,24	28,05	73,75
F3	1,02	12,70	86,45

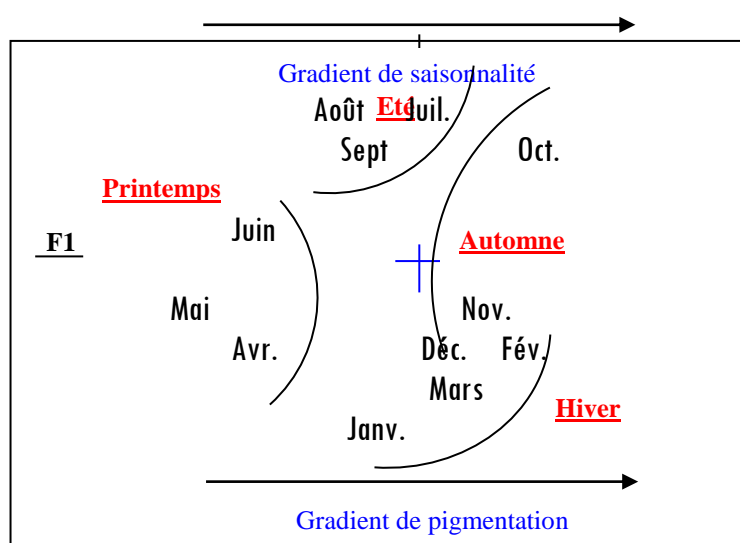
Les pourcentages d'inertie des deux premiers axes F1 et F2 totalisent 73,75% d'informations sur les corrélations qui existent entre les variables étudiées. L'axe factoriel F3 ne représente que 12,7% de l'information totale. Les résultats de l'analyse de corrélation indiquant les coefficients de corrélation entre les variables étudiées et chacune des composantes principales retenues (F1, F2 et F3) sont consignés dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Coefficients de corrélation entre les variables étudiées et chacune des composantes principales retenues (F1, F2 et F3)

		Chl. α	A-PC	R-PC	R-PE	T	S	N	P
F1	r	-0,05	0,91	0,85	0,94	-0,10	-0,06	-0,78	0,77
	p	0,87	<u>0,0001</u>	<u>0,0004</u>	<u>0,0001</u>	0,75	0,84	<u>0,003</u>	<u>0,003</u>
	s	N.S	***	***	***	N.S	N.S	**	**
F2	r	-0,38	0,22	0,31	0,11	0,98	0,91	0,23	-0,33
	p	0,22	0,49	0,32	0,74	<u>0,0001</u>	<u>0,0001</u>	0,48	0,29
	s	N.S	N.S	N.S	N.S	***	***	N.S	N.S
F3	r	0,90	0,09	0,30	-0,02	0,07	0,09	0,30	-0,04
	p	<u>0,0001</u>	0,77	0,34	0,96	0,84	0,78	0,34	0,90
	s	***	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S

r : Coefficient de corrélation de Pearson, *p* : Probabilité, *s* : N.S, **, *** : Coefficients de corrélation respectivement non significatifs et significatifs à 1% et 1‰.

L'analyse du **Tableau 3** montre que les variables A-PC, R-PC, R-PE, Nitrates et Phosphates sont significativement corrélées avec l'axe factoriel F1. La deuxième composante principale (F2) est significativement corrélée aux variables température et salinité. Les teneurs en Chl. α sont gérées par l'axe F3. La projection des relevés mensuels de *Gymnogongrus patens* sur la carte factorielle définie par le plan F1 x F2 montre un gradient de pigmentation biliprotéique de gauche à droite de l'axe F1 en suivant une évolution saisonnière (**Figure 7**). Ainsi, la composition pigmentaire de *Gymnogongrus patens* est très riche en A-PC, R-PC et R-PE pendant la saison automnale et hivernale alors qu'elle s'atténue au printemps et en été. Cette évolution semble être très influencée par les facteurs nitrates et phosphates, gérés par l'axe factoriel F1 qui définit donc un gradient de saisonnalité. La composition pigmentaire biliprotéique ne paraît pas être affectée par les facteurs température et salinité contrôlés par la deuxième composante principale F2. En outre, les teneurs en Chl. α , gérées par l'axe F3, restent indépendantes des quatre facteurs environnementaux étudiés.

**Figure 7 :** Carte factorielle des relevés mensuels de *Gymnogongrus patens* récoltée à la plage de Méhdia (projection sur le plan factoriel F1xF2)

3-4. Variations géographiques des pigments

Dans le but de déterminer les variations de la composition pigmentaire des thalles de *Gymnogongrus patens* en fonction de la localité géographique, nous avons réalisé les récoltes mensuelles pendant quatre mois de l'année (avril, août, septembre et décembre) sur deux sites différents de la côte atlantique marocaine (Méhdia et Rabat). La comparaison entre les teneurs pigmentaires contenues dans les thalles de *Gymnogongrus patens* récoltés dans la plage de Méhdia et celui de Rabat, sont illustrés dans les **Figures 8 et 9**. Nos résultats montrent que *Gymnogongrus* récolté à Méhdia possède moins de chlorophylle *a* que celui récolté à la plage de Rabat (**Figure 8**). Cette différence ne s'est pas montrée significative par le test de Student à 5% d'erreur (Valeur de Student: $t = 1,78$; Probabilité: $p = 0,12$). Par contre, les thalles de *Gymnogongrus* récoltés à Rabat contiennent moins des pigments biliprotéiques que ceux récoltés à Méhdia (**Figure 9**). Cette différence est non significative (test de Student à 5% d'erreur, $t = 0,61$; $p = 0,56$).

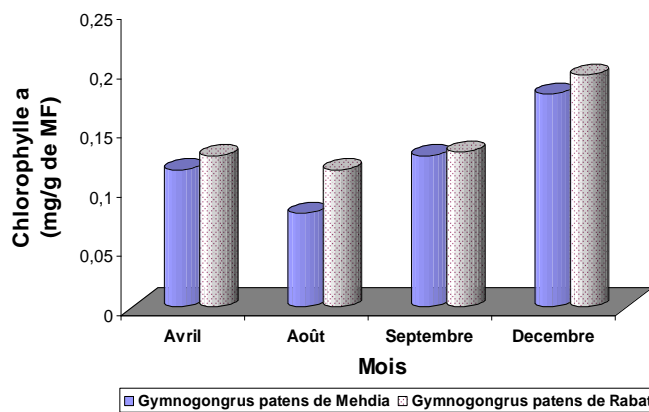


Figure 8 : Comparaison entre la teneur en Chlorophylle *a* de *Gymnogongrus patens* récoltée à la plage de Méhdia et à la plage de Rabat

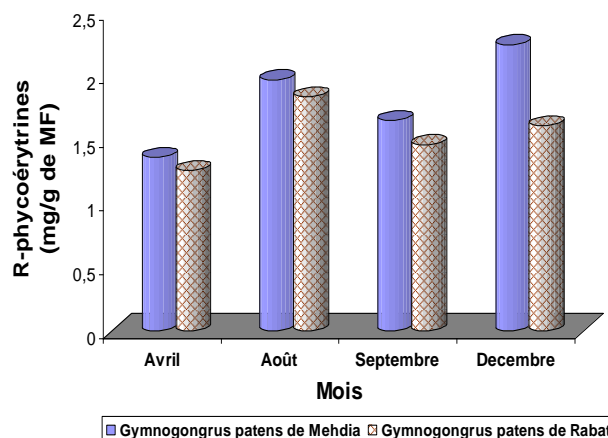


Figure 9 : Comparaison entre la teneur en R-phycoérythrine de *Gymnogongrus patens* récoltée à la plage de Méhdia et à la plage de Rabat

4. Discussion

En dehors des travaux sur la systématique des algues réalisés par Gayral [22] aucune étude sur l'écophysiologie de *Gymnogongrus patens* n'a été menée. Cependant, plusieurs auteurs ont signalés l'effet des facteurs environnementaux sur le développement, la croissance et la synthèse des pigments photosynthétiques des algues. En effet, la croissance de la plupart des espèces algales montrent des fluctuations dues aux variations des facteurs : température, salinité, nitrates et phosphates [25, 26, 34-45]. Ces facteurs également ont une influence sur les concentrations des pigments photosynthétiques [2-5, 46, 47]. Dans le but d'examiner l'effet des facteurs environnementaux sur la variation de la composition pigmentaire de *Gymnogongrus patens* une analyse en composantes principales (ACP) est réalisée en combinant les composantes pigmentaires aux facteurs physico-chimiques du milieu dans la station de Méhdia.

Les teneurs des pigments biliprotéiques de l'espèce présentent une évolution au cours de l'année avec une dominance des R-PE sur les autres pigments hydrosolubles, ceci caractérise toute les algues rouges, chez lesquelles ils constituent les principaux pigments hydrosolubles. Les pigments biliprotéiques présentent une variation saisonnière très marquée pour les R-PE et les A-PC et de manière moins marquée pour les R-PC. La composition pigmentaire de *Gymnogongrus patens* est importante en automne et en hiver. Elle est faible au printemps et en été. Les faibles teneurs en pigments hydrosolubles coïncident avec la meilleure période de croissance [5, 21, 25] et semblent être sous l'influence des nitrates et des phosphates. Par ailleurs, les facteurs température et salinité ne semblent influencer aucune des quatre composantes pigmentaires analysées chez *Gymnogongrus patens* de la plage de Méhdia. Pour le rapport R-PE / R-PC, le maximum a été trouvé en été, le minimum au printemps et à l'automne. Des variations presque de même ordre ont été enregistrés chez plusieurs algues rouges telles que *Chondrus crispus* [48], *Euchema isiforme* [49], *Gracilaria multipartita* [50] et *Gelidium sesquipedale* [51].

Cette variation peut être liée aux facteurs écologiques en particulier aux conditions d'éclairement et l'enrichissement de l'eau en sels nutritifs. Chez les algues rouges, la teneur en pigments accessoires / chlorophylle semblent augmenter en conditions de faible éclairement [52]. Ceci est également noté chez les algues planctoniques [53], verts et bruns [54-55]. Les plantes vasculaires répondent à de faibles intensité lumineuses par augmentation concomitante de la teneur en pigments et le rapport Chl.a / Chl.b. Les pigments biliprotéiques joueraient en particulier un rôle de réserve pour un excès d'azote et seraient progressivement utilisée en milieu carencé en azote [35, 56]. En absence d'enrichissement en nitrates, les algues ne synthétisent pratiquement de phycobiliprotéines. Cette constatation est notée par Asare et Harlin [57]. Par ailleurs un milieu riche en nitrates augmente la quantité de phycobiliprotéines. La Chl. a ne montre pas de variation saisonnière évidente. Les teneurs en Chl. a sont nettement inférieures qu'à celles des pigments biliprotéiques. La quantité de la chlorophylle a diminué en été en réponse à une forte luminosité [2]. La teneur en R-PE reste toujours supérieure à celle de la chl. a durant la période d'étude, comme c'est le cas pour *Gigartina multipartita* [50]. Des résultats différents obtenus pour *Gigartina verrucosa* en mois d'août [58] et pour *Gelidium sesquipedale* [51, 59] pendant la période octobre-janvier. Cette différence peut être liée à la physiologie des algues.

Par ailleurs, l'analyse quantitative en composantes principales a montré une variation saisonnière de la composition biliprotéique de *Gymnogongrus patens*. L'ACP précise que l'algue est très riche en A-PC, R-PC et R-PE pendant la saison automnale et hivernale alors qu'elle s'atténue au printemps et en été. La projection des relevés mensuels de *Gymnogongrus patens* sur la carte factorielle définie par le plan F1 x F2 montre un gradient de pigmentation biliprotéique de gauche à droite de l'axe F1 en suivant une évolution saisonnière. Cette évolution semble être très influencée par les facteurs nitrates et phosphates, gérés par l'axe factoriel F1 qui définit donc un gradient de saisonnalité. La composition pigmentaire biliprotéique ne paraît pas être

affectée par les facteurs température et salinité contrôlés par la deuxième composante principale F2. En outre, les teneurs en Chl. a, gérées par l'axe F3, restent indépendantes des quatre facteurs environnementaux étudiés. Les faibles teneurs de pigments biliprotéiques observées au printemps et en été s'expliquent par les faibles quantités en nitrates, utilisés pour la croissance. Le même phénomène a été démontré aussi par Reani et al. [3] pour *Cystoclonium purpureum*. Par contre, pendant les saisons d'automne et d'hiver, les fortes teneurs de ces pigments sont dues principalement à l'augmentation des nitrates en milieu marin [60]. La composition en pigment biliprotéiques est influencée également par la concentration en phosphates du milieu, or les besoins quantitatifs pour cet élément sont faibles chez les algues, qui se contentent de la faible teneur en phosphates de l'eau de mer pour accomplir toutes leurs fonctions biologiques [39-40, 61,62]. De nombreuses études montrent l'effet de la qualité spectrale de la lumière sur l'activité photosynthétique, la croissance, la morphogénèse et le développement des espèces algales [4, 46-47, 63-68]. Ce facteur également a une influence sur les concentrations des pigments photosynthétiques, la structure des protéines, l'azote totale intercellulaire et sur le rapport carbone/azote [2, 4]. Chez les macroalgues, l'accumulation de nitrate sous différente qualité de la lumière est produite par la stimulation de nitrate c'est-à-dire l'incorporation de nitrate et la stimulation de l'activité de nitrate réductase sous le contrôle des photorécepteurs non photosynthétiques.

Ainsi *Gymnogongrus patens* au cours de la période estivale (juin - juillet - août) reçoit une bonne qualité et quantité de lumière lorsque l'eau est calme, ce qui pourrait également contribuer à expliquer le bon déroulement de système photosynthétique et par conséquent, l'activation de sa croissance en cette période de l'année. Le même phénomène a été signalé chez plusieurs espèce caragenophytes présentes sur le même site (Méhdi) telles que *Hypnea musciformis* [69, 70], *Gigartina pistillata* [19, 71]. Les variations des pigments photosynthétiques de l'algue enregistrées durant ce travail sont corrélées essentiellement à la fluctuation du taux de Chl. a et de la R-PE. En générale, il y a une relation ferme entre les phycobiliprotéines et la Chl. a pour un transfert efficace de l'énergie. Cette relation est notée chez plusieurs rhodophycées et cyanophycées. Leur concentration ainsi leur relation est fortement affectée par la lumière.

Les différences de la composition pigmentaire obtenue pour l'espèce de Méhdi et de Rabat seraient liées aux capacités d'adaptation et aux réponses aux conditions physico-chimiques du milieu ainsi qu'au niveau de la profondeur où elle se trouve l'algue le long du littoral (à la position de l'espèce au niveau de l'estran). Au terme de cette étude comparative, nous pouvons conclure que les compositions pigmentaires des thalles diffèrent d'une espèce à l'autre et pour une même espèce selon la localité géographique, la saison de récolte et la disponibilité des nitrates principalement. Nous pensons donc que ces différences correspondent à l'adaptation (physiologique et écologique) propre à chaque espèce. Les différences spécifiques dans les compositions pigmentaires des thalles des espèces semblent également liées aux facteurs extrinsèques de l'algue.

5. Conclusion

Le suivi de la composition pigmentaire de *Gymnogongrus patens* récoltée mensuellement à la plage de Méhdi montre que les pigments biliprotéiques présentent une variation saisonnière très marquée pour les R-PE et les A-PC et de manière moins marquée pour les R-PC. L'analyse pigmentaire de l'espèce montre que les trois pigments biliprotéiques étudiés suivent la même évolution au cours de l'année, avec deux maxima enregistrés au cours des mois de juillet et octobre pour la R-PE, l'A-PC. Pour la R-PC, les maxima sont notés au mois de mai et d'octobre. La R-PE étant le principal pigment hydrosoluble de l'espèce suivi de l'A-PC, puis de la R-PC. La composition des pigments biliprotéiques de *Gymnogongrus patens* est importante en automne et en hiver, elle est faible en printemps et en été. Par contre, les teneurs en Chl.a sont très faibles au cours de la saison estivale, moyennes pour les autres périodes de l'année.

L'analyse en composante principale confirme les résultats des dosages et précise que la composition pigmentaire de *Gymnogongrus patens* est très riche en A-PC, R-PC et R-PE pendant la saison automnale et hivernale alors qu'elle s'atténue au printemps et en été. Cette évolution semble être très influencée par les facteurs nitrates et phosphates par contre elle ne paraît pas être affectée par les facteurs température et salinité. En outre, les teneurs en Chl a varient peu et restent indépendantes des quatre facteurs environnementaux étudiés. Cette variation semble être en opposition avec la croissance. Les variations géographiques des pigments 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 pigments photosynthétiques.

Références

- [1] - W. John. In: "Concepts in Photobiology: Photosynthesis and Photomorphogenesis". Edited by GS. Singhal, G. Renger, SK. Spory, K-D. Irrgang and Govindjee, Narosa Publishers/New Delhi; and Kluwer Academic/Dordrecht, (1994) pp. 11-51.
- [2] - 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.
- [3] - A. Reani, J. Cosson, A. Parker and D. Zaoui. "Variation of Growth, Carrageenan content and Rheological Properties of *Custoclonium purpureum* (Huds) Batters (Rhophyta, Cystocloniaceae) from the Calvados Coast (France)". *Bot. Mar.* Vol. 41 (1998) pp. 383-387.
- [4] - N. Korbee, F.L. Figueroa, and J. Aguilera. "Effect of light quality on the accumulation of photosynthetic pigments, proteins and mycosporine-like amino acids in the red alga *porphyra leucosifca* (Bangiales, Rhodophyta)". *Journal of photochemistry and photobiology B, Biology* 80 (2005) 71-78.
- [5] - 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.
- [6] - M. Lahaye, and D. Jegou. "Chemical and physical-chemical characteristics of dietary fibers from *Ulva lactuca* (L) Thuret and *Enteromorpha compressa* (L) Grev". *J. appl. Phycol.* 5 (1993) 195-200.
- [7] - H. J. Bixler. "Recent developments in manufacturing and marketing carrageenan *Hydrobiologia*". 326/327 (1996) 35-57.
- [8] - R. Perez. "Ces algues qui nous entourent Conception actuelle, rôle dans la biosphère, utilisations, culture". *Aquaculture. IFREMER. Nantes.* (1997) 272 p.
- [9] - T. Yamada, A. Ogama, T. Saito, H. Uchiyama and Y. Nakagawa. "Preparation of O-acylated low-molecular-weight carrageenans with potent anti-HIV activity and low anticoagulant effect". *Carbohydr. Polym.* 41 (2000) 115-120.
- [10] - G.S.B.Viana, A.L.P. Freitas, M.M.L. Lima, L.A.P. Vieira, M.C.H. Andraes and M.M.B. Benevides. "Antinociceptive activity of sulfated carbohydrates from the red algae *Bryothamnion seaforthii* (Thurner) Kütz. and *B. triquetrum* (S.G.Gmel.) M. Howe". *Braz.J. Medical and Bilolog. Resear.* 33 (6) (2002) 713-722.
- [11] - A. Chiovitti, L.J. McManos, G.T. Kraft, A. Basic and M. L. Liao. "Extraction and characterization of agar from Australian *Pterocladia lucida*". *J. of Appl. Phycol.* 16. (2004) 41-48.
- [12] - J. Guay, K. Batman, R. Gordon, J. Moncini and D. Riendeau. "Carrageenan induced paw edema in rat elicits a predominant prostaglandin E2 (PGE2) response in the central nervous system associated with the induction of microsomal (PGE2) synthase-1". *J. Biol. chem.* 279 (23) (2004) 66-72.

- [13] - L.B. Talarico, R.G.M. Zibetti, P.C.S. Farai, L.A. Scolaro, M.E.R. Duarte, M.D. Nosedá, C.A. Pujol and E.B. Damonte. "Anti-herpes simplex virus activity sulfated galactans from red seaweeds *Gymnogongrus griffithsiae* and *Gryponemia crenulata*". International Journal of Biological Macromolecules 37 (2004) 63-71.
- [14] - R.A. Lopez-Martín, R. Albertini, P.S. Martín, J.M. Bioral and H.C. Faria-Neto. "Spontaneous effects of Low-level laser therapy (650nm) in acute inflammatory mouse pleurisy induced by carrageenan". Photomed laser surg. 23 (4) (2005) 377-381
- [15] - J. Zamorano, and S.A. Gelymar. "Carraghénanes: agents gélifiants, épaississants et stabilisants". Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire, vol. F3 (2006) N°F5080.
- [16] - D. J., Mc Hugh. "Introduction to commercial resource of seaweeds including *Gelidium*". Hydrobiol, Vol 221 (2003) 19-29.
- [17] - N. Chiadmi, Th. Givernaud, M. Lahaye, A. Amimi, M. Chikaoui & A. Mouradi. "Etude des polysaccharides extrait de quelques algues rouges le long de la côte atlantique marocaine". Riv. Idrobiol. 39. 1/2/3 (2000) 201-214.
- [18] - 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.
- [19] - 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.
- [20] - Th. Givernaud. "Gestion et valorisation des ressources algales au Maroc". Thèse de Doctorat Es sciences. Fac. Sci. Kénitra, Maroc, (2007) 265p.
- [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] - P. Gayral. "Les algues de la côte atlantique marocaine", Soc. SC. Nat. et Phys. du Maroc". Rabat. (1958) 527 p.
- [23] - S. Bennhissoun, 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.
- [24] - A. Amimi, M. Lahaye, Th. Givernaud, N. chiadmi and A. Mouradi. "Structural analysis of *Gigartina pistillata* carrageenans". Carbohydrate Res. 333 (2001) 271-279.
- [25] - F. El Omari, A. Mouradi, D. Lamri, D. lamrioui, M. Hadji and Th. Givernaud. "Croissance et capacité reproductive de *Gymnogongrus patens* (Rhodophyceae, Gigartinales) de la côte atlantique marocaine". Afrique Science. 09 (1) (2013) 102-119.
- [26] - F. El Omari, Aziza Mouradi, Abdelmoula Daagare, Mohamed hadji, Hamid Taouil. "La rhodophycée *Gymnogongrus patens* de la côte atlantique marocaine : variation mensuelle de la croissance et le rendement d'extraction du carraghénane". ScienceLib. V.5, N.130605 (2013).
- [27] - L.M Irvine and W.F. Farnham. Halymeniaceae. In: "Seaweeds of the British Isles. Volume 1. *Rhodophyta*, Part 2A Cryptonemiales (sensu stricto), Palmariales, Rhodymeniales". (Irvine, L.M. Eds) London, 1 (2A) (1983) 17-51.
- [28] - J. Cabioch, J. Y. Floch, A. Le Toquin, C. F. Boudouresque, A. Meinesz and M. Verlaque "Guide des algues des mers d'Europe Manche/Atlantique Méditerranée". Delachaux et Niestlé. (1992) 231p.
- [29] - T.A. Kursar, and R.S. Alberte. "Photosynthetic Unit Organisation in a Red Alga: Relationships between light-harvesting pigments and reaction centres". Plant Physiol. 72 (1983) 409-414.
- [30] - Ziegler and Egle. In: "Mazliak, P. 1982. Physiologie végétale .II : croissance et développement". Hermann. Coll. Méthodes, Paris (1965) 465 p.
- [31] - 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.
- [32] - J.D.H. Strickland, and T. R. Parson. "A practical handbook of seawater analysis". Bull. Fisf. Res. Bd can. 167 (1972) 71-89.
- [33] - J. B. Murphy and J. P. Riley. "A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters". Anal. Chim. Acta. 26 (1962) 31-36.
- [34] - K.M. Mshigeni and W.R. Mziray. "Studies on the littoral ecology and ecophysiology of the carrageenophytes, *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux and *Hypnea valentiae* (Turner) Montagne in Tanzania. In: Marine algae in Pharmaceutical Science (ed. By H A. Hoppe, T. Levring & Y. Tanaka)" (1979) pp: 747-782. Water de Gurter, New York.
- [35] - K.T. Bird. C. Habig. And T. Debusk. "Nitrogen allocation and storage patterns in *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta)". J. Phycol. 18 (1982) 347-348.
- [36] - K. Lüning, "Seaweeds : Their environment, biogeography and ecophysiology". Wiley and Sons, New-York, (1990) 527p.
- [37] - J. Silva and R. Santos. "Comparative ecophysiology of *Gelidium sesquipedale* (Rhodophyta). Erect fronds and prostrate system". Proceeding of the 17th international seaweed symposium; Cap town. Eds. A.R.O. Chapman, R. J. Anderson, V. Vreeland and T.R. Davison, Oxford University press. (2003)417-424.
- [38] - Th. Givernaud, A. Mouradi, L.M. Hassani, R. Akllal, and J. Riyahi. " desing of new technique for reseeded of over harvested bed of *Gelidium sesquipedale* (Turn.) Thuret (Rhodophyta, Gelidiales) in Morocco". Proceeding of the 17th international seaweed symposium; Cap town. Eds A.R.O. Chapman, R.J. Anderson, V. Vreeland & T.R. Davison, Oxford University press, (2003) 123-130.
- [39] - S. El Bacha, A. Mouradi, A. El Gourji, B. Benazzouz and Th. Givernaud. "Cycle biologique de l'agarophytes *Gracilaria multipartita* (Clemente) (Rhodophyceae, Gracilariales) sur la côte Atlantique marocaine". Actes Inst. Argon. Vet. (Maroc) 24 (1-2) (2004a) 23-34.
- [40] - S. EL Bacha, A. El Gourji, Th. Givernaud, Y. Lemoine and A. Mouradi. "Etude écopysiologique de l'agarophytes *Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvey (Rhodophyceae, Gracilariales)". Actes Inst. Argon. Vet. (Maroc). 24 (3-4) (2004b) 107-116.
- [41] - M. Yakovleva, I. M. Yermak, E. A. Titlyanov, A. O. Barabanova, V. P. Glazunov and A. V. Skriptsova. "Changes in growth rate, anatomy and polysaccharide content of a sterile form of *Tichocarpus crinitus* (Gmel.) Rupr. (Rhodophyta, Tichocarpaceae) grown under differing photon irradiances in the Sea of Japan", Russia. Bot. Mar. 44 (2001) 493-500.
- [42] - J. Pfitzing, D. B. Stengel, M. M. Cuffe, A. V. Savage, and M.D. Guiry. "Effects of temperature and prolonged emersion on photosynthesis, carbohydrate content and growth of the brown intertidal alga *Pelvetia canaliculata*". Bot. Mar. 43 (2000) 399-407.
- [43] - C. R. Bulboa, and J. E. Macchiavello. "The effects of light and temperature on different phase of the life cycle in the carrageenan producing alga *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales)". Bot. Mar. 44 (2001) 371-374.
- [44] - M. L., Quartino, H. E. Zaixso and A. L. Boraso de Zaixso. "Biological and environmental characterization of marine macroalgal assemblages in Potter Cove, South Shetland Islands, Antarctica". Botanica Marina. 48 (2005) 187-197.
- [45] - R. Ben Said, M.S. Romdhane, A. EL Abed and R. M'Rabet. " La Rhodophycée *Gelidium spinosum* (S.G. Gmelin) P.C. Silva, des côtes de Monastir (Tunisie) : quelques éléments hydrobiologiques et potentialités en agar-agar". Afrique Sciences 05(1) (2009) 126 - 146
- [46] - J. Aguilera, F.J.L. Gordillo U. Karsten, F.L. Figeroa, F.X. Nieill. "Light quality effect on photosynthesis and efficiency of carbon assimilation in the red alga *porphyra leucostica*", J. Plant Physiol. 157 (2000) 86-92.

- [47] - I. Gomez, F.L. Figueroa, N. Ulloa, V. Morales, C. Lovengreen, P. Huovinen, S. Hess. "Photosynthesis in 18 intertidal macroalgae from southern Chile". *Mar. Ecol., Prog. Ser.* 270 (2004) 103-116.
- [48] - C. Rhee and W. Briggs. "Some responses of *Chondrus crispus* to light I. Pigmentation changes in the natural habitat". *Bot. Gaz.* 138 (1977) 123-128
- [49] - R.E. Moon and C.J. Doves. "Pigment changes under selected wavelengths in the growing tips of *Eucheuma isiformis* (C. Agardh) var *Dendatum cheny* during vegetative growth". *Br. Phycol. J.* 11 (1976) 165-174.
- [50] - A. EL-Gourji. "Biologie et biochimie de l'algareophyte *Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvey (Rhodophycée, Gracilariales)". Thèse de doctorat en sciences. Fac. Sci. Kénitra, Maroc. (1999) 166 p.
- [51] - L. M. Hassani, "Biologie, Biochimie et écophysiole de l'algareophyte *Gelidium sesquipedale* (Turner) Thuret (Rhodophycées, Gélidiales)". Thèse de Doctorat en sciences, Fac. Sci. Kénitra, Maroc. (2000) p. 157.
- [52] - B.E. Lapointe. "The effect of light and nitrogen on growth, pigment content, and biochemical composition of *Gracilaria folifera* v. *angustissima*". *J. phycol.* 17 (1981) 90-95.
- [53] - E. Steeman Nielson. "Marine photosynthetic special emphasis on the ecological aspects". Elsevier, Amsterdam. (1975) 141 p.
- [54] - Y. Yokohama and A. Kageyama. "A carotenoid characteristic of chlorophycean seaweeds living in deep coastal waters". *Bot. Mar. (Berl.)* 20 (1977) 433-436.
- [55] - W. N. Wheeler. "Effects of boundary layer transport on the fixation of carbon by giant kelp *Macrocystis pyrifera*". *Mar. Biol.* 56 (1980) 103-110.
- [56] - S. Fredericksen and J. Rueness. "Culture studies of *Gelidium latifolium* (Grev.) Born. et Thur. (Rhodophyta) from Norway. Growth and nitrogen availability". *Bot. MAR.* 32 (1989) 539-546.
- [57] - S.O. Asare and M.M. Harlin. "Seasonal fluctuation in tissue nitrogen for five species of perennial macroalgae in Rhode Island Sound". *J. phycol.*, 19 (1983) 254-257.
- [58] - V. Kosovel and L. Talarico. "Seasonal variations of photosynthetic pigments in *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenfus (Florideophyceae- Gigartinales)". *Bolletino Delle Societa, Adriatica Di scienze* IXIII. (1979) 5-15.
- [59] - (Turner) Thuret (Rhodophyceae, Gélidiales) de la côte atlantique marocaine". *Afrique Science.* 09 (3) (2008) 434-460.
- [60] - E. Gantt. "Pigmentation and photacclimation. In *Biology of red algae* (eds. Cole, K.M. and Sheath, R.G.)". Cambridge University Press. (1990) p. 203-219.
- [61] - M. Friedlander, R. Shalev, T. Ganor, S. Strimling, A. Ben-Amotz, H. Klar, and Y. Wax. "Seasonal fluctuations of growth rate and chemical composition of *Gracilaria conferta* in outdoor culture in Israel". *Hydrobiologia.* 151/152 (1987) 501-507.
- [62] - L. Navarro-Angulo, and D. Robledo. "Effects of nitrogen source, N:P ratio and N-pulse concentration and frequency on the growth of *Gracilaria cornea* (Gracilariales, Rhodophyta) in culture". *Hydrobiologia.* 398/399 (1999) 315-320.
- [63] - S. Beer, and I. Levy. "Effects of the photon fluency rate and light spectrum composition on growth, photosynthesis and pigment relations in *Gracilaria* sp". *J. Phycol.* 19 (1983) 516-522.
- [64] - K. Lüning and M.J. Dring. "Action spectra and spectral quantum yield of photosynthesis in marine macroalgae with thin and thick thali". *Mar. Biol.* 87 (1985) 119-129.
- [65] - F.L. Figueroa, J. Aguilera, F.X. Niell. "Red and blue light regulation of growth and photosynthetic metabolism in *Porphyra umbilicalis* (Bangiales, Rhodophyta)". *Eur. J. Phycol.* 30 (1995) 11-18.
- [66] - L. Talarico and G. Maranzana, "Light and adaptive responses in red macroalgae: an overview". (1998) Disponible à <http://www.photobiology.com/photobiology99/contrib/laura/>

- [67] - I. Tsekos, F. X.Niell, J. Aguilera, F. López-Figueroa and S. G. Delivopoulos “Ultrastructure of the vegetative gametophytic cells of *Porphyra leucosticta* (Rhodophyta) grown in red, blue and green light”. *Phycological Research*. 50 (2002) 251-264.
- [68] - I. Gomez, F.L. Figueroa, P. Huovinen, N. Ulloa, V. Morales. “Photosynthesis of the red alga *Gracilaria chilensis* under natural solar radiation in an estuary in southern Chile”. *Aquaculture* 244 (2005) 369-382
- [69] - 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.
- [70] - A. Mouradi, M. Chikhaoui, M. Fekhaoui, L. Bennasser, N. Chiadmi and Th. Givernaud. “Croissance et capacité reproductive d’*Hypnea musciformis* (Rhodophyceae, Gigartinales) de la côte atlantique marocaine”. *Afrique Science*. 04 (1) (2008) 99-124.
- [71] - Az. Mouradi, A. Amimi, F. El Omari, Ah. Mouradi and T. Givernaud. “Biological cycle of *Gigartina pistillata* (Gmelin) Stackhouse in Nations beach of Morocco”. *Algological Studies*. Vol. 123 (2007) 73-93.