

Analyse de la croissance de *Gymnogongrus patens* Agardh de la côte atlantique marocaine

Fatah EL OMARI¹, Aziza MOURADI^{1*}, Leila BENNASER¹, Manar BENNIS¹,
Hicham BLAIL¹, Ahlam MOURADI¹ et Thierry GIVERNAUD²

¹ Laboratoire de biochimie, biotechnologies et environnement, Faculté des sciences,
B.P. 133 - 14000 Kénitra, Maroc.

² SETEXAM, Usine El Assam Route de Tanger, B.P. 210, 14000 Kénitra, Maroc.

(Reçu le 21 Septembre 2006, accepté le 25 Août 2007)

* Correspondance, courriel : mouradi14@caramail.com

Résumé

La croissance du carraghénophyte, *Gymnogongrus patens* J. Agardh (Rhodophyta, Phylloporaceae) a été analysée sur des échantillons d'algues récoltés 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 des paramètres de croissance (longueur, poids et nombre total de ramifications) de l'algue a montré que sa croissance est plus liée à la prolifération des ramifications qu'à l'élongation des thalles.

L'influence des facteurs environnementaux (température, salinité, nitrates, et phosphates) sur l'évolution de la croissance a été étudiée par des analyses en composantes principales (ACP).

L'analyse quantitative en composantes principales a montré une variation saisonnière des trois paramètres de croissance. Ainsi, les variables poids, ramifications totales, température, salinité et concentration en nitrates sont corrélées positivement avec l'axe factoriel F1. L'axe factoriel F2 est corrélé positivement aux variables longueur du thalle et concentration en phosphates. Il est à noter que les teneurs en phosphates sont corrélées négativement avec l'axe F1.

Mots-clés : *Gymnogongrus patens*, croissance, analyses statistiques, Maroc.

Abstract

Growth analysis of *Gymnogongrus patens* Agardh on Moroccan Atlantic coast

The growth of *Gymnogongrus patens* J. Agardh (Rhodophyta, Phylloporaceae) has been analyzed on samples collected monthly on a one year cycle from April 2002 to March 2003 on Médhia beach (North west Atlantic coast of Morocco).

The analysis of growth parameters (length, weight and total number of ramifications) showed that the seaweed growth is more linked to the ramification multiplication than to axis elongation.

The influence of environmental parameters (temperature, salinity, nitrates and phosphates) on growth has been studied using Principal Components Analysis. This analysis showed a seasonal variation of the three growth parameters. The frond weight, total number of ramifications, temperature, salinity and nitrates concentration are positively correlated to factorial axis F1. The second axis F2 is correlated to frond length and phosphate concentration. Phosphates are negatively correlated to F2 axis.

Keywords : *Gymnogongrus patens*, growth, statistical analyses, Morocco

1. Introduction

L'Afrique du Sud et le Maroc sont les deux pays africains qui s'intéressent à l'industrie des phycocolloïdes. Au Maroc, l'industrie de l'agar a développé, tout le long des côtes marocaines, une activité de récolte qui assure un emploi permanent ou temporaire à plus de 8000 personnes et constitue un chiffre d'affaire à l'exportation de plus de 20 millions de dollars par an. Cette industrie place le Maroc parmi les premiers producteurs mondiaux. Par contre, 400 à 600 tonnes d'algues carraghénophytes sont, exportées à l'état brut et mériteraient d'être transformés localement. Dans ce cadre il serait judicieux de structurer l'exploitation de ces ressources et de développer leur aquaculture.

Il est démontré que chez les espèces algales la croissance est saisonnière [1-9]. Plusieurs facteurs physicochimiques du milieu interviennent dans la croissance des algues tels que, la lumière, la température, le pH et l'enrichissement du milieu en sels nutritifs et en carbonates [10-19].

Les carraghénanes sont des polysaccharides très sulfatés extraits de la paroi cellulaire de la majorité des Gigartinales ; ils sont utilisés comme gélifiant et épaississant dans les industries agroalimentaires, médicales pharmaceutiques, et cosmétologiques [20-23].

Environ 15 structures idéales de carraghénanes ont été définies et désignées par des lettres Grec ; les plus utilisées industriellement sont les kappas, iota et lambda

carraghénanes [24]. Le développement actuel des aliments prêts à consommer et de produits diététiques est à l'origine de l'augmentation mondiale de la production de carraghénanes et de la surexploitation des ressources naturelles, il est donc très important de structurer l'exploitation des ressources en carraghénophytes et de développer l'aquaculture, à l'image de ce qui se passe en Extrême Orient.

Le genre *Gigartina* [25,26] est le carraghénophyte le plus exploité au Maroc. L'espèce *Gymnogongrus patens* présente également une large distribution géographique [27,28] et produit un carraghénane kappa/iota, très demandé dans l'industrie laitière en particulier.

Le suivi de la croissance *in situ* de cette espèce est indispensable pour son exploitation industrielle au Maroc. Dans le cadre d'un programme de recherche pour la valorisation des carraghénophytes marocains, notre travail a eu pour objectif d'étudier la biologie en milieu naturel de l'espèce *Gymnogongrus patens*. Au cours d'un cycle annuel l'influence des facteurs environnementaux sur le déroulement de son cycle de développement a été étudiée, en vue de situer les périodes favorables de récolte et cerner les conditions favorables pour son aquaculture.

2. Matériel et Méthodes

Gymnogongrus patens est une espèce annuelle diplobionte qui appartient à la famille des Phyllophoracées. L'espèce est abondante sur les rochers en milieu battu au niveau de la zone littorale inférieure. Cette algue est présente en Atlantique Nord, sur tout le littoral marocain [29,30]. Les prélèvements ont été effectués à marée basse.

2-1. Détermination de l'espèce *G. patens*.

Le thalle des Phyllophoracée, 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* et *Stenogramme*.

Gymnogongrus se distingue des autres genres de Phyllophoracées par des thalles coriaces plus ou moins comprimés (**Figure 1A**), 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 [29]. D'un point de vue morphologique, les espèces du genre *Gymnogongrus* sont très proches, en particulier *Gymnogongrus norvegicus* (Gunner) Agardh et *Gymnogongrus patens*.

Des coupes histologiques transversales du thalle ont été réalisées avec un cryomicrotome pour s'assurer de la détermination de l'espèce étudiée (**Figure 1B**).

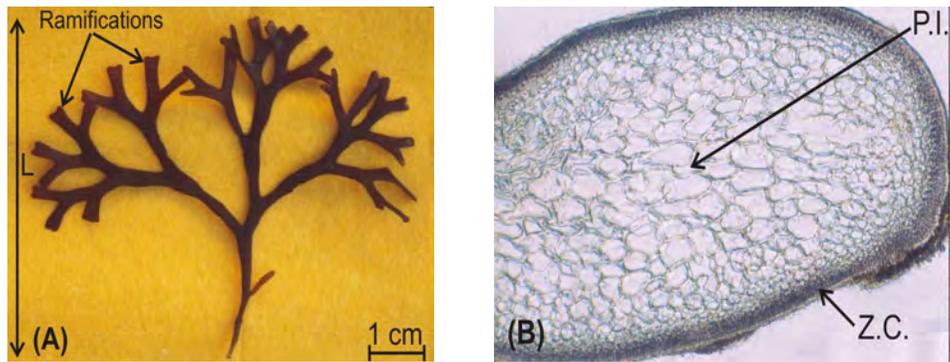


Figure 1 : Morphologie et cytologie du thalle de *Gymnogongrus patens* récoltée à la plage de Méhdia. L : Longueur du thalle ; Z.C. : Zone corticale assimilatrice ; P.I. : Parenchyme incolore. (A) : Morphologie externe ; (B) : Coupe transversale (x 100).

2-2. Présentation du site de récolte

L'échantillonnage de *G. 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**).

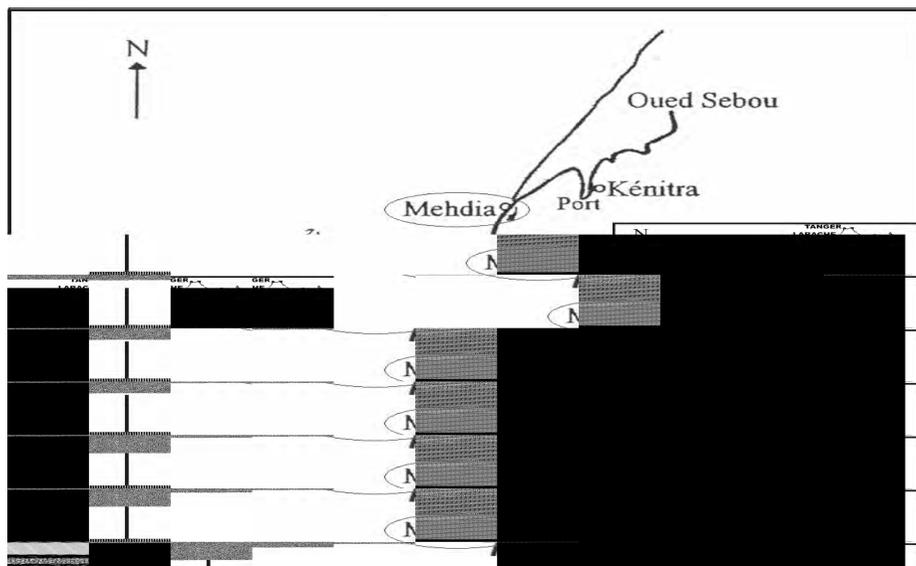


Figure 2 : Situation géographique du site de récolte.

Le choix de ce site était basé sur sa proximité du laboratoire et la présence de l'espèce en grande quantité. La plage de Méhdia se situe entre les parallèles 34° et 35° , 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.

2-3. Croissance

2-3-1. Analyse de la croissance en milieu naturel

L'analyse quantitative de la croissance de *G. patens* a été réalisée sur un échantillon mensuel constitué de 100 thalles cueillis au hasard dans le site de récolte durant la période d'étude d'avril 2002 à mars 2003.

Sur chacun des thalles récoltés mensuellement, trois paramètres de croissance ont été mesurés : Longueur du thalle (L en cm), Poids individuel du thalle (P en g) et le nombre total de Ramifications (Rt) (**Figure 1**).

2-3-2. Analyse physicochimique de l'eau de mer

Des prélèvements d'eau de mer ont été effectués mensuellement au niveau du site de récolte afin de suivre les variations mensuelles des principaux facteurs physicochimiques régissant le cycle de développement de l'algue étudiée, à savoir : la température (T), la salinité (S), les nitrates (N) et les phosphates (P).

La température de l'eau de mer a été mesurée, *in situ* à l'aide d'un thermomètre à mercure gradué au $1/10^{\circ}\text{C}$ 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 [32]. Les nitrites ainsi formés sont dosés par la méthode classique au sulfanilamide/dichlorhydrate [33]. Les phosphates (PO_4^{3-}) sont dosés par la méthode de Stephens [34], qui est une extension de celle décrite par *Murphy et Riley* [35]. Elle est très sensible et particulièrement adaptée pour mesurer les faibles concentrations en phosphates.

2-4. Analyses statistiques

2-4-1. Analyse de variance et comparaison des moyennes

La variabilité des paramètres de croissance (L, P, et Rt) a été étudiée par une analyse de variance à un facteur (mois) réalisée par la procédure ANOVA du logiciel SAS [36].

La comparaison multiple des moyennes de chaque paramètre de croissance ainsi que leur classement, ont été effectués par le test de Duncan, chaque fois que l'analyse de variance révélait des différences significatives [37].

2-4-2. Analyse de corrélation

Une analyse de régression a été réalisée afin d'étudier les corrélations qui pouvaient exister entre les paramètres physicochimiques de l'eau de mer et les paramètres de croissance chez *Gymnogongrus patens*.

2-4-3. Analyse en composantes principales (ACP)

L'évaluation de l'effet des facteurs environnementaux sur la croissance de *G. patens* en milieu naturel a été assurée par une analyse en composantes principales (ACP) en combinant les trois paramètres de croissance cités précédemment (L, P et Rt) et les quatre facteurs physicochimiques du milieu (T, S, N et P). Au cours de cette étude, l'analyse en composantes principales a été effectuée sur la matrice de données formée par les 12 relevés annuels effectués à la plage de Méhdia.

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.

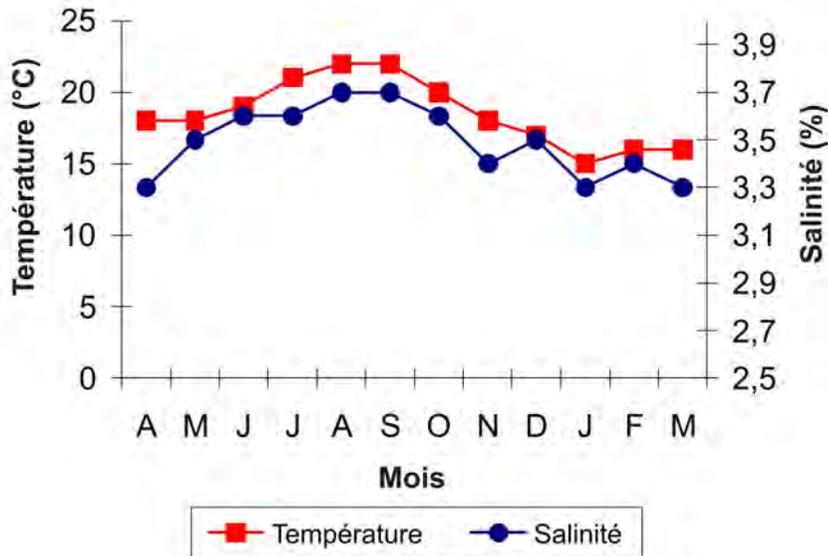


Figure 3 : *Variation mensuelle de la température et de la salinité de l'eau de mer à la station de Méhdia (avril 2002 à mars 2003)*

3-1-3. Nitrates

La **Figure 4** montre que le taux de nitrates varie entre un minimum de 1,41mg.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 µatg.l⁻¹ au mois de février.

Les concentrations en nitrates et en phosphates montrent une variation mensuelle importante. Celle-ci est liée aux apports fluviaux de l'oued Sebou.

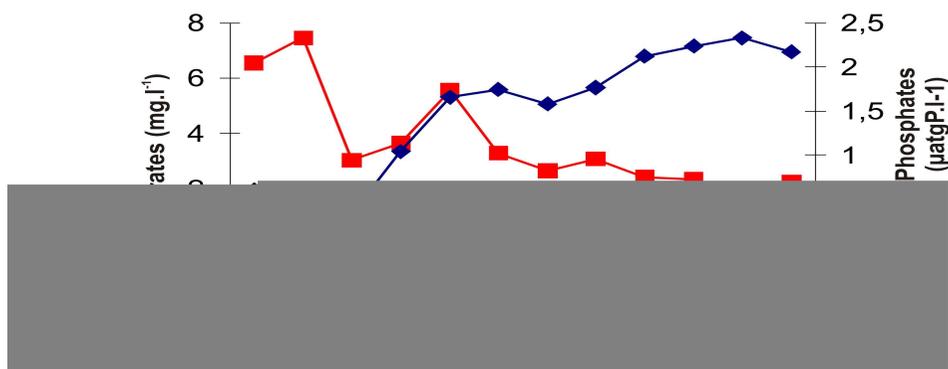


Figure 4 : Variations mensuelles de la concentration en nitrates et en phosphates de l'eau de mer de la station de Méhdia (avril 2002 à mars 2003)

3-2. Analyse des variations moyennes des paramètres de croissance de *Gymnogongrus patens*

L'évolution des paramètres de croissance pendant la période d'étude montre une variation saisonnière. Le suivi mensuel de la longueur moyenne de *G. patens* (Figure 5) montre que la période s'étalant de juin à novembre connaît une croissance accélérée de l'algue en longueur, avec une faible diminution en septembre, correspondant à l'émission massive des cellules reproductrices par l'algue. Elle diminue de novembre à mars et est relativement stable entre avril et juin. La taille varie entre un minimum de 4,16 cm en avril et un maximum de 7,55 cm en novembre.

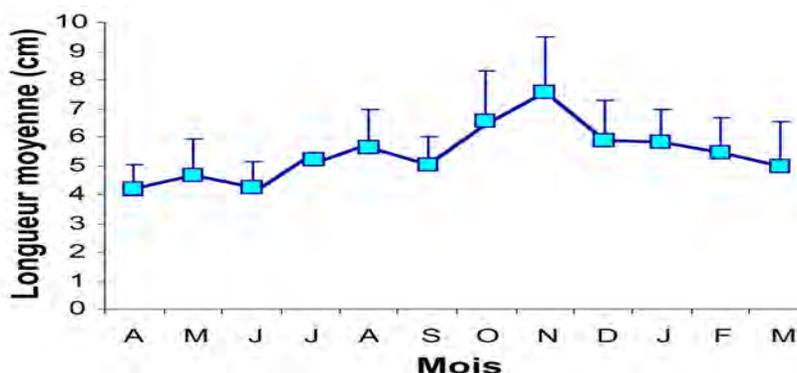


Figure 5 : Evolution de la longueur moyenne des thalles de *Gymnogongrus patens* récoltée dans la station de Méhdia, d'avril 2002 à mars 2003 (n = 100).

L'évolution mensuelle du poids moyen des thalles (**Figure 6**) montre une variation entre un minimum de 0,29 g en février et un maximum de 0,91 g en août. Le poids moyen diminue d'août à novembre pour rester relativement stable entre novembre et mars. Par contre, une activation de la croissance en poids a été observée durant la période s'étalant d'avril à août.

La courbe d'évolution du nombre total de ramifications présente presque la même allure que celle du poids avec une diminution brutale du nombre total de ramifications en octobre (**Figure 7**). Le nombre total de ramifications augmente d'avril jusqu'au mois d'août avec une valeur maximale de 116,92 ramifications par thalle et un minimum en décembre de 32,95.

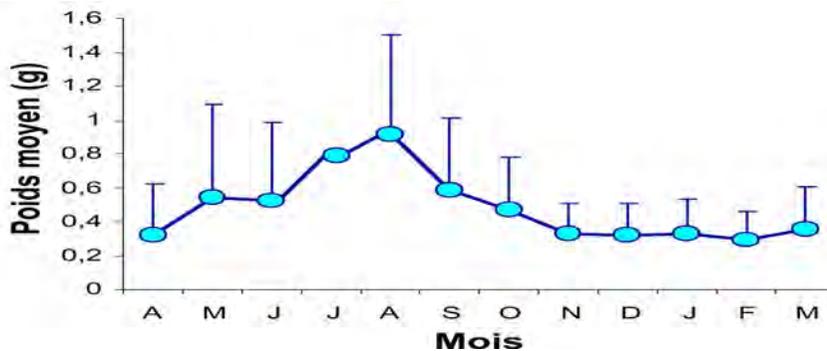


Figure 6 : Evolution du poids moyen des thalles de *Gymnogongrus patens* récoltée dans la station de Méhdia, d'avril 2002 à mars 2003 (n = 100).

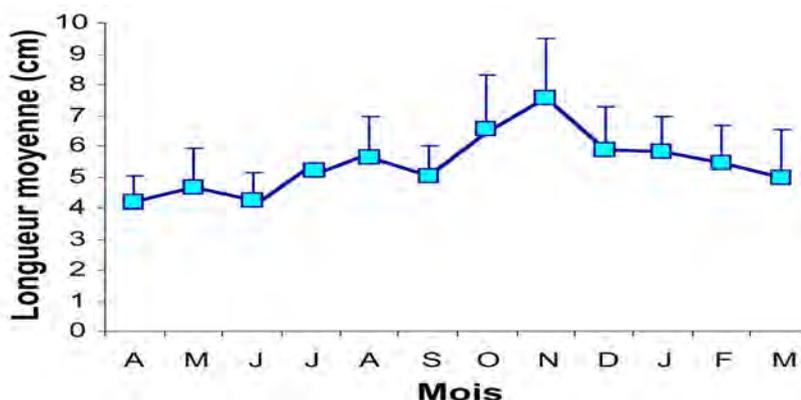


Figure 7 : Evolution du nombre moyen de ramification total des thalles de *Gymnogongrus patens* récoltée dans la station de Méhdia, d'avril 2002 à mars 2003 (n = 100).

3-3. Analyse statistique des variations des paramètres de croissance

3-3-1. Analyse de variance et comparaison des moyennes

Tableau 1 : Analyse de variance des paramètres de croissance de *Gymnogongrus patens* récolté à Méhdia (année 2002-2003).

Paramètres de croissance	Source de variation	S.C.E	d.d.l	C.M	F	Probabilité (signification)
Longueur du thalle	entre mois	1103,3	11	100,3	59,03	0,0001 (...)
	résiduelle	2018,6	1188	1,7		
	totale	3121,9	1199			
Poids du thalle	entre mois	34,3	11	3,12	23,9	0,0001 (...)
	résiduelle	155,0	1188	0,13		
	totale	189,3	1199			
Nombre total de ramifications	entre mois	977950,4	11	88904,6	34,4	0,0001 (...)
	résiduelle	3072419,7	1188	2586,2		
	totale	4050370,1	1199			

(***) : Différences significatives à 1 %.

S.C.E. : Somme des carrés des écarts, d.d.l. : degré de liberté,

C.M : carré moyen ou variance.

Tableau 2 : Comparaison des moyennes mensuelles des trois paramètres de croissance durant la période d'étude Avril 200- Mars 2003 (Test de Duncan)

Longueur				Poids				Ramification totale			
Mois	X	D.S	Groupes Duncan	Mois	X	D.S	Groupes Duncan	Mois	X	D.S	Groupes Duncan
Novembre	7,6	1,9	a	Août	0,91	0,59	a	Août	116,9	72,7	a
Octobre	6,4	1,9	b	Septemb	0,58	0,43	b	Septemb	102,3	71,0	b
Décembre	5,9	1,4	c	Mai	0,54	0,55	b	Juin	96,0	75,4	bc
Janvier	5,8	1,3	cd	Juin	0,52	0,46	bc	Mai	86,9	69,9	c
Août	5,6	1,3	cd	Octobre	0,47	0,30	bc				
Février	5,5	1,2	d					Avril	65,9	54,4	d
Septembre	5,0	0,9	e	Mars	0,36	0,25	de	Mars	45,1	40,6	e
Mars	4,9	1,1	e	Janvier	0,33	0,20	de	Octobre	41,4	30,3	e
Mai	4,7	4,7	e	Novemb	0,33	0,18	de	Février	40,0	25,9	e
				Avril	0,32	0,29	de	Janvier	36,4	25,5	e
Juin	4,2	0,9	f	Décemb	0,32	0,19	de	Novemb	36,3	22,4	e
Avril	4,1	0,9	f	Février	0,29	0,17	e	Décemb	32,9	20,3	e

X : Moyenne ; D.S : déviation standard. (a,b,c,d,e,f) : les mois portant des lettres différentes pour le même paramètre de croissance montrent des différences significatives au seuil de 5 % (comparaison multiple des moyennes par le test de Duncan).

L'analyse de variance (**Tableau 1**) révèle des effets hautement significatifs du facteur mois sur la longueur, le poids et le nombre total de ramifications des thalles.

La comparaison des moyennes par le test de Duncan a permis le classement des 12 mois de l'année les uns par rapport aux autres pour chaque paramètre de croissance (**Tableau 2**). Ainsi le mois d'août présente les valeurs maximales pour le poids et le nombre total de ramifications. Alors que le mois de novembre montre les thalles les plus longs.

3-3-2. Analyse des corrélations

Les corrélations entre les différents paramètres de croissance étudiés sont consignées dans le **Tableau 3**. Les résultats montrent une importante corrélation positive entre le poids et le nombre total de ramifications des thalles ($r = 0,94$). Par contre une très faible corrélation positive entre la longueur et les autres paramètres de croissance de *G. patens* a été notée.

Tableau 3 : Coefficients de corrélation entre les différents paramètres de croissance étudiés chez *G. patens* récoltée à Méhdia.

	Longueur du thalle	Poids frais du thalle	Nombre de ramifications total
Longueur du thalle	1	0,27 (**)	0,10 (**)
Poids du thalle	-	1	0,94 (***)
Nombre de ramifications totales	-	-	1
Poids sec / Poids frais	-	-	-

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

3-3-3. Analyse en Composantes Principales (ACP)

Afin d'évaluer l'effet des facteurs environnementaux sur la croissance de *Gymnogongrus patens* en milieu naturel, une étude synthétique a été effectuée par analyse en composantes principales. La matrice des données est formée par les 12 relevés mensuels pendant une année d'étude, correspondant aux trois paramètres de croissance (L, P et Rt) et aux quatre indicateurs physicochimiques du milieu (T, S, N et Ph).

Les pourcentages d'inertie des deux premiers axes F1 et F2 totalisent 80,4 % d'information sur les corrélations qui existent entre les variables étudiées (**Tableau 4**).

Les résultats de l'analyse des corrélations indiquant les coefficients de corrélation entre les variables étudiées et chacune des composantes principales retenues (F1 et F2) montrent que les variables P, Rt, T, S et N sont corrélées positivement avec l'axe factoriel F1 (**Tableau 5**). La deuxième composante principale F2 est corrélée positivement aux variables L et Ph. Il est important de noter que les teneurs en phosphates sont corrélées négativement avec l'axe F1.

Tableau 4 : Répartition de l'inertie entre les axes F1 et F2.

Axes	Valeurs propres [λ]	Inertie totale [%]	Inertie cumulée [%]
F1	3,99	56,97	56,97
F2	1,64	23,41	80,38

Tableau 5 : Coefficients de corrélation entre les variables étudiées et chacune des composantes principales retenues (F1 et F2).

		L [cm]	P [g]	Rt totale	T [°C]	S [%]	N [mg l ⁻¹]	Ph [μ atg l ⁻¹]
F1	r	-0,47	0,85	0,95	0,84	0,77	0,64	-0,65
	p	0,13	<u>0,0005</u>	<u>0,0001</u>	<u>0,0005</u>	<u>0,0031</u>	<u>0,0234</u>	<u>0,0218</u>
	s	N.S	***	***	***	**	*	*
F2	r	0,67	0,36	-0,009	0,38	0,53	-0,51	0,61
	p	<u>0,0178</u>	0,2498	0,9772	0,2158	0,0739	0,0922	<u>0,0349</u>
	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 5 %, 1 % et 1 %.

La projection des relevés mensuels de *Gymnogongrus patens* sur la carte factorielle définie par le plan F1 x F2 montre une large répartition des différents prélèvements sur ce plan. Nous distinguons ainsi deux groupes de relevés (**Figure 8**):

- Le premier groupe (I), défini par les paramètres de croissance en poids et ramifications totales et les variables environnementales température, salinité et concentration en nitrates, suit un gradient de croissance qui paraît être affectée par ces trois facteurs du milieu.

- Le deuxième groupe (II) inclut la longueur du thalle et la concentration en phosphates. L'élongation des thalles semble être influencée par les teneurs en phosphates de l'eau de mer.

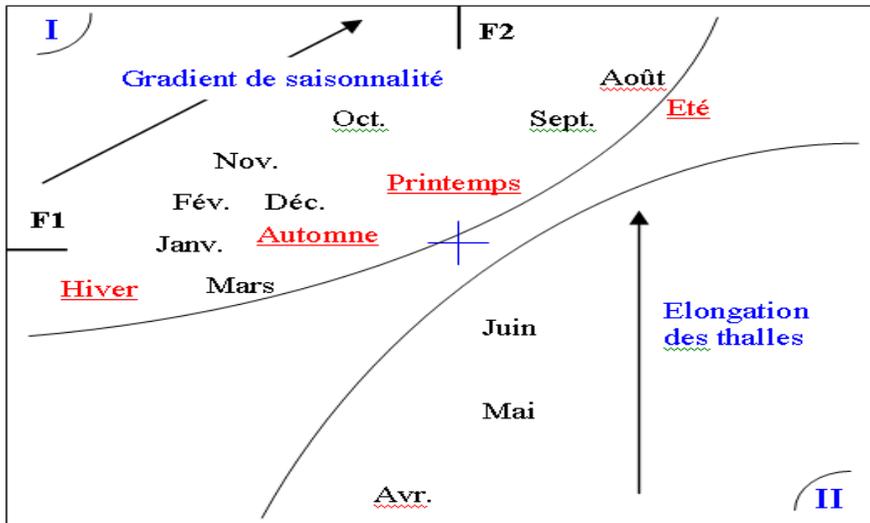


Figure 8 : Carte factorielle des relevés mensuels de *Gymnogongrus patens* récoltée à la plage de Méhdia (projection sur le plan factoriel F1x F2).

4. Discussion

En dehors des travaux sur la systématique des algues réalisés par [29], aucune étude sur l'écophysiologie de *Gymnogongrus patens* n'a été menée. Cependant, plusieurs auteurs ont signalé l'effet des facteurs environnementaux sur la croissance et le développement des algues. En effet, la croissance de la plupart des organismes montre des fluctuations dues aux variations des facteurs : température, lumières, salinité, nitrates et phosphates [9,15,17,24,38-40]. Déjà, d'autres auteurs [41-44] avaient suggéré que les facteurs externes n'affectent pas seulement l'activité physiologique des cellules, mais modifient également le déroulement de la vie de la fronde.

L'étude du cycle de croissance de plusieurs espèces de carraghénophytes présentes sur le même site d'étude (Méhdia) telles que *Hypnea musciformis* [39], *Gigartina pistillata* [45,46], montre que ces organismes présentent une taille minimale en hiver, puis se développent rapidement au printemps et en été grâce à une augmentation de la température et de l'intensité lumineuses, ce qui favorise leur photosynthèse.

L'analyse quantitative des paramètres de croissance de *Gymnogongrus patens* en milieu naturel, montre que de novembre à mars, la taille, le poids et le nombre total des ramifications des thalles diminuent ou se stabilise. Ceci est dû à la fragmentation des thalles suite à des lésions provoquées par la libération des cellules de reproduction, la croissance est pratiquement nulle. Au cours du mois de novembre en particulier, les thalles présentent des axes longs, grêles et sans ramifications, identiques aux stolons de certaines espèces telle que *Caulerpa taxifolia*, *Gelidium latifolium* ou *Gelidium sesquipedale*.

Cette élongation anormale des thalles laisse prévoir une dégradation des frondes en fin d'automne en vu de leur fixation pour donner de nouvelles pousses comme cela a été montré pour *Gelidium sesquipedale* [47]; *Gelidium latifolium* [4] pour *Gracilaria multipartita* [9,48] pour *Hypnea musciformis* [39]. Ce phénomène a été interprété par ces auteurs comme un moyen favorisant la dissémination de l'espèce.

Une activation importante de la croissance par gain en poids, en longueur et en nombre total de ramifications des thalles se produit de juin à août. La stimulation de la croissance pendant cette période peut être expliquée par l'augmentation de l'intensité lumineuse, de la température et de la durée d'éclairement. Ceci confirme les résultats obtenus chez *Gelidium sesquipedale* [49, 50].

De nombreuses études montrent l'effet de la qualité spectrale de la lumière sur l'activité photosynthétique, la croissance, la morphogenèse et le développement des espèces algales [11, 49, 51, 52]. Ce facteur a également une influence sur les concentrations en pigments photosynthétiques, la structure des protéines, les teneurs en azote totale intracellulaire et sur le rapport carbone/azote [49]. Chez les macros algues, l'accumulation de nitrates sous différentes formes est produite par l'incorporation de nitrates et la stimulation de l'activité du nitrate réductase sous le contrôle des photorécepteurs non photosynthétiques. Ainsi, au cours de la période estivale (juin à août) *Gymnogongrus patens*, une forte intensité lumineuse et une longue photopériode par temps calme, ce qui pourrait contribuer à expliquer le bon déroulement de système photosynthétique et par conséquent, l'activation de sa croissance en cette période de l'année.

L'analyse du diagramme de corrélations des différents paramètres de croissance a montré une importante corrélation positive entre le poids et le nombre total de ramification. Des résultats similaires ont été notés chez *Gracilaria multipartita* [17,48], *Gelidium sesquipedale* [50], et *Gigartina pistillata* [45, 46]. Alors que ces deux derniers paramètres s'avèrent peu corrélés avec la longueur du thalle. Des résultats différents sont obtenus chez *Hypnea musciformis* [39] et chez *Chondracanthus teedei* var. *lusitanicus* [53]. Ces résultats permettent de supposer que la croissance chez

Gymnogongrus patens est plus liée à la production de ramifications qu'à l'élongation des thalles. En effet, la croissance de cette algue se fait par la prolifération de nouvelles ramifications.

L'Analyse en Composante Principale précise que l'élongation des thalles semble être influencée par les teneurs en phosphates de l'eau de mer. Ces résultats confirment ceux obtenus sur la longueur des thalles de l'espèce *Gigartina pistillata* [45] et *Gelidium sesquipedale* [50]. La croissance en longueur des thalles est influencée 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 [17,54].

Les paramètres de croissance, poids et ramification totale sont affectés par les trois facteurs du milieu à savoir température, salinité et nitrates. Des résultats similaires ont été observés par [46] chez *Gigartina pistillata* pour les deux premiers facteurs du milieu. De même pour une autre espèce carraghenophyte, *Chondracanthus teedei* var. *lusitanicus*, dont la biomasse et la longueur des thalles sont contrôlées avec la température et la salinité du milieu [53]. Le facteur nitrate ne semble influencer aucun paramètre de croissance de cette espèce. Le même résultat a été observé chez *Gigartina pistilla* [46]. Ce résultat ne peut être expliqué que par une très bonne assimilation des nitrates par ces algues, même lorsqu'ils ne se trouvent qu'en faibles quantités dans le milieu naturel.

L'analyse de variance révèle des effets hautement significatifs du facteur mois sur la longueur, le poids et le nombre total de ramification des thalles et donc sur le cycle de développement de l'algue. Des résultats similaires, concernant l'évolution du cycle de développement au cours de l'année, ont été décrits pour *Gracilaria gracilis* dans la région du Cap Gris-Nez en France [55]. A partir de fin octobre les frondes se fragmentent et disparaissent ; les individus passent alors l'hiver sous forme de disque. En 1996, Pondevida and Hurtado-Ponce [56] ont montré que la biomasse de *Gracilaria changii*, *G. manilaensis* et *G. bailinae*, récoltés à Iloilo aux philippines, varient en fonction de la saison. Lee et al. [8] ont également montré que la biomasse de *Gracilaria tenuistipitata*, au sud de Taiwan, présente un maximum de croissance en été et un minimum en hiver. Les mêmes résultats ont été également notés par Luhan [57] pour *Gracilaria heteroclada* récolté à Jaro au Philippines, puis par Yakovleva et al. [12] pour le carraghénophyte *Tichocarpus crinitus*.

5. Conclusion

L'analyse quantitative de la croissance de *Gymnogongrus patens* récoltée mensuellement sur la plage de Méhdia a permis de montrer que la croissance de ce carraghénophyte révèle une variation saisonnière. Cette croissance est plus liée à la production des ramifications qu'à l'élongation des thalles. De plus, la croissance de cette algue, définie par les deux paramètres poids et ramification totale des thalles, est maximale au cours de la période estivale (juin à août). D'autre part, il est à signaler que l'espèce est pérennante par sa partie distale.

L'analyse de variance effectuée sur les paramètres de croissance a révélé des effets hautement significatifs du facteur mois sur la variation de la longueur, du poids et du nombre de ramification total des thalles.

L'analyse quantitative en composantes principales a montré une variation saisonnière des trois paramètres de croissance. Au cours de l'automne (septembre - novembre) *Gymnogongrus patens* s'allonge alors que le poids et le nombre de ramification total diminuent. Par contre une forte croissance, traduite par un gain en poids et en ramifications est constatée pendant le printemps (avril - juin) et l'été (juillet et août). En hiver, (décembre-février) les trois paramètres de croissance sont pratiquement stables. Le gain en poids et en nombre de ramifications pendant le printemps et l'été est expliqué par une élévation de la température, de l'intensité lumineuse et de la durée de l'éclairement. L'ACP précise l'influence des facteurs physicochimiques de l'eau de mer sur l'évolution de cycle de développement de l'espèce.

La meilleure période de récolte de l'espèce en vue de son exploitation est l'été, avant le début de dégénérescence des frondes en automne. Il serait important d'éviter, pour cette espèce, les erreurs de gestion commises dans l'exploitation de *Gelidium sesquipedale* au Maroc [65]. Il faut, en particulier, respecter l'appareil de fixation des thalles assurant la production de nouvelles frondes chaque année. La mise en exploitation devrait être accompagnée d'un suivi des peuplements pour faire évoluer la réglementation de la période de récolte en fonction de la réponse de la ressource naturelle.

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce aux projets : convention avec la société de production d'agar Setexam, la collaboration française (Action intégrée 110/SVS/97), le ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur, de la formation des cadres et de la recherche scientifique et le CNRST, que nous tenons à remercier. Nous remercions vivement Madame le professeur Bouchra Benazzouz pour sa participation active dans les traitements statistiques.

Références

- [1] - Y. C. Wang, G. Y Pan and L. C. M. Chen. "Studies on agarophytes. II. Field observations and growth of *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta) in Shantou Distric.Guandoug". *Bot. Mar.* 27 (1984) 265-268.
- [2] - W. A. Laing, J. T. Chisteller and B. E. Terzaghi. "The effect of temperature, photon flux density and nitrogen growth of *Gracilaria sordida* Nelson (Rhodophyta)". *Bot. Mar.* 32 (1989) 439-445.
- [3] - A. Mouradi. "Recherches biologiques et biochimiques pour la production d'agarose chez *Gelidium latifolium*". Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles. Université de Caen, France (1992) 315p. 1992CAEN2026
- [4] - A. Mouradi-Givernaud, T. Givernaud, H. Morvan and J. Cosson. "Agar from *Gelidium latifolium* (Rhodophyceae, Gélidiales) : Biochemical composition and seasonal variations". *Bot. Mar.* 35 (1992) 153-159.
- [5] - A. Mouradi-Givernaud, Th. Givernaud, H. Morvan and J. Cosson. "Annual variations of biochemical composition of *Gelidium latifolium* (Greville) Thuret et Bornet". *Hydrobiologia.* 260/261 (1993) 607-612.
- [6] - Th. Givernaud, A. El Gourji, A. Mouradi-Givernaud, Y. Lemoine and N. Chiadmi. "Seasonal variations of growth and agar composition of *Gracilaria multipartita* harvested along the Atlantic coasts of Morocco". *Hydrobiologia.* 398/399 (1999) 167-172.
- [7] - A. Mouradi-Givernaud, L. M. Hassani, T. Givernaud, Y. Lemoine and O. Benharbet. "Biology and agar composition of *Gelidium sesquipedale* harvested along the Atlantic coast of Morocco". *Hydrobiologia* 398/399 (1999) 391-395.
- [8] - T. M. Lee, Y. C. Chang and Y. H. Lin. "Differences in physiological responses between winter and summer *Gracilaria tenuistipitata* (Gracilariales, Rhodophyta) to varying temperature". *Bot. Bull. Acad. Sin.* 49 (1999) 93-100.
- [9] - S. El Bacha, A. Mouradi, A. El Gourji, B. Benazzouz and T. Givernaud. "Biological Cycle of the agarophyte *Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvey (Rhodophyceae, Gracilariales) on the Moroccan Atlantic". *Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc).* 24 (1-2) (2004a) 23-34.
- [10] - K. T. Bird, C. Habig and T. Debusk. "Nitrogen allocation and storage patterns in *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta)". *J. Phycol.* 18 (1982) 344-348.
- [11] - K. Luning. "Seaweeds: their environment, biogeography and ecophysiology. Ed. Wiley & Sons, New-York, (1990) 527p.
- [12] - 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.

- [13] - J. Pftzing, 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.
- [14] - 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.
- [15] - Th. Givernaud, A. Mouradi, L. M. Hassani, R. Akallal and J. Riyahi. "Design of a new technique for reseeding 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.
- [16] - A. H. Buschmann, D. Varela, M. Cifuentes, M. D. C. Hernandez-Gonzalez, L. Henriquez, R. Westermeier and J. A. Correa. "Experimental indoor cultivation of the carrageenophytic red alga *Gigartina skottsbergii*". Aquaculture. 241 (2004) 357-370.
- [17] - S. El Bacha, A. El Gourji, Th Givernaud, Y. Lemoine and A. Mouradi. "Ecophysiological of the agarophyte *Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvey (Rhodophyceae, Gracilariales)". Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc). 24 (3-4) (2004b) 95-103.
- [18] - M. S. P. Mtolera and A. S. Buriyo. "Studies on Tanzanian Hypneaceae: Seasonal Variation in Content and Quality of Kappa-Carrageenan from *Hypnea musciformis* (Gigartinales, Rhodophyta)". *Western Indian Ocean J. Mar. Sci.* 3, (1) (2004) 43-49.
- [19] - 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*". Bot. Mar. 48 (2005) 187-197.
- [20] - D. J. McHugh. "A guid of the seaweed industry". FAO Fisheries technical Paper. 441 (2003) 118p.
- [21] - N. Stanley. "Production, proprieties and uses of carrageenans". In Mc Hugh D. J. (ed.), Production and utilization of products from commercial seaweeds. FAO Fisheries Technical Paper, 288 (1987) 116-146.
- [22] - L. Piculell. "Gelling carrageenans". In Stephen AM (ed.), Food polysaccharides and their Applications, Ed. Marcel Dekker, Inc., New York, (1995) 205-244.
- [23] - R. Perez. "Ces algues qui nous entourent, conception actuelle, rôle dans la biosphère, utilisations, culture. Ifremer, Plouzané, France, pp 272.
- [24] - 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.
- [25] - H. J. Bixler. "Recent developements in manufacturing and marketing carrageenan". Hydrobiologia. 326/327 (1996) 35-57.

- [26] - D. J. McHugh. "Worldwide distribution of commercial resources of seaweeds including *Gelidium*". *Hydrobiologia*. 221 (1991) 19-29.
- [27] - N. Chiadmi, Th. Givernaud, M. Lahaye, A. Amimi, M. Chikhaoui and A. Mouradi. "Etude des polysaccharides extraits de quelques algues rouges récoltées le long de la côte atlantique marocaine". *Riv. Idrobiol.* 39. 1/2/3 (2000) 201-214.
- [28] - N. Chiadmi, "Biologie et biochimie de quelques carraghénophytes de la côte atlantique marocaine". Thèse de doctorat ès sciences naturelles. Fac. Sci. Kénitra. (2001) 143p.
- [29] - P. Gayral. "Les algues de la côte Atlantique marocaine". Soc. Sc. Nat. et Phys. du Maroc. Rabat. (1958) 527p.
- [30] - S. Bennhisoun, C. F. Boudouresque, M. P. Bouderesque, M. Verlaque. "A checklist of marine seaweeds of the Mediterranean and Atlantic coasts of Morocco. III. Rhodophyceae (excluding Ceramiales)". *Bot. Mar.* 45 (2002) 391-412.
- [31] - J. Cabioc'h, J. Y. Floc'h, 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.
- [32] - 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.
- [33] - J. D. H. Strickland and T. R. Parson. "A practical handbook of seawater analysis". *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 167 (1972) 71-89.
- [34] - E. Stephens. "A practical handbook of seawater analysis". *Limnol. Ocean.* 8 (1963) 361.
- [35] - 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.
- [36] - D. Beauvillier. "Programmes d'application SAS pour l'analyse de données". Ed. SMG, Quebec. (1995) 57-130.
- [37] - D. B. Duncan. "Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*". 11 (1955) 1-42.
- [38] - K. E. 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: Hoppe, H. A. T. Levring & Y. Tanaka (eds) *Marine Algae in Pharmaceutical Science*. Walter de Gruyter, New York, (1979) 747-782.
- [39] - M. Chikhaoui. « Etude de la biologie et de la biochimie du carraghénophyte *Hypnea musciformis* (wulfen) Lamouroux (Rhodophycées, Gigartinales) ». Thèse de doctorat en Sciences. Fac. Sci. Kénitra, Maroc. (2001) 167p.
- [40] - 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 & T.R. Davison, Oxford University press. (2003) 417-424.
- [41] - P. S. Dixon. "The structure and development of the thallus in the British species of *Gelidium* and *Pterocladia*". Ann. Bot. 22 (1958) 353-368.
- [42] - P. S. Dixon. "On the form of the thallus in the Florideophyceae". In : Trends in plant morphogenesis. Cutter, E.G. Ed. Longman, Green and Co., London. (1966) 45-63.
- [43] - P. S. Dixon. "The Rhodophyta. Some aspects of their biology.2." Oceanogr. Mar. Biol. 8 (1970) 307-352.
- [44] - J. G. Stewart. "Morphological variations in *Pterocladia pyramidale*". J. Phycol. 4 (1968) 76-81.
- [45] - A. Amimi. "Etude biochimique de l'algue carraghénophyte *Gigartina pistillata* (Gmelin) Stackhouse de la côte atlantique marocaine". Thèse de doctorat en Sciences. Fac. Sci. Kenitra, Maroc. (2002) 130p.
- [46] - Az. Mouradi, A. Amimi, F. Elomari, Ah. Mouradi and T. Givernaud. "Biological cycle of *Gigartina pistillata* (Gmelin) Stackhouse in Nations beach of Morocco". Algological Studies, Vol 123 (2007) :73-93.
- [47] - J. A. Seoane-Camba. "Algunos datos de intrés en la recoleccion de *Gelidium sesquipedale*". Publ. Tec. Junta Estud. Pesca, Madr. 5 (1966) 437-455.
- [48] - 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.
- [49] - M. Torres, F. N. Xavier, and P. Algarra. "Photosynthesis of *Gelidium sesquipedale* : effects of temperature and light on pigments concentration, C/N ration and cell-wall polysaccharides". Hydrobiologia. 221 (1991) 77-82.
- [50] - L. M. Hassani. "Biologie, Biochimie et écophysiologie de l'agarophyte *Gelidium sesquipedale* (Turner) Thuret (Rhodophycées, Gélidiales)". Thèse de Doctorat en sciences, Fac. Sci. Kénitra, Maroc. (2000) 157p.
- [51] - L. Talarico and G. Maranzana. "Light and adaptative responses in red macroalga an overview".(1998) <http://www.photobiology.com/photobiology99/contrib/laura>.
- [52] - 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". Phycol. Res. 50 (2002) 251-264.
- [53] - L. Pereira and J. F. Mesquita. "Population studies and carrageenan properties of *Chondracanthus teedei* var. *Iusitanicus* (Gigartinaceae, Rhodophyta)". J. Appl. Phycol. 16 (5) (2004) 369-383.
- [54] - 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.

- [55] - R. C. Engel-Palmiter. "Fonctionnement des populations d'une espèce d'algue rouge marine haplo-diplophasique structures, dynamiques démographiques et génétiques chez *Gracilaria gracilis*". Thèse de Doctorat en sciences, Université de Paris XI Orsay. (2000) 185p.
- [56] - H. B. Pondevida and A. Q. Hurtado-Ponce. "Assessment of some agarophytes from the coastal Iloilo, Philippines. I. Seasonal variation in the biomass of *Gracilaria changii*, *G. manilaensis* and *G. bailinae* (Gracilariales, Rhodophyta)". *Bot. Mar.* 39 (1996) 117-122.
- [57] - M. R. J. Luhan. "Biomass and reproductive states of *Gracilaria heteroclada* Zhang et Xia collected from Jaro, Central Philippines". *Bot. Mar.* 39 (1996) 207-211.
- [58] - Th. Givernaud, N. Sqali, O. Barbaroux, A. Orbi, Y. Semmaoui, N. Rezzoum, A. Mouradi and R. Kaas. "Mapping and biomass estimation for a harvested population of *Gelidium sesquipedale* (Turn.) Thuret (Rhodophyta, Gelidiales) along the Atlantic coast of Morocco". *Phycologia.* 44 (1) (2005) 66-71.