

## Cycle biologique de l'agarophyte *Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvey (Rhodophyceae, Gracilariales) sur la côte atlantique marocaine

Siham EL BACHA <sup>1</sup>, Aziza MOURADI <sup>□2</sup>, Abderrazzak EL GOURJI <sup>2</sup>,  
Bouchra BENZAOUZ <sup>1</sup> & Thierry GIVERNAUD <sup>3</sup>

(Reçu le 10/11/2003; Accepté le 16/02/2004)

### دراسة الدورة البيولوجية للأجاروفائيت جراسيلاريا مولتيبارتيتا (*Gracilaria multipartita*) (رودوفيتا، جراسيلاريالز (Rhodophyceae, Gracilariales) على الساحل الأطلسي المغربي

بينت دراسة دورة النمو جراسيلاريا مولتيبارتيتا *Gracilaria multipartita* نوع من الطحالب المتواجدة على طول الساحل المغربي، أن نبتة هذا الطحلب تنمو مثبتة على قرص، وذلك ابتداء من شهر يناير. ويصل هذا النمو ذروته بين شهري ماي و يونيو، ثم يتوقف أثناء فصل الصيف لفترة تختلف مدتها باختلاف الظروف المناخية لكل سنة. وأخيرا يستأنف هذا النمو خلال فصل الخريف. وهكذا في فصل يناير تتدهور المشرات القديمة لتحل محلها نباتات جديدة. وأوضحت المعطيات الإحصائية أن الحرارة تشكل عاملا محددًا لاستمرارية دورة النمو، كما يمكننا أن نستنتج من هذا البحث أن جني هذا الطحلب يجب أن يتم ابتداء من شهر يونيو قبل تدهور المشرات.

**الكلمات المفتاحية:** جراسيلاريا مولتيبارتيتا - مشرة - النمو - التوالد

### Cycle biologique de l'agarophyte *Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvey (Rhodophyceae, Gracilariales) sur la côte atlantique marocaine

The cycle of growth of *Gracilaria multipartita*, espèce commune du littoral marocain a été suivi pendant 2 années. Les nouvelles frondes se développent à partir du mois de janvier sur le disque pérennant. La croissance est maximale entre mai et juin. Après un arrêt de croissance pendant l'été, une nouvelle phase de croissance plus ou moins marquée selon les années est observée en automne. Les frondes dégénèrent ensuite pour laisser place à de nouvelles pousses en janvier. Les analyses statistiques ont confirmé ce cycle et désignent la température comme le facteur déterminant dans son déroulement. L'étude indique qu'il serait possible d'exploiter l'espèce à partir de juin, avant que les frondes ne commencent à dégénérer.

**Mots clés :** *Gracilaria multipartita* - Thalle - Croissance - Reproduction - Côte Atlantique - Maroc

### Biological cycle of the agarophyte *Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvey (Rhodophyceae, Gracilariales) on the Moroccan atlantic coast

The cycle of growth of *Gracilaria multipartita*, common species of the Moroccan coastline has been followed during 2 years. The new fronds develop from January on the perennial disk. The growth is maximal between May and June. After a stop of growth during the summer, a new phase of growth marked more or less according to the years, is observed in the autumn. The fronds degenerate then to let place to new shoots in January. The statistical analyses confirmed this cycle and designated the temperature as determining factor in its progress. The survey indicates that it would be possible to exploit the species from June, before the fronds begin to degenerate.

**Key words :** *Gracilaria multipartita* - Thallu - Growth - Reproduction - Atlantic coast - Morocco

<sup>1</sup> Laboratoire de Génétique et Biologie Moléculaire, Faculté des Sciences, B.P. 133, 14 000-Kénitra, Maroc

<sup>2</sup> Laboratoire de Biochimie et Biotechnologies marines, Faculté des Sciences, B.P. 133, 14 000-Kénitra, Maroc

<sup>3</sup> Setexam, B.P 210, 14000-Kénitra, Maroc. E-mail: setexam@wanadoopro.ma

<sup>□</sup> Auteure correspondante; e-mail: aziza\_mouradi@hotmail.com

## INTRODUCTION

Au Maroc, la transformation des algues constitue l'un des secteurs les plus dynamiques de l'industrie d'exploitation et de transformation des produits de la mer. Cette industrie assure la plus forte valorisation des produits marins et place le Maroc au 3<sup>ème</sup> rang mondial pour la production d'agar. Ce dynamisme se concrétise par la mise sur le marché de nouveaux produits, comme les "Quick Soluble Agar" ou les agaroses.

*Gelidium sesquipedale* est la principale espèce exploitée (Kabbaj, 1994; Mouradi *et al.*, 1999; Hassani, 2000). Toutes les observations ainsi que les statistiques disponibles et les suivis des gisements (Givernaud *et al.*, 2001) montrent que l'espèce est surexploitée et nécessite la mise en place d'un plan de sauvegarde et de gestion. Ces différents éléments ont poussé les chercheurs, les industriels et le ministère des pêches maritimes à chercher des solutions afin de remédier à la raréfaction de la matière première. L'une de ces possibilités est l'exploration des côtes marocaines pour localiser d'autres espèces agarophytes bien représentées dont le stock est suffisant pour être exploité, produire un agar de qualité et pouvoir se reproduire facilement en aquaculture. Le genre *Gracilaria* représente 60% de la biomasse traitée dans le monde. Le rendement en agar de ce genre est très important et peut atteindre jusqu'à 40,7% (*G. asiatica*). Elle se prête bien à l'aquaculture (Perez, 1997). L'aquaculture de *Gracilaria* au Chili a permis de placer ce pays au 1<sup>er</sup> rang mondial des producteurs d'agar (Buschmann *et al.*, 2001).

*Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvay est très répandue au Maroc (Gayral, 1958; El Gourji, 1999; Benhyssoun *et al.*, 2002). Elle présente un agar de qualité (Givernaud *et al.*, 1999).

Le présent travail porte sur l'étude du cycle de développement de cette espèce afin de déterminer les périodes favorables pour sa récolte.

## MATÉRIEL & MÉTHODES

### 1. Matériel

*Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvay (Harvay, 1871) présente une fronde aplatie ramifiée subdicotomiquement (Figure 1). Cette espèce a été, pendant longtemps, confondue avec *Gracilaria tikvahiae* et toutes les deux ont été désignées sous le nom de *Gracilaria foliifera*

(Forsskal) Borgesen (Brid & Kain, 1995). L'identification de l'espèce *G. multipartita* a été confirmée par l'étude moléculaire en utilisant la séquence d'ADN codant pour l'ARNr de la petite sous-unité du ribosome (18S rDNA) et par le spacer de la rubisco (Hilal *et al.*, 2000) selon la méthode de Goff & Coleman (1994).

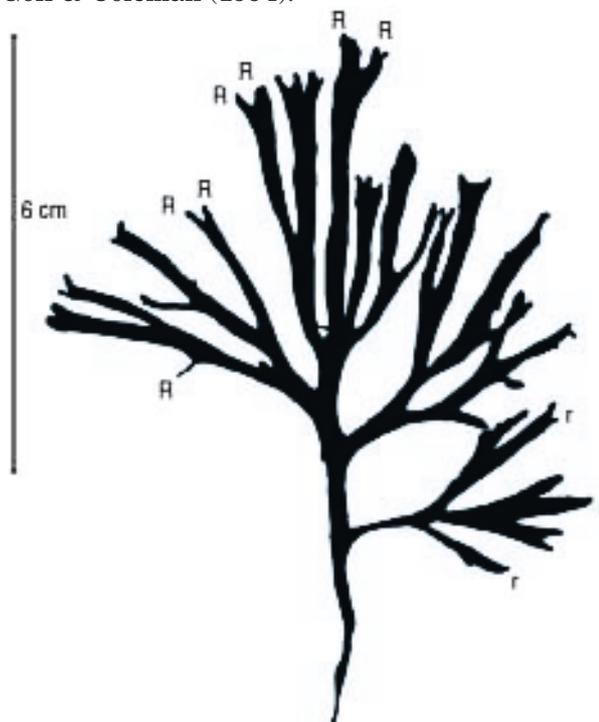


Figure 1. Représentation morphologique de *Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvay

### 2. Station d'étude

La plage des Nations (Figure 2) est située à 22 km au nord de Rabat, sur une largeur de 60 m. Elle est surplombée de hautes dunes mortes consolidées pouvant atteindre 40 m de hauteur. La falaise borde un estran très étroit avec une succession de bancs de sables recouvrant et découvrant de grands rochers tabulaires creusés de cuvettes peu profondes (Bayed, 1982). L'espèce *G. multipartita* se trouve dans les cuvettes plus ou moins profondes des grands rochers ensablés au bas de l'estran, à l'étage médiolittoral moyen.

### 3. Échantillonnage

La récolte de *G. multipartita* a été effectuée mensuellement pour une durée d'étude de 24 mois (janvier 1995 à décembre 1996). L'échantillon mensuel est constitué de 100 thalles. Au niveau du site d'étude, ces derniers sont pris au hasard et récoltés à marée basse à chaque nouvelle lune.

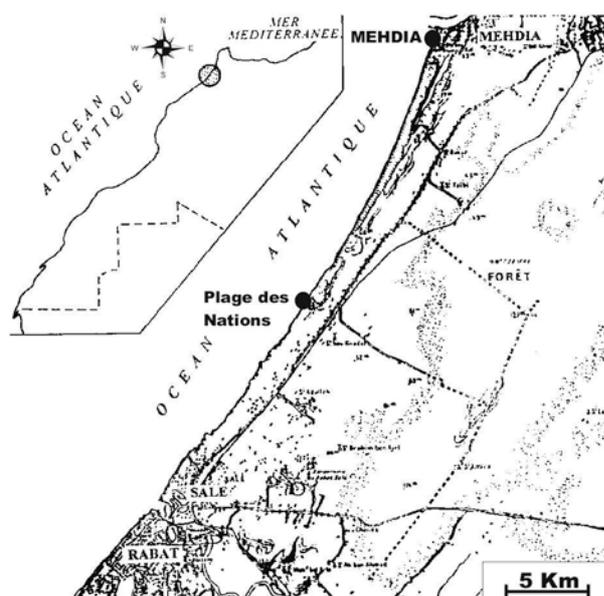


Figure 2. Situation du site de récolte

Parallèlement, l'eau de mer est prélevée dans des flacons stériles placés dans des glacières réfrigérées qui seront transportées immédiatement au laboratoire afin d'effectuer *in situ* les analyses physico-chimiques.

Sur chaque thalle, quatre paramètres de croissance sont mesurés: longueur totale du thalle (L), poids individuel (P), nombre total de ramification (RT) et nombre de ramification à six cm de l'apex (R).

La vitesse de croissance des thalles est évaluée par le calcul du gain en longueur (GL) et du gain en poids (GP) selon la formule suivante:

$$GP_{\text{mois} \times 1} (\text{g} / \text{j}) = \frac{\text{Poids}_{\text{mois} \times 1} - \text{Poids}_{\text{mois} \times 0}}{\text{n jours entre les 2 mesures}}$$

$$GL_{\text{mois} \times 1} (\text{mm} / \text{j}) = \frac{\text{Longueur}_{\text{mois} \times 1} - \text{Longueur}_{\text{mois} \times 0}}{\text{n jours entre les 2 mesures}}$$

#### 4. Analyses physico-chimiques de l'eau

Au cours de chaque récolte, la température a été mesurée *in situ* à la surface de l'eau de mer à l'aide d'un thermomètre mini maxi.

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre portable. La salinité a été déterminée à l'aide d'un réfractomètre. Le dosage des nitrates a été réalisé selon la méthode de Strickland & Parson (1972). Les nitrates sont réduits en nitrites par voie chimique en utilisant le sulfate d'hydrazine. Les nitrites ainsi formés sont dosés par colorimétrie selon la méthode au sulfanilamide/dichlohydrat. La lecture des absorbances a été faite à 543 nm.

Le dosage des phosphates a été effectué selon la méthode de Murphy & Rilley (1962) basée sur la transformation des polyphosphates en orthophosphates par hydrolyse acide. La lecture des absorbances a été faite à 690 nm.

#### 5. Analyses statistiques

La variabilité des paramètres de croissance est étudiée par une analyse de variance à deux facteurs (mois et année) effectuée suivant la procédure GLM du logiciel SAS (Beauvillier, 1995). La comparaison multiple des moyennes de chaque paramètre de croissance ainsi que leur classement sont réalisés grâce au test de Duncan chaque fois que l'analyse de variance révèle des différences significatives. Une analyse de la régression est effectuée afin d'étudier les corrélations qui peuvent exister entre les différents paramètres de croissance pris deux à deux en se basant sur la signification de leur coefficient de corrélation.

Par ailleurs, dans le but d'évaluer l'effet des facteurs environnementaux sur la croissance de *Gracilaria multipartita* en milieu naturel, une analyse en composantes principales est effectuée sur la matrice de données formée par les 12 relevés mensuels dans la station de la plage des Nations. L'analyse a porté sur les quatre paramètres de croissance: L, P, RT et R et les trois facteurs physico-chimiques du milieu: la température, les phosphates et les nitrates (logiciel SAS).

### RÉSULTATS

#### 1. Paramètres physico-chimiques de l'eau de mer

Les variations mensuelles des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer sont similaires pour les 2 années d'études (Figure 3).

Les températures minimales ont été enregistrées en décembre (11°C) et les températures maximales en été notées en août (24°C). Les concentrations maximales en nitrates ont été enregistrées en octobre (19,6 µM en 1995 et 26,6 µM en 1996) et les concentrations minimales (5 µM) ont été notées en juin 1995 et en mai 1996. Les concentrations en phosphates sont maximales en janvier (1,55 µM en 1995 et 1,77 µM en 1996) et minimales en juin (0,16 µM).

Le pH mesuré était de l'ordre de 8,1 au cours de la période d'étude. La salinité de l'eau de mer mesurée était en moyenne de 34‰.

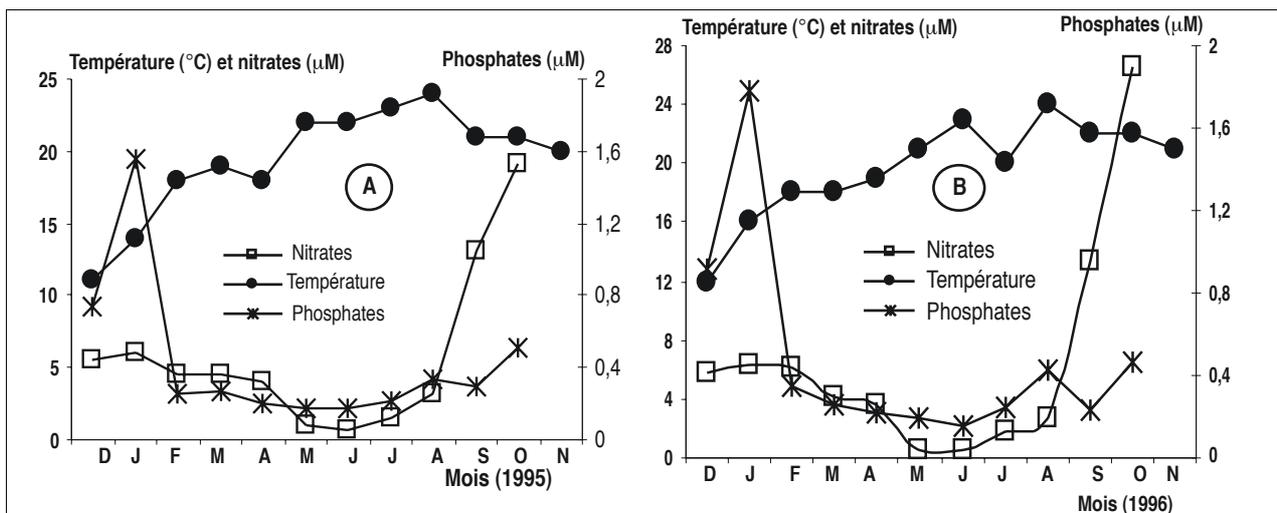


Figure 3. Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer au cours des deux années d'étude: (A) année 1995, (B) année 1996

**2. Cycle morphologique de l'espèce**

Le suivi des variations morphologiques des frondes de *G. multipartita*, au cours de la période d'étude, montre que le cycle de croissance annuel est identique pour les deux années d'étude.

Les différentes étapes du cycle morphologique sont représentées dans la figure 4.

En janvier, les frondes poussent à partir du disque de fixation. La taille des thalles est réduite à moins de 2 cm. Les axes principaux ne portent pas de ramifications de deuxième ordre et leur base dressée est grêle et peu ramifiée.

Entre février et mars, l'algue présente les caractéristiques de la forme hivernale (taille réduite, axes grêles et cylindriques et ramifications non développées).

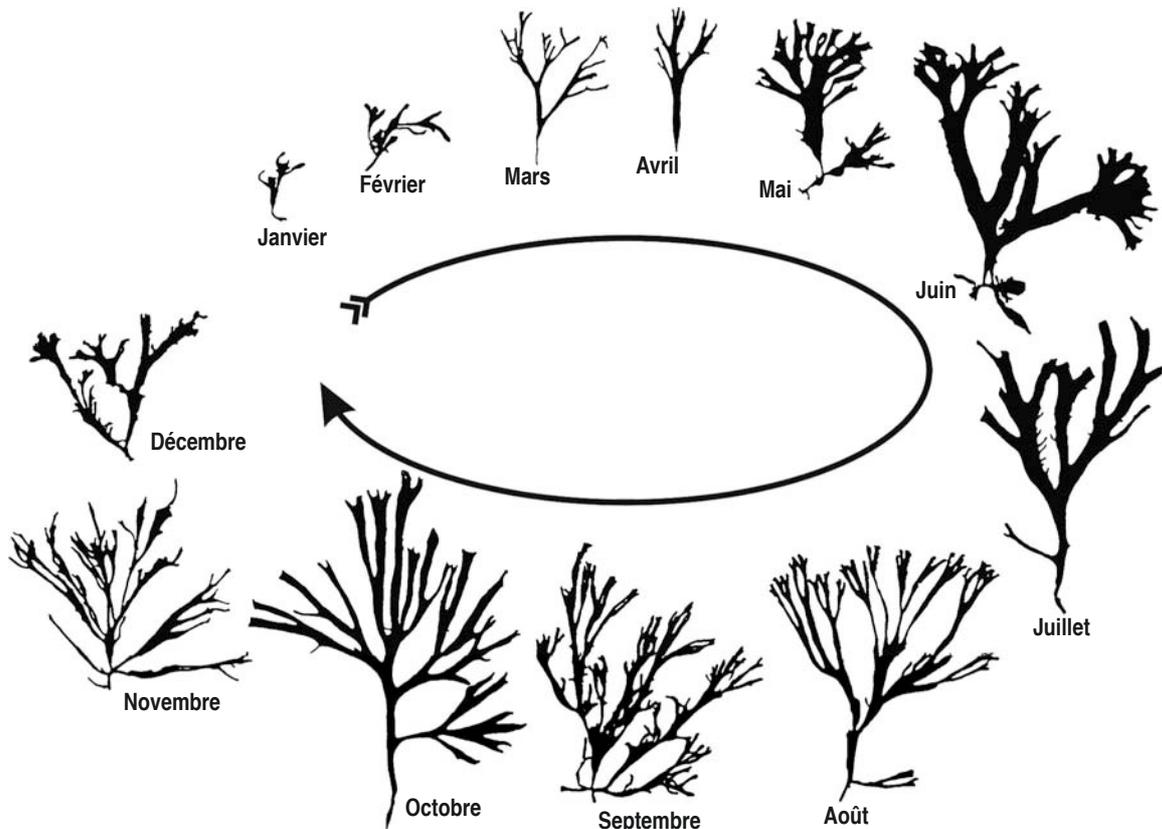


Figure 4. Cycle morphologique de *Gracilaria multipartita* (année 1996)

En avril, les ramifications s'aplatissent et s'élargissent. Elles deviennent abondantes et développées. Leurs extrémités s'arrondissent et forment des angles aigus avec l'axe principal.

En mai, les thalles sont aplatis et les ramifications sont abondantes et développées. La croissance apicale est maximale et donne des axes souples et longs.

En juin, l'algue atteint sa taille maximale. Cette forme estivale est caractérisée par des frondes de grande taille avec des ramifications régulières et abondantes.

En juillet, les thalles bien développés subissent une usure apicale qui se traduit par une perte de ramifications.

Entre août et septembre, les frondes diminuent davantage de taille et présentent un aspect endommagé dû à la présence de points de nécrose à différents endroits des frondes.

En octobre, il y a une reprise de la croissance qui aboutit à une augmentation de la taille. Mais le nombre de ramifications diminue et les axes présentent une forme grêle.

Entre novembre et décembre, les thalles subissent une dégradation partielle. Il y a d'abord une chute des extrémités des ramifications qui portent les sporocystes. Les axes deviennent fragiles et cassants suite à des nécroses intercalaires et finissent par se fragmenter sous l'action des vagues. À la fin de cette période, les thalles sont réduits à leur disque de fixation marquant ainsi la fin du cycle de vie des frondes. Les disques pérennants donneront naissance, à partir du mois de janvier, à de nouvelles frondes.

### 3. Période de fertilité de l'espèce

Le cycle de reproduction de *Gracilaria multipartita* est trigénétique isomorphe. Il est difficile de distinguer les différentes générations de l'espèce.

Dans cette étude, la présence des cystocarpes sur les thalles gamétophytiques femelles a été utilisée comme indicateur de la fertilité de l'espèce (Figure 5).

La présence de thalles fertiles a été notée durant la majeure partie de l'année sauf en hiver, avec deux périodes de fertilité maximale: la première en été

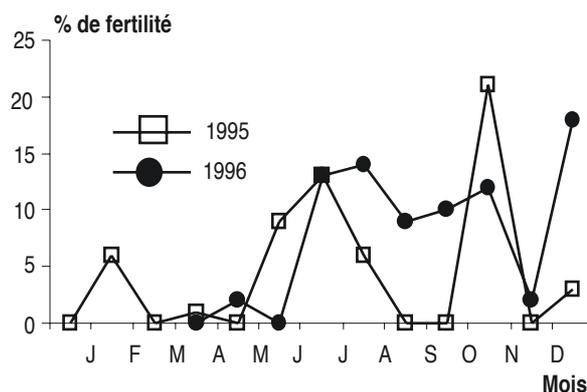


Figure 5. Pourcentage de fertilité des thalles de *Gracilaria multipartita* récoltés à la plage des Nations durant les deux cycles annuels 1995 et 1996

entre juin et août avec un pic de 13% en juin, la seconde en automne entre septembre et novembre avec un pic de 21% en octobre.

### 4. Évolution des différents paramètres de croissance au cours du cycle biologique de *G. multipartita*

L'analyse de la variance à deux facteurs (mois et année) effectuée sur les paramètres de croissance L, P, RT et R de *G. multipartita* a révélé des différences hautement significatives entre les relevés des différents mois et entre les relevés des deux années successives ( $P < 0,001$ ) à l'exception du facteur RT où l'on note l'absence d'une différence significative entre les relevés des 2 années successives ( $P > 0,05$ ) (Tableau 1).

La comparaison multiple des moyennes à l'aide du test de Duncan a permis le classement des 12 mois les uns par rapport aux autres selon les différents paramètres de croissance indépendamment de l'année d'étude (Figures 6, 7, 8 et 9).

Ainsi, le mois de juin enregistre les valeurs les plus élevées pour le poids et la ramification totale et à 6 cm de l'apex, alors que le mois de juillet montre la meilleure longueur des thalles.

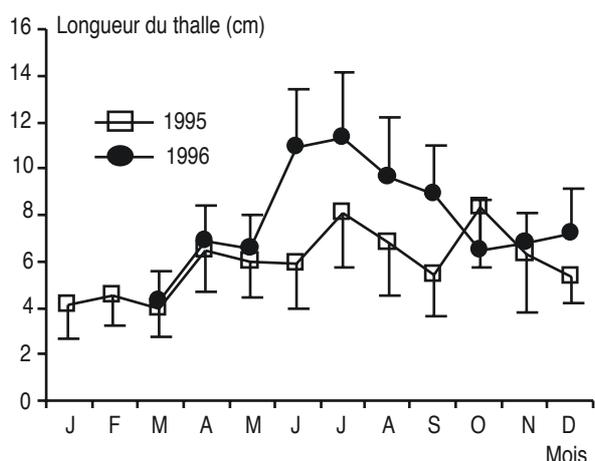
En outre, la période de faible croissance se situe durant les mois de janvier, février et mars.

Le test de Duncan a permis de mettre en évidence des différences hautement significatives entre les deux années d'étude (Figure 10).

**Tableau 1. Analyse de la variance des paramètres de croissance de *Gracilaria multipartita* récolté à la plage des Nations durant la période d'étude (1995-1996)**

Paramètres de croissance	Source de variation	Somme des carrés des écarts	d.d.l	C.M.	F	Probabilité (signification)
Longueur du thalle	Entre mois (A)	5599,76	11	509,07	136,35	0,0001 (***)
	Entre années (B)	1185,37	1	1185,37	317,48	0,0001 (***)
	Interaction (A)x(B)	1766,44	9	196,27	52,57	0,0001 (***)
	Résiduelle	7948,99	2129	3,73		
	Totale	16500,56	2150			
Poids du thalle	Entre mois (A)	238,86	11	21,71	81,58	0,0001 (***)
	Entre années (B)	51,59	1	51,59	193,85	0,0001 (***)
	Interaction (A)x(B)	86,42	9	9,60	36,07	0,0001 (***)
	Résiduelle	566,68	2129	0,27		
	Totale	943,56	2150			
Nombre de ramification totale	Entre mois (A)	2698700,62	11	245336,42	80,44	0,0001 (***)
	Entre années (B)	7733,99	1	7733,99	2,54	0,11 (N.S)
	Interaction (A)x(B)	367549,62	9	40838,85	13,39	0,0001 (***)
	Résiduelle	6493192,08	2129	3049,88		
	Totale	956718,32	2150			
Nombre de ramification 6cm de l'apex	Entre mois (A)	794044,73	11	72185,88	109,43	0,0001 (***)
	Entre années (B)	35416,82	1	35416,82	53,69	0,0001 (***)
	Interaction (A)x(B)	300406,81	9	33378,53	50,60	0,0001 (***)
	Résiduelle	1404375,99	2129	659,64		
	Totale	2534244,36	2150			

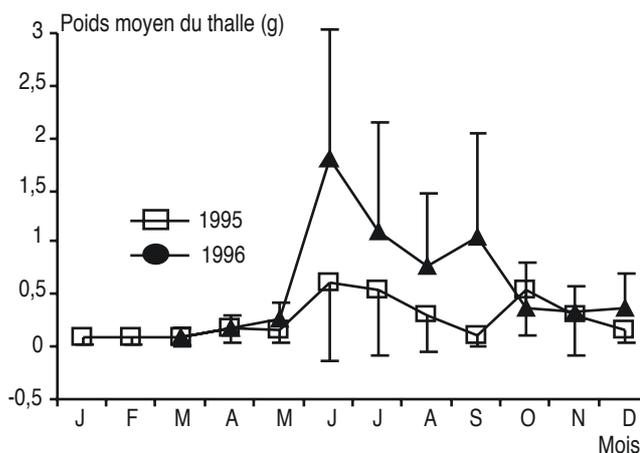
(N.S), (\*\*\*) : différences respectivement non significatives et significatives à 1% ; d.d.l: degré de liberté; C.M: Carré Moyen ou variance



**Figure 6. Variation mensuelle de la longueur moyenne du thalle de *Gracilaria multipartita* récoltée à la plage des Nations selon l'année (1995-1996)**

#### 4.1. Longueur du thalle

Les périodes de forte croissance sont notées de mai à juillet avec une augmentation de la taille des frondes de 8,1 cm en 1<sup>ère</sup> année et de 11,4 cm en 2<sup>ème</sup> année et en septembre en 1<sup>ère</sup> année, avec une augmentation de taille de la fronde de 8,3 cm. Les longueurs les plus faibles ont été enregistrées au cours des mois de janvier (4,1cm) en 1<sup>ère</sup> année et de mars en 2<sup>ème</sup> année (4,3 cm) où l'algue est réduite à son disque de fixation.

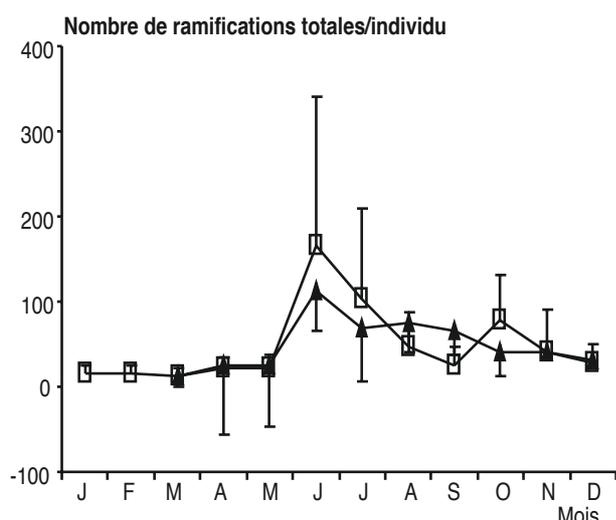


**Figure 7. Variation mensuelle du poids moyen du thalle de *Gracilaria multipartita* récoltée à la plage des Nations selon l'année (1995-1996)**

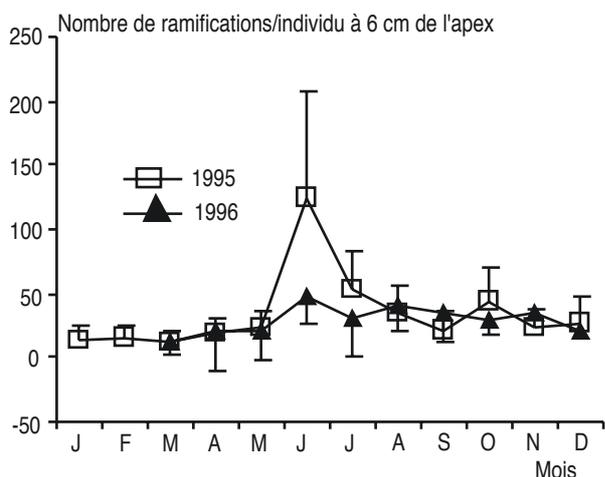
L'analyse des vitesses de croissance (Figure 11) montrent 2 maxima de croissance en longueur, un maximum entre mars et avril de 0,84 mm/j et un deuxième de 0,7 mm/j en mai et juillet.

#### 4.2. Poids du thalle

Au cours des 2 années d'étude, le poids des thalles a varié d'une manière similaire (Figure 7). La croissance faible, entre janvier et mars, subit une légère augmentation entre mars et mai et devient



**Figure 8. Variation mensuelle du nombre moyen de ramification totale du thalle de *Gracilaria multipartita* récoltée à la plage des Nations selon l'année (1995-1996)**

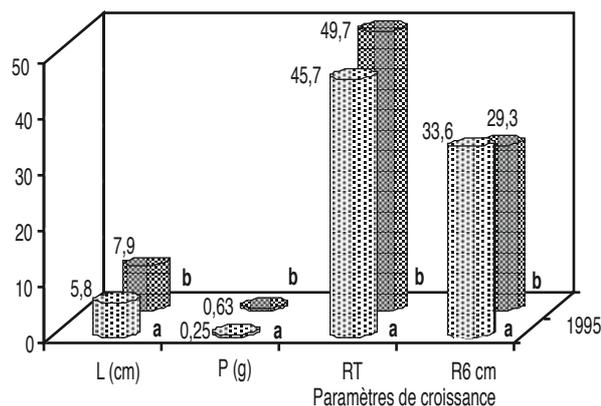


**Figure 9. Variation mensuelle du nombre moyen de ramification du thalle à 6 cm de l'apex de *Gracilaria multipartita* récoltée à la plage des Nations selon l'année (1995-1996)**

très importante à partir de mai pour atteindre le maximum en juin (0,61 g en 1995 et 1,8 g en 1996).

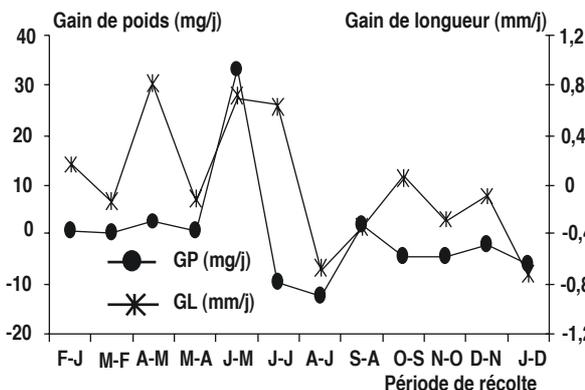
Après une diminution en poids au cours de l'été, un deuxième pic de croissance moins important est enregistrée en octobre 1995 (0,55 g/individu) et en septembre 1996 (1,1 g/individu). Par la suite, le poids des thalles diminue pour atteindre le minimum en décembre.

La vitesse de croissance en poids ne présente qu'un maximum de 33,28 mg/j entre mai et juin. Ces résultats confirment l'analyse statistique précédemment décrite.



**Figure 10. Variation mensuelle des paramètres de croissance de *Gracilaria multipartita* récoltée à la plage des Nations selon l'année**

(a, b) : Les histogrammes portant des lettres différentes pour le même paramètre de croissance montrent des différences significatives au seuil de 5 % (test de Ducan)



**Figure 11. Variation mensuelle de la vitesse de croissance en longueur et en poids de *Gracilaria multipartita***

#### 4.3. Nombre de RT et de RA

Les courbes de variation du nombre de RT et de RA suivent une évolution comparable à celle du poids des thalles durant les 2 années d'étude.

En 1<sup>ère</sup> année, le nombre de RT et de RA (12 à 14 R/individu) est minimal entre janvier et mars. Il augmente légèrement entre mars et mai et devient plus important à partir de mai pour atteindre le maximum en juin (165 R/individu pour les RT et 124 R/individu pour les RA), puis chute en été. Un 2<sup>ème</sup> pic moins important est enregistré en octobre avec 79 RT/individu et 44 RA/individu.

En 2<sup>ème</sup> année, le nombre de ramifications varie de la même manière qu'en 1<sup>ère</sup> année entre janvier et juin, mais le pic est moins important (114 RT/individu et 47 RA/individu). Le nombre de

ramifications diminue à partir de juillet pour atteindre le minimum en décembre.

### 5. Analyse des corrélations entre les différents paramètres de croissance

Les résultats de l'analyse de corrélation entre les différents paramètres de croissance étudiés chez *G. multipartita* sont présentés dans le tableau 2.

**Tableau 2. Coefficients de corrélation entre les différents paramètres de croissance étudiés chez *Gracilaria multipartita* récoltée à la plage des Nations durant la période d'étude (1995-1996)**

	Longueur du thalle	Poids du thalle	Nombre de ramifications totales	Nombre de ramifications à 6 cm de l'apex
Longueur du thalle	1	0,69 (***)	0,46 (**)	0,19 (**)
Poids du thalle	-	-	0,72 (***)	0,34 (**)
Nombre de ramifications totales	-	1	1	0,74 (***)
Nombre de ramifications à 6 cm de l'apex	-	-	1	1

(\*\*): Coefficient de corrélation significatif à 1%

(\*\*\*): Coefficient de corrélation significatif à 1%

Les coefficients de corrélation entre les différents paramètres de croissance s'avèrent significatifs, indépendamment de l'année d'étude. Le diagramme révèle une corrélation très importante, d'une part, entre le poids et la taille du thalle ( $r = 0,69$ ) et, d'autre part, entre le poids du thalle et le nombre de ramifications totales ( $r = 0,72$ ) et entre le nombre de RT et RA ( $r = 0,74$ ).

**Tableau 4. Coefficients de corrélation de Pearson entre les différentes variables étudiées et les trois premières composantes principales (F1, F2 et F3)**

		L	P	RT	R	Température	Nitrates	Phosphates
F1	r	0,87	0,96	0,95	0,90	0,73	-0,12	-0,57
	p	<b>0,0005</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,01</b>	0,72	0,07
	s	***	***	***	***	**	N.S	N.S
F2	r	0,021	0,21	0,27	0,28	-0,37	0,44	0,72
	p	0,95	0,53	0,42	0,40	0,26	0,17	<b>0,0133</b>
	s	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	*
F3	r	0,07	-0,09	-0,11	-0,17	0,36	0,88	-0,22
	p	0,84	0,79	0,74	0,62	0,27	<b>0,0003</b>	0,51
	s	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	***	N.S

r = coefficient de corrélation de Pearson; p = probabilité; s = N.S, \*, \*\*, \*\*\*: coefficient de corrélation respectivement non significatif et significatif à 5%, à 1% et à 1%.

### 6. Analyse en composantes principales

Les valeurs propres des trois axes  $F_1$ ,  $F_2$  et  $F_3$  et leur contribution à l'inertie totale sont données dans les tableaux 3 et 4.

**Tableau 3. Répartition du pourcentage d'inertie entre les trois premiers axes de l'ACP**

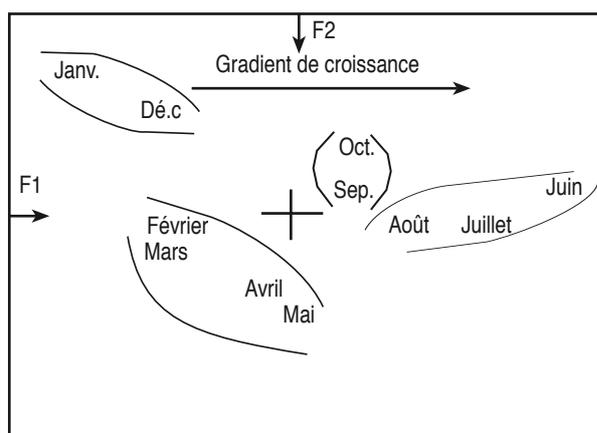
Axes	Valeurs propres (%)	Inertie totale (%)	Inertie cumulée (%)
$F_1$	4,25	60,8	60,8
$F_2$	1,04	14,9	75,7
$F_3$	1,01	14,5	90,2

Les deux premiers axes  $F_1$  et  $F_2$  expriment 75,7% de l'information sur les corrélations entre les variables étudiées. L'axe factoriel  $F_3$  ne représente que 14,5% de l'information totale.

Les résultats des coefficients de corrélation entre les différentes variables étudiées et les composantes principales ( $F_1$ ,  $F_2$  et  $F_3$ ) sont présentés dans le tableau 4. L'analyse des coefficients de corrélation montre que les variables température, L, P, RT et R sont significativement corrélées avec l'axe factoriel  $F_1$ . La concentration en phosphates est significativement corrélée à l'axe factoriel  $F_2$  et la concentration en nitrates à l'axe factoriel  $F_3$ .

La projection des relevés mensuels de *G. multipartita* sur la carte factorielle définie par le plan factoriel  $F_1 \times F_2$  montre un gradient de croissance de gauche à droite de l'axe  $F_1$  (Figure 12).

Ainsi, la croissance de cette espèce est très accentuée pendant les mois de juin et juillet alors qu'elle s'atténue en décembre et janvier. Cette



**Figure 12. Carte factorielle des relevés mensuels de *Gracilaria multipartita* récoltée à la plage des Nations (projection sur l'axe  $F_1 \times F_2$ )**

évolution paraît très influencée par le facteur température exprimé par l'axe factoriel  $F_1$ . Les facteurs phosphates et nitrates, exprimés respectivement par les axes factoriels  $F_2$  et  $F_3$  ne semblent pas influencer les paramètres de croissance de l'agarophyte *G. multipartita*.

## DISCUSSIONS

L'étude du cycle de croissance de *G. multipartita* montre qu'il est proche de celui des autres espèces également présentes dans le site d'étude (*Gelidium sesquipedale* (Hassani, 2000), *Hypnea musciformis* (Chikhaoui, 2001) et *Gigartina pistillata* (Amimi, 2002). Toutes ces espèces ont une taille minimale en hiver puis se développent rapidement au printemps. Leur croissance s'arrête en été avant de subir une dégénérescence des frondes en automne et en hiver. Des résultats similaires concernant la période de croissance de l'espèce *G. gracilis* dans la région du Cap Gris-Nez (France) sont mentionnés par Engel-Palmiter (2000). À partir de septembre-octobre, les frondes se fragmentent et disparaissent. Les individus passent alors l'hiver sous forme de disque. Pondevida *et al.* (1996) ont montré que la biomasse de *G. cervicornis* au Brésil présente un maximum pendant l'été et un minimum en hiver. Les mêmes résultats ont été notés par Luhan (1996) pour *G. heteroclada* et *G. baillinae*.

Au cours de la période d'étude, les analyses statistiques ont montré que la température a un effet important sur la croissance des thalles.

Les températures optimales de croissance enregistrées au cours de cette période sont de

l'ordre de 22 à 24°C. Généralement, la croissance optimale des Gracilaires est notée à des températures comprises entre 24-30°C (Hanisak 1987). La température minimale enregistrée au cours de la période d'étude est de l'ordre de 12°C. Laing *et al.* (1981) ont montré que pour des températures au-dessous de 12°C, les Gracilaires peuvent survivre, sans pour autant croître.

L'eau de mer est un milieu tampon, son pH est compris entre 7,9 et 8,2. Dans cet intervalle, il ne présente aucune variation écologique significative sur les algues (Chapman 1962).

La salinité enregistrée au cours de la période d'étude est peu variable (34‰). Toutefois, les Gracilaires sont très plastiques dans leurs réponses aux variations de la salinité du fait que ce sont des espèces euryhalines (Dawes 1995).

Au cours de l'année, l'énergie lumineuse disponible, qui est considérée comme le facteur principal responsable de la photosynthèse, subit également des variations saisonnières. Il aurait été donc important de suivre l'évolution de ce facteur *in situ*. Les deux facteurs température et lumière ont un effet important sur la croissance. D'après Friedlander *et al.* (1987), la vitesse de croissance est hautement dépendante de la température chez *G. tikvahiae* et d'après Lapointe (1981), la croissance de *G. multipartita* est dépendante de l'intensité lumineuse. Cet effet de la lumière a été également constaté chez *G. verrucosa* (Whyte *et al.*, 1981).

À l'exception du mois de décembre, le cycle de température enregistré sur le site est caractérisé par des températures supérieures à 14°C. D'après Edelstein *et al.* (1976), ces températures sont favorables à la croissance de l'espèce. Cependant, il est intéressant de noter que pendant l'été et l'automne l'espèce connaît une croissance négative ou nulle bien que la température soit favorable à la croissance. Cet arrêt de croissance suivi d'une diminution de la taille de la fronde par fragmentation peut être lié à une photo-inhibition par les fortes lumières en été, ou également à la photopériode. En effet, la photopériode agit sur un grand nombre de plantes et d'animaux comme un signal pour l'initiation d'un certain nombre de processus biologiques (Luning, 1981a & b, Dring & Luning, 1983, Dring, 1984, Luning, 1990).

Au cours de l'année, les sels nutritifs sont à leur maximum en hiver. La chute des nitrates et des

phosphates en mai et juin est due à la forte activité de prélèvement par les algues (macro-algues et phytoplancton) des sels nutritifs liée à l'augmentation de l'activité photosynthétique.

## CONCLUSION

La biomasse est maximale à la fin du mois de juin. L'exploitation de cette espèce devrait être réalisée dès ce moment avec une période de récolte réduite à 2 mois maximum pour laisser l'algue croître en automne.

Il serait important d'éviter, pour cette espèce, les erreurs de gestion rencontrées dans l'exploitation de *G. sesquipedale*. Il faut, en particulier, respecter le disque de fixation de l'espèce qui est la partie pérennante 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 en fonction de la réponse de la ressource naturelle.

La poursuite des travaux de recherche sur les facteurs qui influencent le cycle de développement de *G. multipartita* en milieu naturel pourrait aboutir à des résultats intéressants. Il serait, en particulier, important de déterminer quels sont les facteurs qui influencent le démarrage de la croissance au printemps et la dégénérescence en fin d'automne. Ces résultats permettraient d'estimer la possibilité d'envisager le maintien de l'espèce en croissance tout au long de l'année et de prévoir plusieurs périodes de récolte de l'espèce en aquaculture.

## REMERCIEMENTS

Ce travail s'inscrit dans le cadre la convention avec les industriels de production d'agar (Setexam) et dans le cadre de la coopération française (Action intégrée MA/01/20). Qu'ils soient vivement remerciés.

## RÉFÉRENCES CITÉES

Amimi A (2002) Étude biochimique de l'algue carraghénophyte *Gigartina pistilata* (Gmelin) de la côte atlantique marocaine. Thèse de Doctorat d'Université, Université Ibn Tofaïl, Faculté des sciences, Kénitra, 160 p.

Bayed A (1982) Écologie descriptive et dynamique des plages de la région de Rabat, Maroc. Thèse de troisième cycle, Rabat

Benhyssoun S, Boudouresque CF, Perret-Boudouresque M & Verlaque M (2002) A checklist of the seaweed of the Mediterranean and Atlantic coasts of Morocco. III. Rhodophyceae (Excluding Cerziales). *Bot Mar* 45: 391-412

Beauvillier D (1995) Programmes d'application SAS pour l'analyse de données. Québec, SMG, pp.57-130

Brid KT & Kain J M (1995) Recommended names of included species of gracilariaceae. *Journal of Applied Phycology* 7: 335-338

Buschmann AH, Correa Juan A, Westerrmeier Renato, Hernandez Gonzalez Maria Del Carmen & Norambuena Ricardo (2001) Red algal farming in Chile: a review. *Aquaculture-Amsterdam* 194: (3-4): 203-220

Chapman VJ (1962) A contribution to the ecology of *Egregia laevigata*. Part III. *Bot Mar* 3: 101-122

Chikhaoui M (2001) Étude de la biologie et de la biochimie du carraghénophyte *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux (Rhodophycées, Gigartinales). Thèse de Doctorat d'Université. Université Ibn Tofaïl, Faculté des sciences, Kénitra

Dawes CP (1995) Suspended cultivation of *Gracilaria* in the sea. *J Appl Phycol* 7: 303-313

Dring MJ & Luning K (1983) Photomorphogenesis of macroalgae. In: Encyclopedia of plant physiology, n. s. Vol. 16B. Shropshire, W & Pehr, H. eds. Springer-Verlag, Berlin, 545-568

Dring M L (1984) Photoperiodism and phycology. *Prog Phycol Res* 3: 159-162

Edelstein T Bird, C J & Mac Lachlan J (1976) Studies in *Gracilaria* 2 : Growth under greenhouse conditions. *Can J Bot* 54: 2275-2290

Engel-Palmiter R C ( 2000) Fonctionnement des populations d'une espèce d'algue rouge marine haplo-diplophasique structures et dynamiques démographiques et génétiques chez *Gracilaria gracilis*. Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Paris XI, ORSAY Tome 1

- El Gourji A (1999) Biologie et biochimie de l'agarophyte *Gracilaria multipartita* (Clemente) J Agath (Rhodophycées, Gracilariales). Thèse de Doctorat en sciences d'Université. Université Ibn Tofaïl, Faculté des Sciences, Kénitra, 166 p.
- Friedlander M Shalev R Ganor T Strimling S, Ben-Amotz A, Klar H & Wax Y (1987) Seasonal fluctuations of growth rate and chemical composition of *Gracilaria cf conferta* in outdoor culture in Israel. *Hydrobiologia* 151/152: 501-507
- Gayral P (1958) Les algues de la côte atlantiques marocaine. *Soc Sc Nat Et Phys du Maroc*, Rabat 572 p.
- Givernaud Th, El Gourji A, Mouradi-Givernaud A, Lemoine Y & Chiadmi N (1999) Seasonal variations of growth and agar composition of *Gracilaria multipartita* Harvested along the Atlantic coast of Morocco. *Hydrobiologia* 398/399: 167-199
- Givernaud Th, Mouradi A, Hassani LM & Akallal R (2001) Design of a new technique for reseeded of over harvested bed of *Gelidium sesquipedale* (Turn.) Thuret (Rhodophyta, Gelidiales) in Morocco. *Proceeding of the 17 th international seaweed symposium* ; Cap town. Oxford University press. pp. 123-130
- Goff L J, Moon D A & Coleman A W (1994) Molecular delineation of species and species relationships in the red algal agarophytes *Gracilariopsis* and *Gracilaria* (Gracilariales). *Journal of Phycology* 32: 297-312
- Hanisack D (1987) Cultivation of *Gracilaria* and other macroalgae in Florida for energy production. (Eds) Bird K, Benson P. Seaweed cultivation for Renewable Resources. Elsevier, Amsterdam. pp. 191-218
- Harvey WH (1846) Red seaweeds. *Phycologia Britannica*. *Plantes* pp.1-78. London, Reeve & Benham
- Hassani L M (2000) Biologie, biochimie et écophysiologie de l'agarophyte *Gelidium sesquipedale* (Turner) Thuret (Rhodophycées, Gélidiales). Thèse de Doctorat d'Université. Université Ibn Tofaïl, Faculté des sciences, Kénitra.
- Hilal L, Givernaud Th, Benazouz B, Riyahi J, Akallal R, Destombes C & Mouradi A (2000) Contribution à l'identification de souches de Gracilaires par analyse moléculaire de l'ADN., Deuxième Congrès de Génétique et de Biologie Moléculaire 15-17 Novembre, Faculté des Sciences et Techniques Fès-Saïs.
- Kabbaj I (1994) Biologie du *Gelidium sesquipedale* des côtes marocaines: étude des peuplements, écophysiologie, cytologie et morphogénèse. Thèse de Doctorat d'Université. Université de Caen, France.
- Laing W A, Chisteler, J T & Terzaghi, B E (1989) The effect of temperature, photon flux density and nitrogen on growth of *Gracilaria sordida* Nelson (Rhodophyta). *Bot Mar* 32: 439-445
- Lapointe BE (1981) The effect of light and nitrogen on growth, pigment content, and biochemical composition of *Gracilaria foliifera* V. *angustissima* (Gigartinal, Rhodophyta). *J Phcol* 17: 90-95
- Luhan Ma RJ (1996) Biomass and Reproductive States of *Gracilaria heteroclada* Zhang et Xia collected from Jaro , Central Philippines. *Bot Mar* 39: 207-211
- Luning K (1981a) Light. *In*: The biology of seaweed. Lobban CS & Wynne MJ eds. Blackwell, Oxford, pp. 326-355
- Luning K (1981b) Photomorphogenesis of reproduction in marine macroalgae. *Ber Dr Bot Ges* 94: 401-417
- Luning K (1990) Seaweeds: their environment, biogeography and ecophysiology. Wiley & Sons, New-York, 527 p.
- Mc Lachlan J & Bird CJ (1986) *Gracilaria* (Gigartinales, Rhodophyta) and productivity. *Aquat Bot* 26:27-49
- Mouradi-Givernaud A, Hassani LM, Givernaud Th, Lemoine Y & Benharbet O (1999) Biology and agar composition of *Gelidium sesquipedale* harvested along the Atlantic coast of Morocco. *Hydrobiologia* 398/399: 391-395
- Murphy J & Rilley JP (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal Canal Chim Aca* 26: 31-36

Perez R (1997) Ces algues qui nous entourent: Conception actuelle, rôle dans la biosphère, utilisations, culture. Ed. IFREMER, 272 p.

Strickland J D H & Parsons T R (1972) A practical handbook of seawater analysis. *Bull Fish Res Bd Can* 167: 71-89

Pondevida BH & Hurtado-Ponce AQ (1996) Assessment of Some Agarophytes from the Coastal Areas of Iloilo, Philippines. I. Seasonal variation in the biomass of *Gracilatia changii*, *Gracilaria manilaensis* and *Gracilariopsis bailinae* (*Gracilariales*, *Rhodophyta*). *Cerviconis Bot Mar* 39: 117-122

Whyte JNC, Englar JR, Saunders RG & Lindsay JC (1981) Seasonal variations in the biomass, quantity and quality of agar from the reproductive and vegetative stages of *Gracilaria verrucosa* type. *Bot Mar* 24: 493-501