

Croissance et capacité reproductive d'*Hypnea musciformis* (Rhodophyceae, Gigartinales) de la côte atlantique marocaine

**Aziza MOURADI^{1*}, Meriyem CHIKHAOUI¹, Mohamed FEKHAOUI²,
Laila BENNASSER¹, Nadia CHIADMI¹ et GIVERNAUD Thierry³**

¹*Laboratoire de biochimie, biotechnologies et environnement, Université Ibn Tofail,
Faculté des sciences, B.P. 133, 14000 Kénitra, Maroc.*

²*Laboratoire d'hydrobiologie, Département de zoologie, Institut scientifique, Université
Mohamed V, Agdal- Rabat, Maroc*

³*SETEXAM, Usine El Assam, Route de Tanger, B.P. 210, 14 000 Kenitra, Maroc.*

* Correspondance, courriel : mouradi14@caramail.com

Résumé

Les algues carraghénophytes constituent une biomasse importante sur le littoral marocain et sont exportées à l'état brut sans transformation locale, alors que l'industrie de l'agar est très développée au Maroc. Le but de notre travail est la valorisation des espèces les plus abondantes en vue de leur transformation locale. *Hypnea musciformis* est l'une des espèces étudiées au laboratoire et constitue une candidate potentielle à l'exploitation. Sa valorisation passe par l'étude de sa biologie en milieu naturel, puis en conditions contrôlées.

Les variations saisonnières de la croissance et de la capacité reproductive de l'algue rouge *Hypnea musciformis* ont été suivies durant deux années dans deux localités différentes au niveau de la côte atlantique marocaine. L'étude a permis de montrer que l'espèce est fertile toute l'année avec une large dominance de la génération tétrasporophytique, et présente deux périodes actives de croissance ; la première estivale et la seconde de moindre importance, automnale. Ainsi, le cycle biologique de l'algue se trouve influencé par plusieurs facteurs environnementaux tels que la lumière, la température, la salinité, la position de l'espèce au niveau de l'estran et les réponses d'acclimatation de l'algue aux différents types d'habitats.

Mots-clés : *Hypnea musciformis*, croissance, reproduction, analyse statistique

Abstract

Growth and reproductive capacity of *Hypnea musciformis* (Rhodophyceae, Gigartinales) on the Moroccan Atlantic coast

Carrageenan producing seaweeds represent an important biomass along the Atlantic coast of Morocco and are exported as raw material without any local transformation, while agar industry is well developed in the country. The aim of the present work is the valorisation of the more abundant seaweeds and their local transformation. *Hypnea musciformis* is one of the species studied in the laboratory and a potential applicant for exploitation. The first step before exploitation is to gather information about the biology and growth of this species in natural environment or under controlled conditions in the laboratory.

The seasonal growth and reproductive ability of this species have been studied during 2 years on two different locations of Moroccan Atlantic coast.

The species was fertile almost all along the year and tetrasporophyte phase predominated. *H. musciformis* has 2 periods of active growth: the first one at the beginning of summer and the second one, less active, in autumn. The biological cycle is under the influence of different environmental factors as light, temperature, salinity position of the thallus on the seashore and acclimatization response of the seaweed to different habitats.

Keywords : *Hypnea musciformis*, growth, reproduction, statistic analysis

1. Introduction

Les carraghénanes sont des polysaccharides extraits de la paroi des Rhodophycées des Gigartinales et des Cryptonémiales. Ce sont des phycocolloïdes utilisés dans les industries agroalimentaires, comme épaississants (λ carraghénane) ou comme gélifiants (κ ou ι carraghénane). Leurs réactions avec le lait donne des gels appréciés des consommateurs, d'où leur utilisation, sous le code E407, dans la formulation de la plupart des desserts lactés. Ceci explique la demande croissante du marché mondial en carraghénophytes et le développement de l'aquaculture des espèces les plus intéressantes.

La famille des Solieriacées de l'ordre des gigartinales contient le plus grand nombre de carraghénophytes exploités à l'échelle mondiale [1,2]. En 2004, la récolte annuelle de carraghénophytes utilisés industriellement a été estimée à $1,7 \cdot 10^6$ tonnes (Poids frais) par an. L'aquaculture de *Kappaphycus alvarezii* et d'*Euclima denticulatum* s'est

d'abord développée aux Philippines [3] puis en Indonésie et dans différents pays de la ceinture intertropicale. La demande du marché en κ -carraghénane est plus importante que pour les ι -carraghénanes ; cette situation est partiellement causée par le taux de croissance relativement plus faible du κ -carraghénophyte *K. alvarezii* comparé à celui du ι -carraghénophyte d'*E. denticulatum* [4]. Face à cette situation d'autres espèces productrices de κ -carraghénane ayant un taux de croissance élevé sont recherchées.

Au Maroc, le κ -carraghénophyte *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux constituent des gisements relativement importants [5]. C'est une algue rouge polymorphe pandémique des habitats tropicaux et subtropicaux [6]. Elle présente un taux de croissance élevé et une teneur en carraghénane importante [6-8]; le κ -carraghénane qu'elle contient est homogène et est très demandé sur le marché des phycocolloïdes [9,10]. Cette algue a fait l'objet de nombreuses études concernant sa composition en phycocolloïdes [11-14] et en acides gras [15]. Des essais de culture ont été également entrepris [16-19].

Mtolera and Buriyo, [10] ont suivi les variations saisonnières de la croissance, du rendement et de la qualité du carraghénane produit par cette espèce et ont montré que cette espèce pourrait constituer une alternative au *K. alvarezii* produit aux Philippines. De nombreuses études biologiques ont montré l'importance économique de l'espèce [20,21]. L'évaluation de la biomasse d'*Hypnea musciformis* en vue de son exploitation industrielle a été reprise par [22] au Brésil, La caractérisation du génome nucléaire de l'espèce a été entreprise par [23].

Au cours de ce travail nous avons suivi les variations de la croissance d'*Hypnea musciformis* en milieu naturel, afin de cerner les facteurs qui peuvent influencer le bon déroulement de son cycle de vie et déterminer la meilleure période pour sa récolte en vue de son exploitation et de son aquaculture au Maroc.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

C'est une algue polymorphe de couleur très variable en fonction de l'exposition ; tantôt verdâtre, tantôt rouge sombre, formant des touffes inextricables de rameaux cylindriques de consistance ferme. Ces rameaux portent des ramifications simples dont les extrémités effilées sont droites ou enroulées en crosse, ce dernier aspect très caractéristique, permet la reconnaissance sans ambiguïté de cette espèce (**Figure 1A**). Les tétrasporanges se rencontrent dans la partie terminale renflée de ramules solitaires,

ils sont disséminés dans la région corticale et sont de type zoné. Les cystocarpes sphériques sont portés par des rameaux spiniformes, ils sont parfois très proéminents (**Figure 1B et 1C**).

Cette algue ne pousse que sur les rochers ensablés à partir du médiolittoral inférieur en mode semi battu. Dans les deux sites de récolte l'algue forme un gisement important et régulier [5,24].

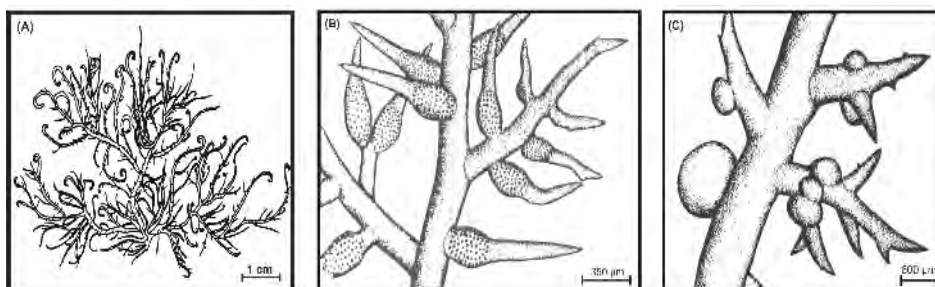


Figure 1 : Morphologie externe et détail des rameaux fertiles d'*Hypnea musciformis*.
(A) morphologie externe ; (B) : Rameau tétrasporongial ; (C) Rameau cystocarpique.

2-2. Présentation du site de récolte

La plage de Méhdia est située à 35 Km de Rabat sur la rive gauche de l'embouchure de l'oued Sebou en bordure de la plaine du Gharb (**Figure 2**). A marée basse, elle a une largeur de 180 m pour une pente maximale de 2 %. La plage des Nations située à 22 Km au nord de Rabat (**Figure 2**). De 60 m de largeur, cette plage est surplombée de hautes dunes mortes consolidées dont la hauteur peut atteindre 40 m.

La récolte d'*Hypnea musciformis* a été effectuée mensuellement durant deux années d'étude (1997-1998) L'échantillon mensuel était constitué de 100 thalles pris au hasard sur les sites de récolte.

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

Les prélèvements d'eau de mer ont été effectués mensuellement durant deux années (1997-1998) en même temps que la récolte de l'espèce.

La température de l'eau a été mesurée à l'aide d'un thermomètre à mercure gradué au 1/10°C. La salinité (S ‰) est déterminée à l'aide d'un réfractomètre portatif.

Les nitrates (NO_3^{2-}) sont réduits quantitativement en nitrites par voie chimique en utilisant le sulfate d'hydrazine [25]. Les nitrites ainsi formés sont dosés par la méthode classique au sulfanilamide/dichlorohydrate [26].

Les phosphates (PO_4^{3-} en $\mu\text{atg.L}^{-1}$) sont dosés par la méthode de Stephens [27], qui est une extension de celle décrite par *Murphy & Riley* [28].

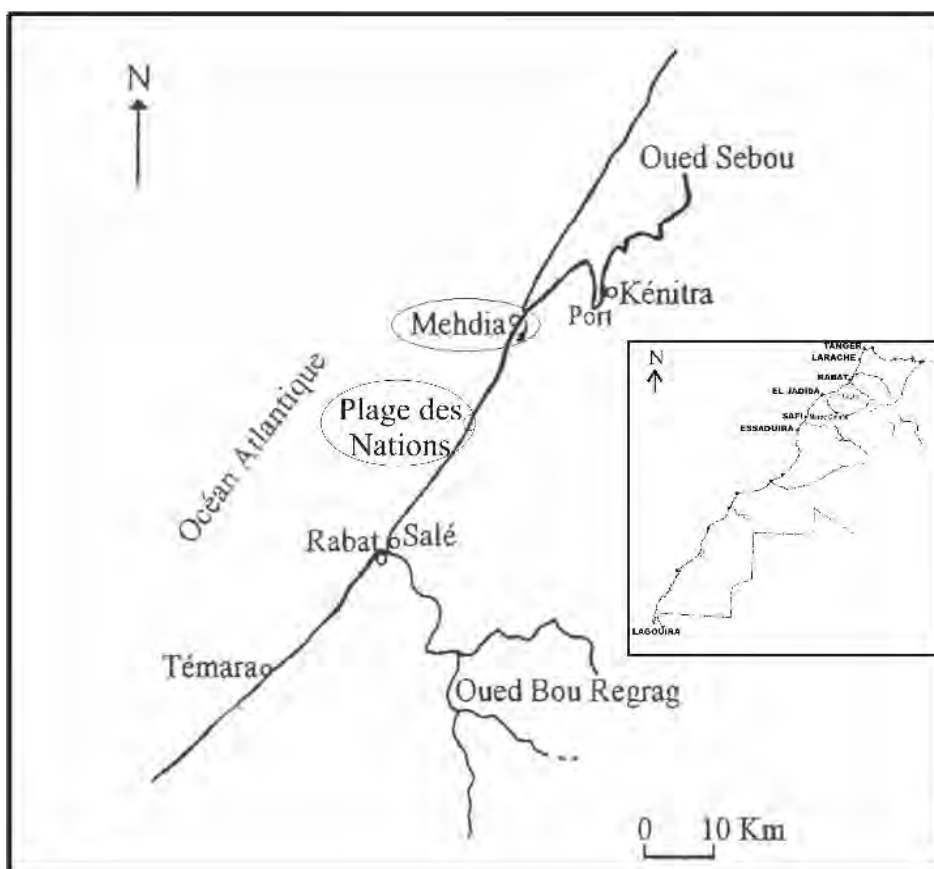


Figure 2 : Représentation géographique des stations de récolte.

2-4. Analyse de la croissance

2-4-1. Analyse qualitative

L'analyse morphologique d'*Hypnea musciformis* est effectuée sur des échantillons représentatifs de 100 thalles récoltés mensuellement. Ces derniers sont lavés à l'eau de mer, rincés rapidement à l'eau distillée pour éliminer les sels de surface et étalés en herbier après chaque récolte. L'observation des variations globales de la morphologie des algues permet de mieux appréhender le cycle de développement de l'espèce et de sélectionner les paramètres morphologiques à mesurer.

2-4-2. Analyses statistiques

L'analyse quantitative de la croissance et de la variation de biomasse de l'espèce est réalisée sur des prélèvements mensuels de 100 thalles pris au hasard dans la population naturelle.

Les paramètres considérés dans l'évolution de la biologie d'*Hypnea musciformis* sont :

- La longueur du thalle : L (cm)
- La masse de la fronde : P (g)
- Le nombre total de ramifications : RT
- Le nombre d'épines à 2 cm de l'apex : E2

Les résultats obtenus chaque mois sont traités par les méthodes statistiques classiques qui permettent de déterminer chaque fois une moyenne et un écart type. A partir de ces données, une courbe de variations saisonnières de la moyenne pour chaque paramètre étudié a été tracée.

Le pourcentage de fertilité total est noté pour chaque lot de 100 thalles. Les thalles fertiles ont été séparés en tétrasporophytes et en carposporophytes et leur évolution saisonnière a été suivie. Au cours de nos recherches, les gamétophytes mâles n'ont pas été rencontrés.

Par ailleurs, dans le but d'évaluer l'effet des facteurs environnementaux sur la croissance d'*Hypnea musciformis* en milieu naturel, une analyse en composantes principales a été effectuée sur la matrice de données formée par les 36 relevés mensuels dans les stations de la plage des Nations et de Mehdià (23 dans la station de Mehdià et 13 dans la plage des Nations). L'analyse (logiciel SAS) a porté sur les quatre paramètres de croissance : L, P, RT et E2 et les deux facteurs physico-chimiques du milieu : la température et la salinité ; les concentrations en nitrates et en phosphates n'ont pas été prises en considération dans cette analyse car ces deux éléments se trouvent en concentrations suffisantes pour la bonne croissance de l'espèce.

3. Résultats

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

Le suivi de la physicochimie ne sera détaillé que dans la station de Méhdià ; les valeurs des relevés mensuels sur la plage des Nations étant similaires.

La température

L'automne et l'hiver sont caractérisés par des températures qui varient entre 17 et 19°C. A la fin du printemps et en été, la température augmente de 20°C au mois de mai à 25°C en août (*Figure 3*).

La salinité

La détermination mensuelle de la salinité de l'eau montre que celle-ci fluctue entre 32,6 ‰ enregistrée en hiver et un maximum de 37,5 ‰ en été (*Figure 3*). La salinité de l'eau de mer est étroitement liée à la température, elle augmente lorsque la température de l'eau s'élève.

Les nitrates

Les teneurs des nitrates enregistrées dans la station de Mehdiya varient d'une année à l'autre, elles ont été plus élevées en 1997 (*Figure 4*). Elles fluctuent entre une valeur minimale de 1,65 mg.L⁻¹ en mai 1998 et une valeur maximale de 11 mg.L⁻¹ en mai 1997.

Les phosphates

Les concentrations en phosphates sont faibles dans l'eau de mer (*Figure 4*). Les valeurs les plus faibles ont été notées en juillet 1997 (0,22 µatg.L⁻¹) et en février de l'année 1998 (0,12 µatg.L⁻¹), alors que les plus élevées ont été enregistrées au mois d'avril au cours des deux années d'étude (respectivement 2,97 et 3,78 µatg.L⁻¹) par les apports fluviaux de l'oued Sebou et l'ouverture du barrage de garde en amont de ce dernier.

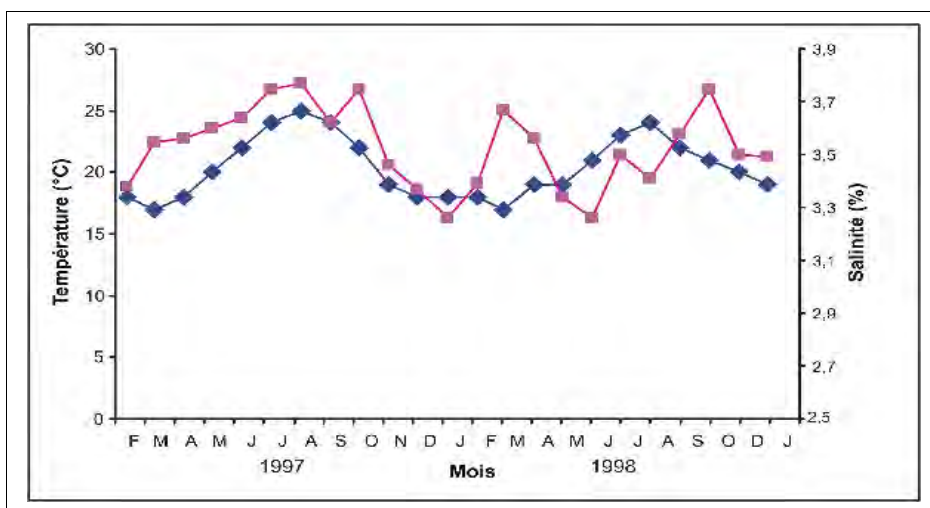


Figure 3 : *Variation mensuelle de la température (losanges bleus) et de la salinité (carrés roses) de l'eau de mer pour la station de Mehdiya (années 1997-1998).*

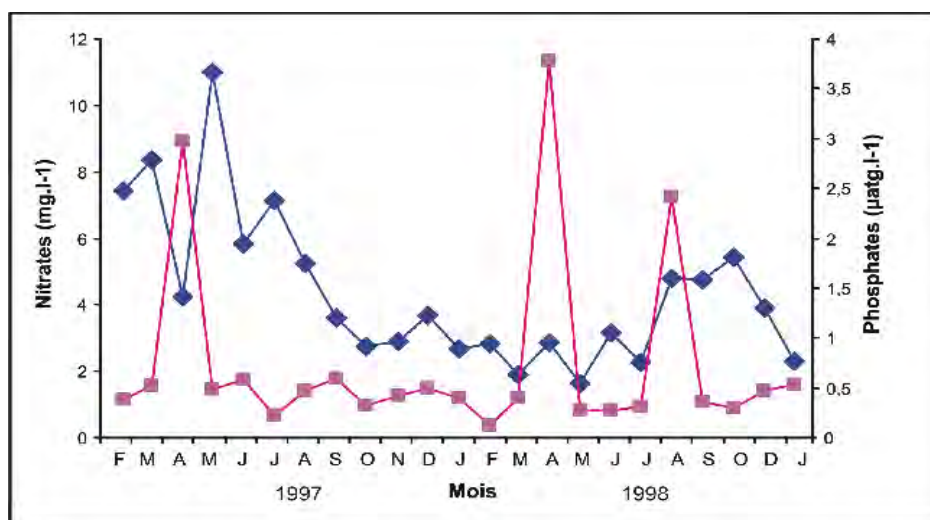


Figure 4 : Variation mensuelle de la teneur en nitrates et en phosphates de l'eau de mer pour la station de Mehdià (année 1997-1998).

3-2. Variation saisonnière de la croissance d'*Hypnea musciformis*

3-2-1. Variation qualitative de la croissance

Hypnea musciformis présente un cycle annuel et apparaît en Janvier-Février. La description morphologique a commencé à partir de cette période. Les différentes frondes mises en herbier mensuellement sont représentées sur la **Figure 5**.

Janvier-Mars

Les jeunes pousses d' *Hypnea musciformis* apparaissent à partir des disques de fixation. La taille moyenne des frondes ne dépasse pas 4cm. La base est rampante et se présente sous forme de touffes gazonnantes. La partie dressée porte très peu d'axes spiniformes, les ramifications sont courtes et peu nombreuses. Les extrémités des axes principaux sont enroulées en crosse. L'algue d'apparence charnue est gorgée d'eau et présente une couleur verdâtre.

Avril

Le thalle d'*Hypnea musciformis* croît en longueur. Les ramifications se multiplient et s'allongent, elles portent de nombreuses épines à croissance limitée de couleur rouge foncée.

Mai

La croissance apicale l'emporte et les axes principaux s'individualisent et se séparent pour donner eux aussi des frondes qui portent d'autres ramifications. Au cours de ce mois, il y a une prolifération des axes spiniformes qui portent des organes reproducteurs. L'algue change de couleur et passe du verdâtre au rouge foncé.

Juin-Août

En juin, les thalles sont de grande taille et portent de nombreuses ramifications. Les axes spiniformes renflés et de couleur rouge sombre sont nombreux sur l'axe principal et les rameaux secondaires. En juillet-août, les thalles atteignent leur taille maximale. Certains subissent une usure apicale, il y a une perte de biomasse et l'axe principal commence à perdre ses ramifications. Une diminution du nombre d'épines est notée, suite à la libération des organes reproducteurs.

Septembre

Pendant cette période, la croissance est ralentie. Les axes deviennent chétives et les ramifications se dégradent et raccourcissent. Les parties apicales sont nécrosées, perdent leur couleur et deviennent blanchâtres suite à leur exposition aux fortes intensités lumineuses pendant l'été. Cependant, des thalles vivants comme épiphytes sur les sargasses conservent leur vitalité et quelques uns sont même fertiles.

Octobre

La croissance reprend, les thalles augmentent de taille et commencent à édifier des ramifications primaires et des axes spiniformes renflés de couleur rouge sombre qui portent des organes reproducteurs. Les thalles ont une consistance rigide et sont de couleur rouge foncée.

Novembre

Les frondes continuent à croître et atteignent leur taille maximale. Les ramifications sont nombreuses mais de courte taille et portent de nombreuses épines chétives qui apparaissent vidées de leur contenu après libération des spores.

Décembre

L'algue se dégrade après la chute des ramifications. Le thalle se fragmente et perd sa consistance rigide. Les extrémités sont nécrosées et ne sont plus enroulées en crosse. La taille de l'espèce diminue et les thalles se retrouvent réduits à leur partie basale marquant ainsi l'achèvement du cycle de vie de l'algue.

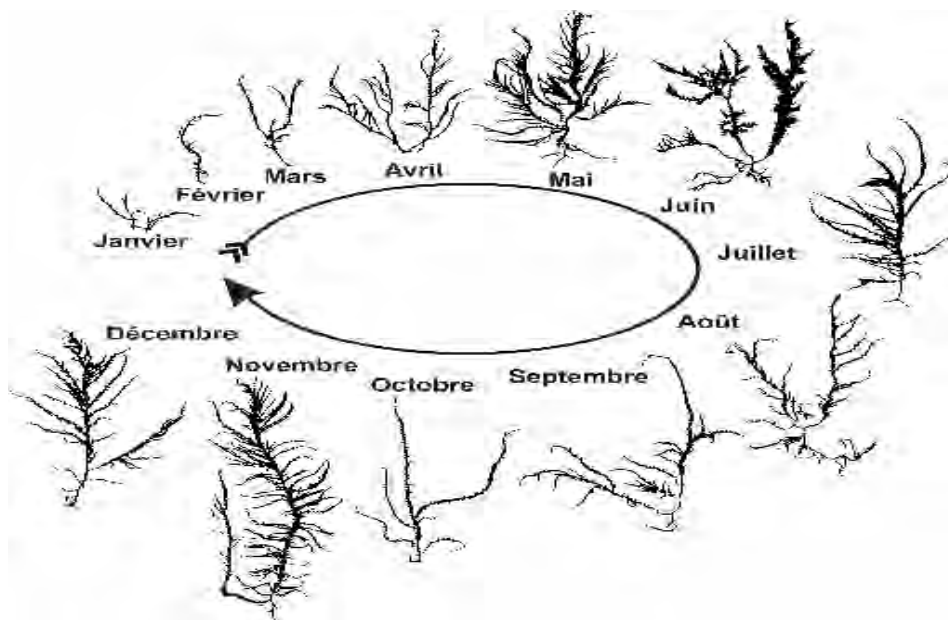


Figure 5 : Cycle morphologique d'*Hypnea musciformis* (année 1997).

3-2-2. Analyse quantitative de la croissance d'*Hypnea musciformis*

3-2-2-1. Evolution des différents paramètres de croissance

Nous interpréterons en détail les résultats obtenus au cours de l'année 1997 pour la station de Mehdiya et nous comparerons ces résultats quand cela est nécessaire avec ceux obtenus en 1998 et à la plage des Nations.

Longueur

La longueur minimale des thalles est enregistrée pour les deux années (1997 et 1998) au mois de février avec respectivement 4 et 3 cm (**Figure 6**). La croissance reprend à partir de ce mois les thalles atteignent une taille de 6 cm au mois d'août. Une chute de la croissance est notée entre août et septembre. Une deuxième période de croissance moins importante est enregistrée de septembre à novembre. La croissance est négative et correspond à une dégradation des thalles de novembre à février. Au cours de l'année 1997, la croissance a été plus active à la plage des Nations qu'à Mehdiya. Alors qu'au cours de 1998 l'algue se comporte pratiquement de la même manière dans les deux stations et la croissance est plus importante qu'en 1997, avec un maximum de 9 cm en novembre.

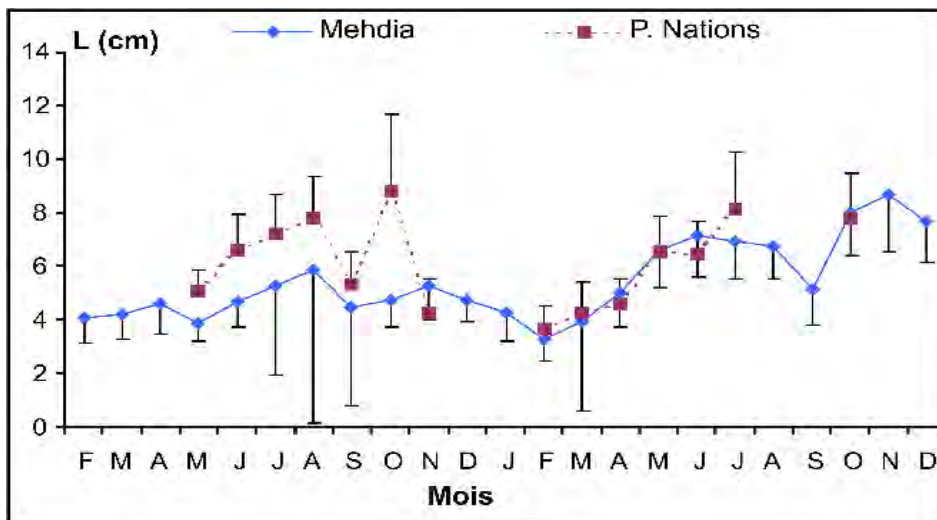


Figure 6 : Variation de la longueur des thalles d'*H. musciformis* récoltés dans les deux stations d'étude (1997-1998).

Poids

La **Figure 7** a la même allure que la **Figure 6**, avec des maxima de 0,06 et 0,16 cm respectivement en août 1997 et novembre 1998 à Mehdia. La croissance est plus importante à la plage des Nations qu'à Mehdia.

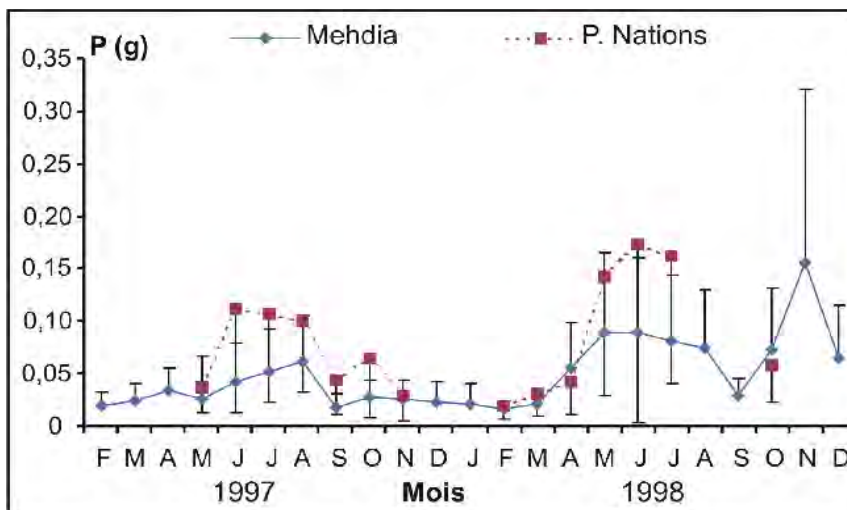


Figure 7 : Variation du poids des thalles d'*H. musciformis* récoltés dans les deux stations d'étude (année 1997-1998).

Nombre total de ramifications

La **Figure 8** montre que les résultats de l'année 1998 présente la même allure que les deux figures précédentes avec deux périodes actives de croissance, l'une de février à mai-juin avec un maximum de 16 ramifications par thalle et une deuxième de septembre à novembre avec un maximum de 25 ramifications par thalle toujours au mois de novembre à Mehdia. Les minima de nombre de ramifications sont toujours enregistrés au mois de février et de septembre. Des résultats similaires sont obtenus au cours de l'année 2007 à la plage des Nations. Les conditions environnementales à Mehdia, au cours de l'année 1997, semblent être défavorables à la croissance de l'espèce.

Nombre d'épines à 2 cm de l'apex

La **Figure 9** montre que le nombre d'épines à 2 cm de l'apex augmente considérablement de février à septembre à Mehdia pendant l'année 1997, avec un maximum de 43 épines, noté au mois d'août. Une seule période de croissance est notée au cours de cette année. La portion de la courbe de la **Figure 9** correspondant à l'année 1997 présente la même allure que les figures relatives à l'évolution de la longueur, du poids individuel des thalles et du nombre de ramifications, avec deux maxima de 35 et 29 épines respectivement en juin et novembre.

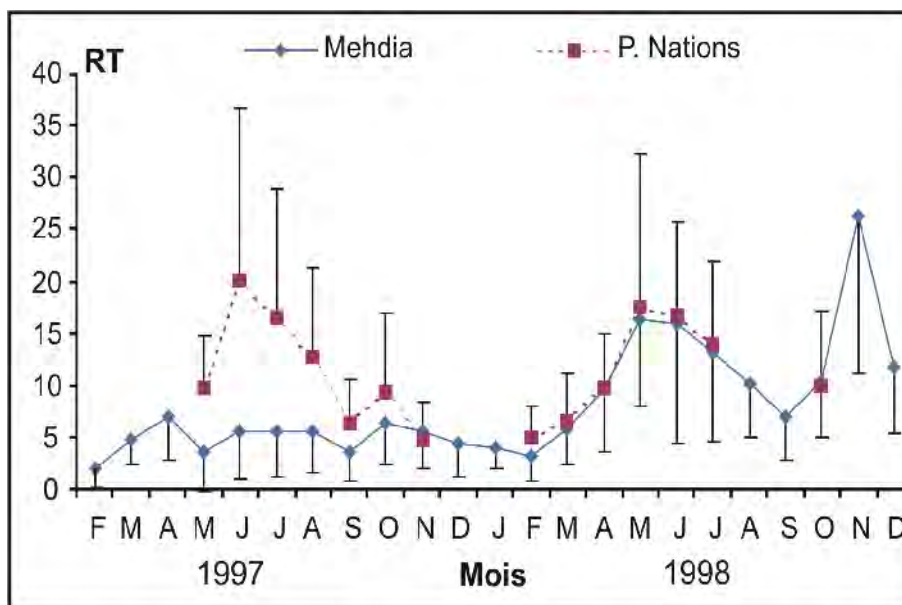


Figure 8 : Variation du nombre total de ramifications des thalles d'*H. musciformis* récoltés dans les deux stations (année 1997-1998).

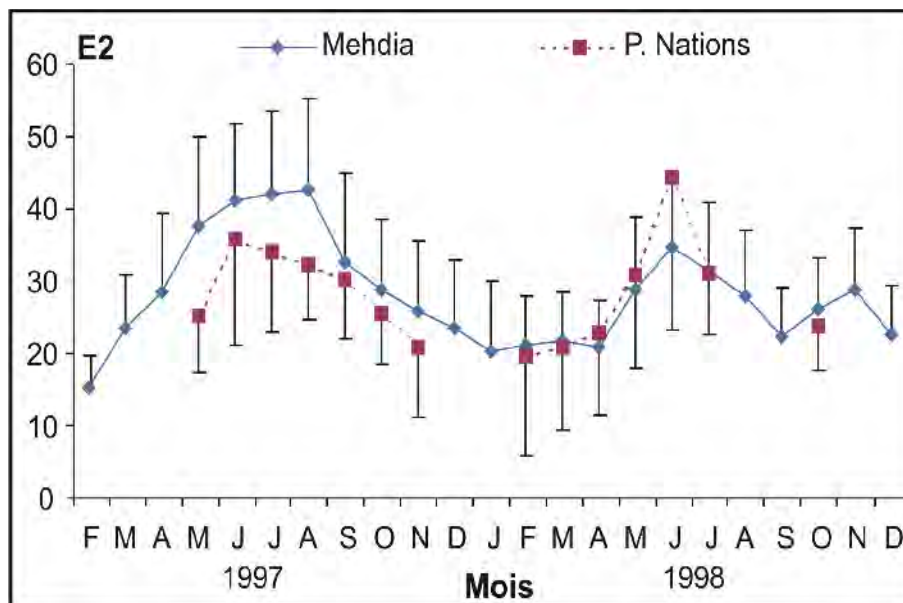


Figure 9 : *Variation du nombre d'épines à 2cm de l'apex des thalles d'*H. musciformis* récoltés dans les deux stations d'étude (année 1997-1998).*

L'examen de la variation des moyennes des différents paramètres de croissance étudiés (L, P, Rt et E2) durant les deux cycles d'études montre que l'évolution temporelle des différents paramètres de croissance des thalles a permis de localiser deux périodes de croissance active. La première en été, la seconde de moindre importance, en automne. Par ailleurs, la croissance est plus importante à la plage des Nations qu'à la station de Mehdià. La croissance est donc saisonnière et est le résultat de l'augmentation de la longueur, et de la ramification des thalles.

*3-2-2-2. Variation saisonnière de la fertilité d'*Hypnea musciformis**

Le suivi du pourcentage de fertilité d'*Hypnea musciformis* au cours des deux cycles d'étude montre que l'espèce présente une fertilité variable (**Figure 10**). Deux périodes de fertilité maximale sont enregistrées : la première en début été avec un maximum de 28 % et la seconde en automne avec 52 % à Mehdià en 1997. Les pics de fertilité coïncident avec les périodes de croissance active de l'espèce. Ces maxima varient d'une année à l'autre et d'une station à l'autre.

Par ailleurs, la génération tétrasporophytique et présente pratiquement tout au long de l'année dans les deux stations. Elle est dominante par rapport aux gamétophytes qui ne sont été observés qu'au cours de la période été-automne.

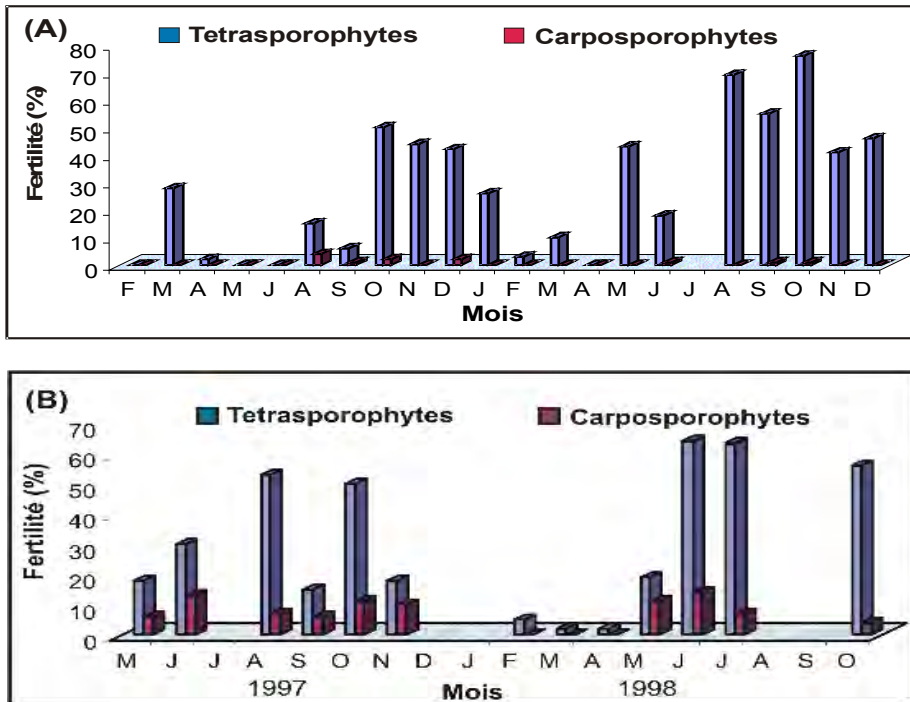


Figure 10 : Histogrammes de fertilité des tétraporophytes et carposporophytes
(A) : Digue de Mehdia (B) : Plage des Nations.

3-2-3. Analyse statistique

3-2-3-1. Diagramme de corrélation des données biométriques

Les diagrammes de corrélation des différents paramètres étudiés pour la caractérisation de la croissance chez *Hypnea musciformis* dans les deux stations d'étude montrent que le poids et le nombre total de ramifications sont très corrélés au cours du temps ($r = 0,72$ et $r = 0,61$ respectivement à Mehdia et à la plage des Nations).

Par ailleurs, les coefficients de corrélation entre le poids et le nombre d'épines et entre le poids et le nombre de ramification, sont significatifs dans le cas des thalles récoltés à la Plage des nations et non significatif pour les algues récoltées à Mehdia (**Tableau 1 et 2**).

Ces résultats montrent que la croissance est la résultante d'une part, de l'élongation des thalles qui se traduit par la production de nouveaux tissus (gain en poids), et d'autre part, par du développement de nouvelles ramifications qui donnent naissance également à des axes secondaires ou ramifications latérales dont le nombre se multiplie. L'augmentation du nombre d'épines dont la corrélation avec les autres paramètres est

non significative à Mehdia et très significative à la plage des Nations pourrait être liée aux conditions du milieu qui diffèrent d'une station à l'autre.

Tableau 1 : *Tableau de corrélation des différents paramètres de croissance sur la station de Mehdia. (N. S), (**): Coefficient de corrélation respectivement non significatif et significatif à 1 %.*

Mehdia	Longueur	Poids	Nb. Ramification	Nb Epines
Longueur	1	0,52 (**)	0,52 (**)	0,09 (N. S)
Poids		1	0,72 (**)	0,21 (N. S)
Nb. Ramification			1	0,14 (N. S)
Nb Epines				1

Tableau 2 : *Tableau de corrélation des différents paramètres de croissance à la plage des Nations. (N. S), (**): Coefficient de corrélation respectivement non significatif et significatif à 1 %.*

P. Nations	Longueur	Poids	Nb. Ramification	Nb Epines
Longueur	1	0,45 (**)	0,32 (**)	0,23 (N. S)
Poids		1	0,61 (**)	0,57 (**)
Nb. Ramification			1	0,56 (**)
Nb Epines				1

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

L'analyse en composantes principales normées a été réalisée sur l'ensemble des prélèvements recueillis pendant les deux années 1997-1998 au niveau des deux stations d'études ; la plage de Mehdia et celle des Nations.

La matrice de données de départ est formée par les 36 relevés mensuels (23 dans la station de Mehdia et 13 dans la plage des Nations) au cours desquels quatre paramètres de croissance (L, P, Rt et E2) et deux indicateurs physiques du milieu (T et S) ont été pris en considération.

Les deux premiers axes sont pris en considération pour la description des corrélations entre les variables liées aux structures spatiales qui expliquent 78,4 % de l'information totale (**Figure 11C**).

Dans le plan factoriel F1 x F2 où l'axe 1 contribue à lui seul à la moitié de l'inertie totale (51,13 %), deux groupes de variables s'individualisent (**Figure 11B**). Un premier

groupe (I) comprenant les paramètres de croissance à savoir la longueur (L), le poids (P), le nombre total de ramifications (Rt) et un second groupe (II) incluant le nombre d'épines à 2cm de l'apex (E2), la température (T) et la salinité (S). L'évolution et le développement des épines ou axes spiniformes paraît être affectée par ces deux facteurs du milieu.

L'analyse de la carte factorielle présentée par les axes 1 et 2 montre une large répartition des différents prélèvements sur ce plan, elle se traduit par deux grandes variations de la croissance au cours de la période d'investigation (**Figure 11A**). Nous distinguons ainsi deux groupes de relevés dont l'évolution semble différente ; le premier (I) est situé du côté positif de l'axe 1 et suit un gradient de croissance défini par les variables du premier groupe. La croissance paraît peu affectée par les paramètres du milieu. Le deuxième groupe (II) est formé de prélèvements dont la croissance est moyenne à faible mais qui serait affectée par un gradient de saisonnalité défini par le second groupe de variables. L'analyse par campagne et par station permet de mieux cerner cette particularité biologique.

Toute la variabilité saisonnière au niveau de la station de Méhdia au cours de l'année 1997 a été mise en évidence dans le plan 1 x 2 (**Figure 12A**). En effet, la croissance montre un passage progressif et bien individualisé selon les quatre saisons de l'année ; de l'hiver vers l'été en passant par le printemps et l'automne. Cette succession saisonnière est fonction des paramètres de croissance des thalles. Cependant, cette croissance est gérée par les paramètres du milieu (la température et la salinité). Par ailleurs, au niveau de la plage des Nations, deux grandes tendances apparaissent ; une première au cours de l'été où la croissance est maximale et plus importante que celle relevée à la station de Méhdia et la seconde, en automne où elle est moyenne et identique dans les deux stations. Il semblerait qu'au niveau de la station de la plage des Nations, la croissance plus importante de l'espèce, est peu affectée par la température et la salinité (**Figure 12A**) et elle est plus prononcée en été et une partie de l'automne.

Au cours de l'année 1998, la projection des prélèvements sur le plan F1xF2 se présente tout le long de l'axe F1. La croissance de l'espèce ne suit pas le même rythme que celui de l'année précédente. Elle présente une évolution saisonnière des paramètres de croissance de gauche à droite de l'axe F1. Elle est donc la résultante de l'augmentation en longueur, d'un gain en poids et en ramifications totales. Cette évolution est très prononcée en été et en automne dans les deux stations et paraît peu influencée par la température et la salinité de l'eau de mer (**Figure 11B**). Cependant, la croissance estivale est plus importante à la plage des Nations qu'à Mehdià.

L'axe factoriel F3 ne détient que 11 % de l'information totale (**Figure 13C**). Cependant, la projection des prélèvements sur le plan F1xF3 montre que l'évolution de la croissance en été et en automne est différente. La croissance de l'espèce serait influencée en été

par l'augmentation de la température de l'eau de mer et par la minéralisation du milieu en automne (**Figures 13A et B**).

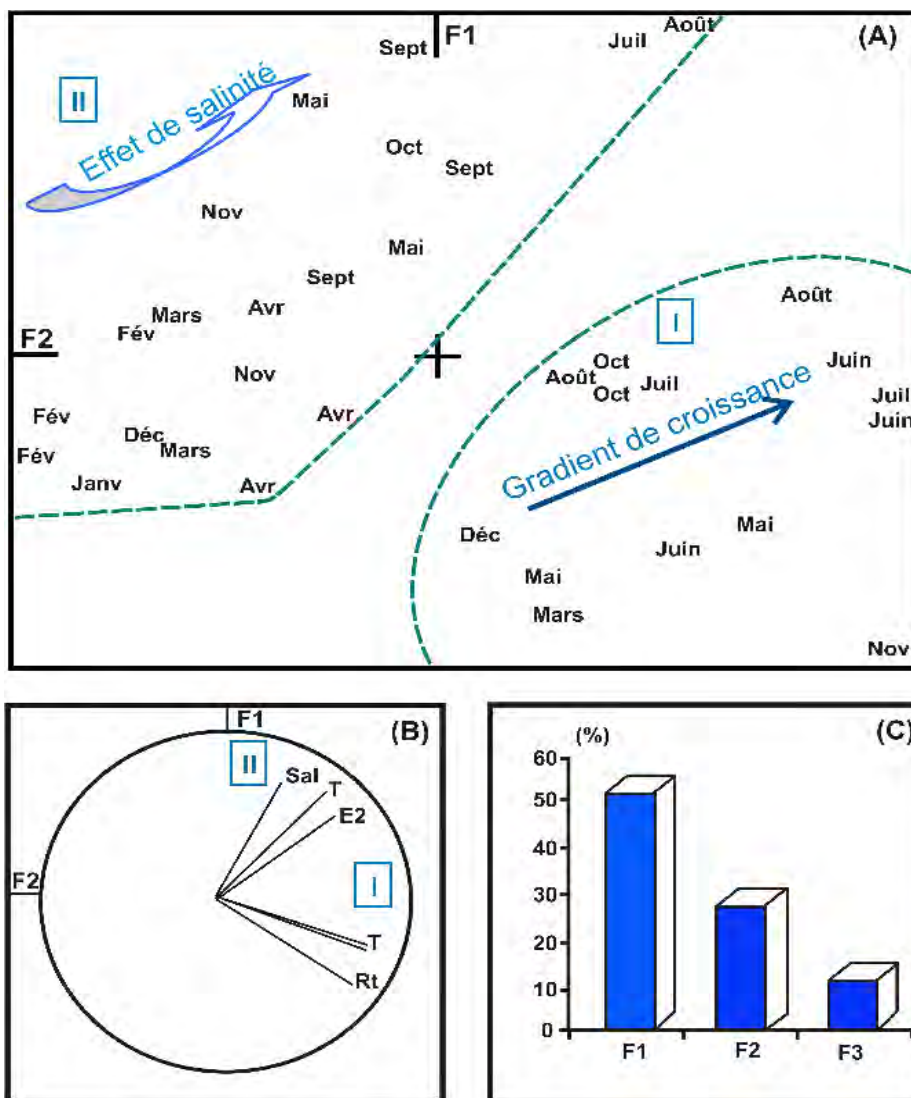


Figure 11 : Représentation graphique dans le plan F1xF2 des relevés dans les deux stations : Méhdià et plage des Nations.

A: Carte factorielle des relevés mensuels dans les deux stations.

B: Carte factorielle des variables.

C: Répartition des relevés entre les axes.

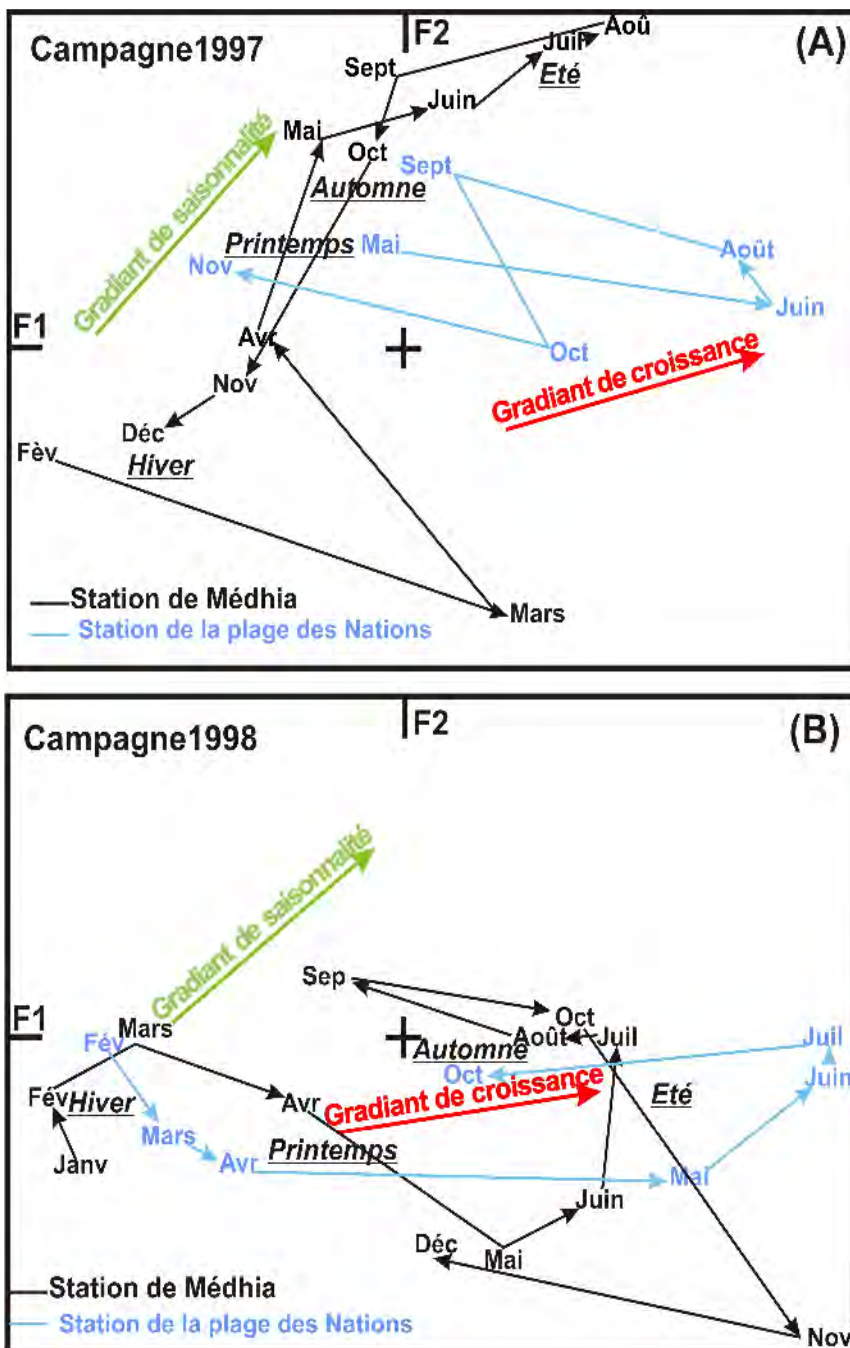


Figure 12 : Répartition des prélèvements sur l'axe factoriel F1x F2 des deux stations étudiées.

A : Prélèvements de l'année 1997 dans les deux stations.

B : Prélèvements de l'année 1998 dans les deux stations.

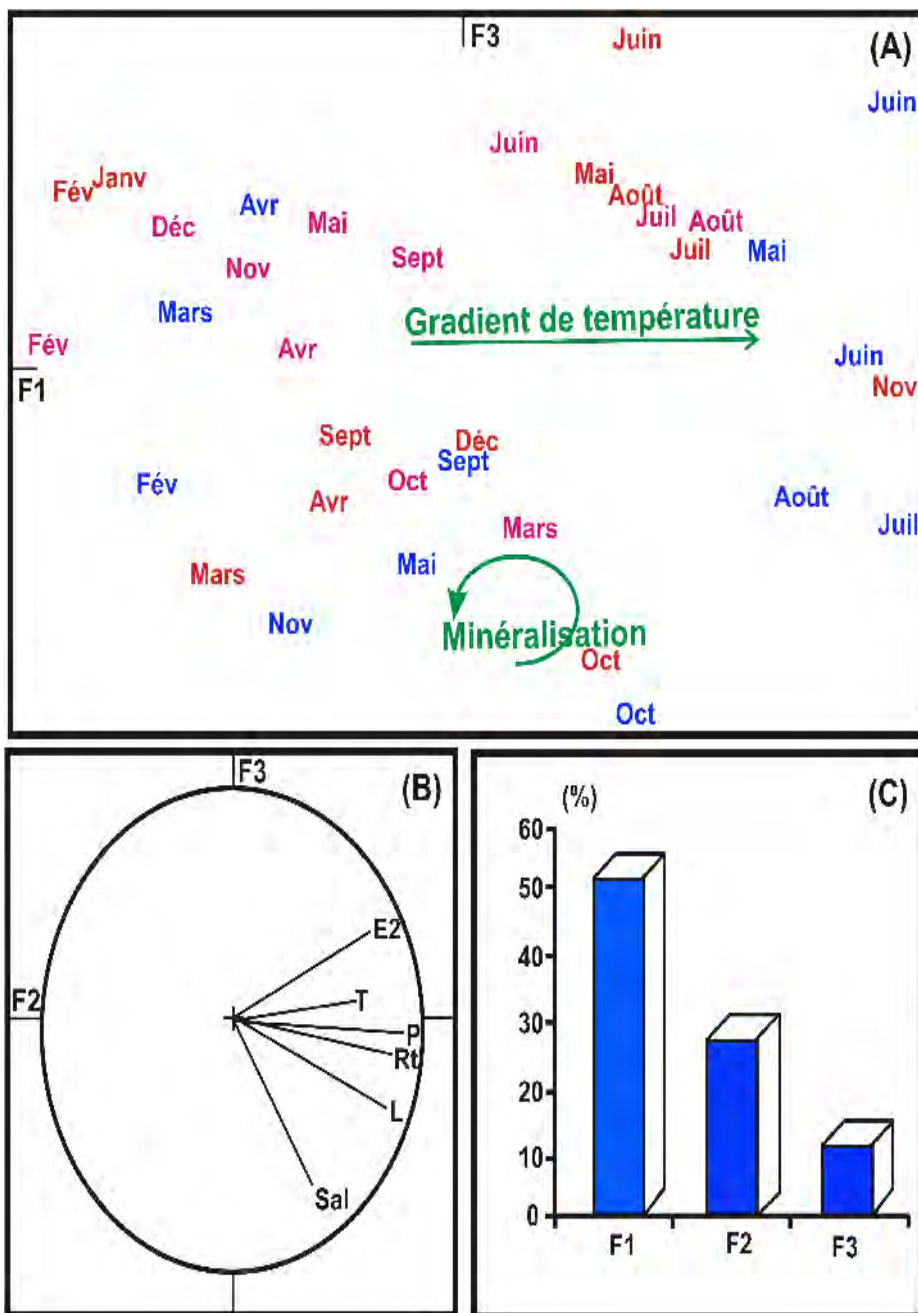


Figure 13 : Répartition graphique dans le plan factoriel F1x3 des relevés des deux stations étudiées.

A : Carte factorielle des relevés mensuels dans les deux stations.

B : Carte factorielle des variables. C : Répartition de l'inertie entre les axes.

4. Discussion

Le suivi du cycle biologique d'*Hypnea musciformis* récoltée en milieu naturel, dans les deux stations d'étude, montre deux périodes de croissance active : la première en été et la seconde de moindre importance en automne. Ce cycle présente beaucoup de similitudes avec le cycle biologique de plusieurs autres espèces récoltées dans les mêmes sites : *Gracilaria multipartita* [30,31], *Gigartina pistillata* [10], *Gymnogongrus patens* [32], *Gelidium sesquipedale* [33,34] ou dans d'autres localités tel que *Gracilariopsis longissima* récolté à El Jadida au Maroc [35] ou *Gelidium latifolium* récolté à Roscoff en France [36,37].

L'analyse qualitative de la croissance montre que les thalles d'*Hypnea musciformis* commencent leur cycle de vie à partir de janvier-février. Les frondes de petite taille peu ramifiées présentent une forme gazonnante, elles gagnent en longueur et en ramification à partir du mois d'Avril pour atteindre leur développement maximum de juin à août.

En fin d'août et septembre la croissance est ralentie, les algues se fragmentent et perdent leurs ramifications. La croissance reprend une seconde fois en octobre et se manifeste par l'élongation des thalles, un gain en poids et l'élaboration de nouvelles ramifications et des épines portant les organes reproducteurs. A la fin de l'automne et au début de l'hiver, l'algue se fragmente et dégénère. Elle achève ainsi son cycle de vie.

Le suivi du pourcentage de fertilité d'*Hypnea musciformis* au cours des deux cycles d'étude montre que l'espèce est fertile presque toute l'année. Cependant, deux périodes de fertilité maximale sont enregistrées ; la première en été et la seconde en automne. Les pics de fertilité coïncident avec les périodes de croissance active de l'espèce. Par ailleurs, le suivi des tétrasporophytes et des gamétophytes pris séparément dans les deux stations montre que les tétrasporophytes sont présents presque toute l'année et sont dominants par rapport aux gamétophytes qui ont été observés seulement dans la période été-automne ; ce résultat confirme les observations de [36] et celles faites récemment [38] sur la comparaison de trois techniques pour l'identification des phases isomorphes de *Chondrus crispus*.

L'analyse quantitative par les différentes méthodes statistiques a permis de dégager les principales affinités de croissance de l'espèce et confirme les observations morphologiques notées au cours d'un cycle annuelle. Le déroulement du cycle de l'espèce est donc influencé par les paramètres mésologiques et hydrodynamiques du milieu comme cela été signalé par d'autres auteurs : la croissance de cette espèce montre des fluctuations dues aux variations des facteurs environnementaux telles que la salinité, la température et la dessiccation prolongée [18], l'intensité lumineuse [7], l'humidité de l'air [39], l'adaptation au substrat (plantes hôtes ou parasitisme) et la possibilité de

prédation par les herbivores [40]. Ce dernier auteur suspecte que les populations d'*Hypnea musciformis* sont broutées par les amphipodes et les mollusques (*Aplysia*) [6] le taux de croissance de l'espèce en conditions contrôlées est élevé (20 %·j⁻¹) et le meilleur rendement est observé lorsque la température de l'eau de mer est comprise entre 18 et 24°C couplé à une agitation en flux continu et à un supplément en nitrates et phosphates. Des résultats similaires ont été signalés par [21,22,41,42]. Le taux de croissance est inversement proportionnel à la biomasse et au niveau de radiation solaire. Le principal facteur contrôlant la production saisonnière d'*Hypnea musciformis* en culture est le mouvement de l'eau [16]. Les travaux les plus récents de [9] sur la même espèce récoltée en Tanzanie dans l'hémisphère sud ont montré l'influence des facteurs saisonniers sur la croissance et la production de phycocolloïdes ; la croissance est maximale entre novembre et février lorsque la mer est relativement calme, et que les taux de nitrates et de phosphates, ainsi que l'intensité lumineuse, sont élevés.

Par ailleurs, nous avons montré que les mois d'automne présentent la plus forte dispersion des données témoignant d'une grande hétérogénéité de la récolte sur chaque année et même une inversion de saisonnalité. Ceci a été expliqué par [43], sur des histogrammes de classe de répartition, par un chevauchement de générations au cours de cette période et par la régression de la croissance, qui serait la conséquence de l'utilisation par l'algue de métabolites pour l'élaboration d'organes reproducteurs au dépend de l'élongation des thalles ; le taux de fertilité est maximal pendant cette période. En effet, cet auteur a montré par une analyse des histogrammes de fréquence des prélèvements mensuels une homogénéité des récoltes au cours des mois d'hiver. Au fur et à mesure que les saisons progressent, il a noté une hétérogénéité de la population qui se manifeste par une diversification des classes de fréquences des mois d'été (juin-août). Ce phénomène se produit aussi aux mois d'octobre et novembre. En décembre, la récolte se réduit aux classes de taille moyenne traduisant une fragmentation des thalles de grande taille. C'est l'achèvement du cycle de vie de l'algue.

Les différentes projections sur l'axe F1xF2 montrent une variation saisonnière importante, la croissance semble être influencée au cours de l'année 1997 par un gradient de saisonnalité défini par les paramètres du milieu, alors que durant l'année 1998, plus sèche que la précédente, elle serait la conséquence de l'élongation des thalles, d'un gain en poids et en ramifications.

Les différences de croissance de l'espèce entre la plage des Nations qui bénéficie d'une homogénéité de la salinité et la digue de Méhdia où les apports fluviaux du Sebou sont riches en sels nutritifs, semblent être liées à la physiologie et aux réponses d'acclimatation du thalle d'*Hypnea musciformis* dans les deux biotopes, et à la nature du substrat comme l'ont signalé [44].

5. Conclusion

L'espèce présente deux périodes de croissance active ; une en période estivale et l'autre en automne. Les variations de croissance sont liées à la saison et à la localité géographique. Ces variations montrent une remarquable adaptation de l'espèce à son milieu de vie.

L'algue est fertile pendant une grande partie de l'année ; les taux les plus élevés de fertilité coïncident avec les maxima de croissance de l'algue.

L'analyse globale en composantes principales normée fournis des renseignements appréciables sur le comportement d'*Hypnea musciformis* en milieu naturel et confirme les observations faites sur les peuplements naturels.

La meilleure période d'exploitation de l'espèce serait la période estivale, tout en réduisant la période de récolte à deux mois au maximum pour laisser l'algue croître en automne et développer ses organes de reproduction qui participeraient à l'ensemencement des champs. Une mauvaise gestion des stocks naturels de l'espèce pourraient conduire à une surexploitation de l'espèce comme cela a été montré pour l'espèce la plus exploité au Maroc : *Gelidium sesquipedale* [45].

La poursuite des travaux de recherche sur les facteurs qui influencent le cycle de développement de l'espèce 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 s'il est possible d'envisager le maintien de l'espèce en croissance tout au long de l'année et prévoir plusieurs périodes de récolte de l'espèce en aquaculture.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la coopération franco-marocaine (AI: 110/SVS/97) et de la coopération avec la société locale Setexam, que nous tenons à remercier vivement. Nos remerciements vont également au CRNTS et au ministère de l'Education, de l'Enseignement Supérieur, de la Formation des Cadres et de la Recherche Scientifique pour leur soutien financier.

Références

- [1] - M. S. Doty. "Prodromus ad systematica of *Eucheumatoideorum*: a tribe of commercial seaweeds related to *Eucheuma* (Solieriaceae, Gigartinales)". In: Abbott (ed.), Taxonomy of economic seaweeds with reference to some Pacific and Caribbean species. La Jolla : California Sea Grant College Program [Report T-CSCiCP-018]. 2 (1988) 159-207.
- [2] - M. S. Doty. "*Betaphycus philippinensis* gen. et sp. nov- and related species (Solieriaceae, Gigartinales)". In Abbott (ed.), Taxonomy of economic seaweeds with reference to some Pacific specie. La Jolla: California Sea Grant College Program [Report T-CSGCP-035]. 5. (1995) 237-245.
- [3] - A. Jensen. Present and future needs for algae and algal products. *Hydrobiologia* 260/261 (1993) 15-23.
- [4] - M. S. P. Mtolera, J. Collén, M. Pedersén and A. Semesi. Destructive hydrogen peroxide production in *Eucheuma denticulatum* (Rhodophyta) during stress caused by elevated pH, high light intensities and competition with other species. *Eur. J. Phycol.* 30 (1995) 289-297.
- [5] - S. Bennhisoun, C. F. Boudouresque, M. P. Boudouresque, 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.
- [6] - G. G. Jr. Guist, C. J. Dawes and J. R. Castle. Mariculture of the red seaweed, *Hypnea musciformis*. *Aquaculture* 28 (1982) 375-384.
- [7] - M. Friedlander and N. Zelikovitch. Growth rates, phycocolloid yield and quality of the red seaweeds, *Gracilaria* sp., *Pterocladia capillacea*, *Hypnea musciformis* and *Hypnea cornuta*, in field studies in Israel. *Aquaculture* 40 (1984) 57-66.
- [8] - M. Wallner. Biomass, carrageenan yield and reproductive state of *Hypnea musciformis* (Rhodophyta, Gigartinales) under natural and experimental cultivated condition. *Aquaculture and Fisheries Management.* 23 (1992) 443-451.
- [9] - 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.
- [10] - A. Mouradi, A. Amimi, F. Elomari, Ah. Mouradi and T. Givernaud. Biological cycle of *Gigartina pistillata* (Gmelin) Stackhouse in Nations beach of Morocco. *Algological Studies*, 123 (2006) 73-93.
- [11] - R. K. Rao and V. Krishnamurthy. Studies on Indian Hypneaceae I. Seasonal variation in phycocolloid content in two species of *Hypnea* (Gigartinales, Rhodophyceae). *Bot. Mar.* 21 (1978) 257-259.

- [12] - C. W. Greer, I. Shomer, M. E. Goldsein and W. Yaphe. Analysis for carrageenan from *Hypnea musciformis* by using κ - and ι -carrageenases and ^{13}C NMR spectroscopy. *Carbohydr. Res.* 129 (1984) 189-196.
- [13] - S. H. Knutsen, E. Murano, M. D'Amato, R. Toffanin, R. Rizzo and S. Paoletti. Modified procedures for extraction and analysis of carrageenan applied to the red alga *Hypnea musciformis*. *J. Appl. Phycol.* 7(1995) 565-576.
- [14] - V. M. Melo, D. A. Medeiros, F. J. B. Rios, L. I. M. Castelar and A. D. Carvalho. Antifungal properties of proteins (agglutinins) from the red alga *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux. *Bot. Mar.* 40 (4) (1997) 281-284.
- [15] - F. Bi and S. Iqbal. Chemical investigation and elicitor activity of polysaccharid of red algae *Hypnea musciformis* and *Botryocladia leptopoda*. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research* 42 (5) (1999) 223-226.
- [16] - F. A. S. Berchez, R. T. L. Pereira and N. F. Kamiya. Culture of *Hypnea musciformis* (Rhodophyta, Gigartinales) on artificial substrates attached to linear ropes. *Hydrobiologia* 260/261 (1993) 415-420.
- [17] - R. K. Rao. Studies on growth cycle and phycocolloid content in *Hypnea musciformis* (Wulf.) Lamour. *Bot. Mar.* 13 (1970) 163-165.
- [18] - K. E. Mshigeni. Studies on the reproduction of selected species of *Hypnea* (Rhodophyta, Gigartinales) from Hawaii. *Bot. Mar.* 19 (1976) 341-346.
- [19] - K. E. Mshigeni and D. J. Chapman. *Hypnea* (Gigartinales, Rhodophyta) In : Akatsuka, I. (Ed.) *Biology of economic algae*. SPB Academic Publishing, The Hague, (1994) 245-281.
- [20] - I. C. Bravin and Y. Yoneshigue-Valentin. The influence of environmental factors on *in vitro* growth of *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux (Rhodophyta). *Revista Brasileira de Botanica.* 25(4) (2002) 469-474.
- [21] - P. Fong, K. E. Boyer, K. Kamer and K. A. Boyle. Influence of initial tissue nutrient status of tropical marine algae on response to nitrogen and phosphorus additions. *Marine Ecology Progress Series.* 262 (2003) 111-123.
- [22] - A. L. Faccini and F. Berchez. Management of natural beds and standing stock evaluation of *Hypnea musciformis* (Gigartinales, Rhodophyta) in south-eastern Brazil. *J. Appl. Phycol.* 12 (2) (2000) 101-103.
- [23] - D. F. Kapraun, J. C. Bailey and J. A. Dutcher. Nuclear genome characterization of carrageenophyte *Hypnea musciformis* (Rhodophyta). *J. Appl. Phycol.* 6 (1994) 7-12.
- [24] - P. Gayral. Les algues de la côte Atlantique marocaine. *Soc. Sc. Nat. et Phys. du Maroc.* Rabat. (1958) 527p.
- [25] - 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.

- [26] - J. D. H. Strickland and T. R. Parson. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 167 (1972) 71-89.
- [27] - E. Stephens. A practical handbook of seawater analysis. *Limnol. Ocean.* 8 (1963) 361 p.
- [28] - 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.
- [29] - J. Furnestin. L'hydrologie de la zone marocaine. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.* 21 (1-2) (1975) 19-38.
- [30] - T. 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 coast of Morocco. *Hydrobiologia* 398/399 (1999) 167-172.
- [31] - 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 coast. *Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc).* 24 (1-2) (2004a) 23-34.
- [32] - F. Elomari. Etude de la biologie et de la production des carraghénanes par *Gymnogongrus patens* Agardh (Rhodophyée, Gigartinale) de la côte atlantique marocaine. D.E.S.S. Université Ibn Tofail. Kénitra, Maroc. (2004) 113p.
- [33] - 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.
- [34] - 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.
- [35] - I. Hrimile. Etude préliminaire de l'écophysiologie et de la biochimie de l'agarophyte *Gracilariopsis longissima* (Gmelin) Steentoft, El Jadida, Maroc. D.E.S.S. Université Ibn Tofail. Kénitra, Maroc (2006) 121p.
- [36] - 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.
- [37] - 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.
- [38] - M. T. Brown, A. Neish and D. Harwood. Comparison of three techniques for identifying isomorphiques phases of *Chondrus crispus* (Gigartinaceae). *J. Appl. Phycol.* 16 (2004) 447-450.
- [39] - M. S. Murthy, Y. N. Rao Ramakrishna and D. K. Ghose. Ecological studies on some agarophytes from Veranal coast (India) I. Effects of aerial conditions on the biomass dynamics. *Bot. Mar.* 32 (1989) 515-520.

- [40] - R. P. F. Schenkman. *Hypnea musciformis* (Rhodophyta) : Ecological influence on growth. *J. Phycol.* 25 (1989) 192-196.
- [41] - R. P. Reis and Y. Yoneshigue-Valentin. Phenology of *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux (Rhodophyta, Gigartinales) in three populations from Rio de Janeiro State, Brazil. *Bot. Mar.* 43 (3) (2000) 299-304.
- [42] - R. Einav, S. Breckle and S. Beer. Ecophysiological adaptation strategies of some intertidal marine macroalgae of the Israel Mediterranean coast. *Marine Ecology Progress Series.* 125(1-3) (1995) 219-228.
- [43] - 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.
- [44] - M. J. Durako and C. J. Dawes. A comparative seasonal study of two populations of *Hypnea musciformis* from East and West coasts of Florida. USA. *Marine Biology* 59 (1980) 151-156.
- [45] - 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.