

**Analyse de la croissance et des variations morphologiques
saisonnères de *Gelidium sesquipedale* (Turner) Thuret
(Rhodophyceae, Gélidiales) de la côte atlantique marocaine**

**Aziza MOURADI^{1*}, Oumâima BENHARBIT¹, Lala Mina HASSANI¹,
Ahlam MOURADI², Manar BENNIS¹ et Thierry GIVERNAUD²**

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

²*SETEXAM, Usine El Assam, Route de Tanger, B.P. 210, 14 000 Kenitra, Maroc.*

(Reçu le 28 Octobre 2006, accepté le 05 Septembre 2007)

* Correspondance, courriel : mouradi14@caramail.com

Résumé

L'agarophyte *Gelidium sesquipedale* est une rhodophycée très commune sur les côtes marocaines, son exploitation et sa transformation locale ont précédé toute étude scientifique.

L'étude de la croissance de cette espèce en milieu naturel a montré que son rythme d'élongation est faible avoisinant 9cm par an. Elle présente deux périodes de croissance active : la première entre mai et juillet et la deuxième de moindre importance entre septembre et octobre. Le suivi de la variation saisonnière de la morphologie a montré que *G. sesquipedale*, récolté dans infralittoral, n'a pas permis de mettre en évidence de variations morphologiques importantes. L'analyse des histogrammes de fréquence des paramètres de croissance étudiés (Longueur, Poids, nombre total de ramification et le nombre de ramification à 1 cm de l'apex) montre, une hétérogénéité de la population, ce qui confirmerait la forte capacité de régénération de l'espèce et que l'algue se multiplie principalement en milieu naturel par bouturage.

Les thalles de cette espèce sont fertiles toute l'année avec un maximum noté en automne.

Mots-clés : *Gelidium sesquipedale*, croissance, reproduction.

Abstract

Analysis of *Gelidium sesquipedale* (Turner) Thuret (Rhodophyceae, Gélidiales) seasonal growth and morphological of the Atlantic coast of Morocco

Gelidium sesquipedale is a common rhodophyceae seaweed of the Atlantic coast of Morocco. Its exploitation and use in agar industry have preceded scientific studies. The study of its growth in natural environment has shown that elongation speed is slow (about 9cm.an⁻¹). The species has 2 periods of active growth: the first one between May and July and the second one, less important, between September and October. The monthly survey of the thallus morphology did not show important seasonal variations. The analysis of the frequency histogram of the different parameters (length, weight, total number of ramifications and number of ramifications one centimetre below the apex) showed the heterogeneity of the population, that confirm the high regeneration capacity of the species and that the multiplication of the species is mainly the result of cutting multiplication.

Keywords : *Gelidium sesquipedale*, growth, reproduction.

1. Introduction

Au Maroc, l'industrie de l'agar a permis le développement, tout le long des côtes marocaines, d'une activité de récolte qui assure un emploi permanent ou temporaire à plus de 8000 personnes. La production d'agar assure une entrée de devises de plus de 20 millions d'euros par an. Cette industrie place le Maroc parmi les premiers producteurs mondiaux. *Gelidium sesquipedale* (Turn.) Thuret (Gélidiales) est la première source de matière première de l'industrie marocaine de production d'agar ; et représente à elle seul environ 90 % de la collecte des algues marines traitées. Bien que cette espèce soit présente tout le long du littoral, elle ne forme de peuplements denses qu'en quelques points de la côte [1,2].

Ces gisements font l'objet d'une exploitation intense, et en certains points du littoral les récoltants se plaignent d'une diminution de la ressource et de l'envahissement de certaines zones par l'espèce *Halopithys incurvus* (Hudson) Batters. Un programme de cartographie a été lancé pour évaluer l'état réel de la ressource [3] et a montré que la biomasse de *G. sesquipedale* a diminué de plus de 40 % en 5 ans sur El Jadida, principal site exploité. La reproduction sexuée ne semble pas être très efficace chez cette espèce : la présence d'organes reproducteurs sur les pieds collectés dans l'infralittoral est faible au Maroc [1,4], seuls les thalles collectés à la limite supérieure des peuplements

présentent des taux de fertilité importants [5]. Le maintien des peuplements serait assuré essentiellement par multiplication végétative des thalles à partir de la partie prostrée [6,7]. Ceci rend les populations sensibles à la récolte par les plongeurs qui arrachent les thalles et éliminent ainsi une partie importante des structures qui assurent la pérennité de l'espèce. Plusieurs essais de culture de cette espèce ont échoué. Ainsi Salinas [8] a mis au point une méthode de réensemencement basée sur l'initiation, en conditions contrôlées sous aspersion, de la refixation de thalles sur des substrats artificiels. Les plaques ainsi obtenues doivent ensuite être vissées sur des rochers dans l'infra littoral. De manière similaire, *Seoane-Camba* [9] proposait de développer l'aquaculture de *Gelidium sesquipedale* sur des cylindres en béton sur lesquelles les algues seraient maintenues par un filet jusqu'à ce qu'elles se refixent sur le support. Dans les deux cas, la mise en œuvre de la méthode nécessite des moyens importants, tant matériels qu'humains.

Les travaux de *Borja* [10] ont permis de poser l'hypothèse que les fragments de thalles arrachés lors des tempêtes pouvaient, s'ils trouvaient un substrat convenable, se refixer sur le fond pour donner de nouveaux thalles. Des travaux réalisés par *Mouradi* [11] ont déjà permis de vérifier que cette possibilité existait chez *Gelidium latifolium*. Les travaux récents de *Givernaud et al.* [12] se sont basés sur cette hypothèse et ont mis au point une technique de réensemencement des champs de *G. sesquipedale* sur le site d'El Jadida; 4ha ont pu être réensemencés.

Les travaux de *Mouradi* [11] ont abouti à l'obtention de plants à partir de la culture des spores issues des tétrasporophytes de *G. latifolium*, cependant la durée nécessaire à l'obtention d'un plant de 1 cm est de 1 an. Les mêmes travaux ont été repris par *Abdellaoui* [13] sur *G. sesquipedale* et ont abouti à obtenir un plan de 1cm après 18 mois. Les cultures *in vitro* de tissus végétatifs de ces deux espèces [11,13] n'ont permis d'obtenir, après deux années d'essai, que quelques calcs. Tous ces essais, dont la majorité a montré la difficulté de cultiver cette espèce, nous ont poussés à revoir en détail la biologie de *Gelidium sesquipedale* en milieu naturel. Le travail a été orienté vers le suivi des variations qualitatives et quantitatives de la croissance de *G. sesquipedale*, l'étude de son cycle de reproduction et la compréhension de la biologie de l'espèce dans son milieu naturel afin de diminuer l'influence de la récolte et établir un plan de gestion des champs naturels.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

Le thalle de *G. sesquipedale*, rouge à rouge brun, a un aspect robuste et une consistance cartilagineuse (**Figure 1**). Il est constitué de frondes de taille variant entre 10 et 25 cm et pouvant atteindre 40cm dans les gisements les moins exploités, elles sont regroupées en touffes, s'élevant à partir de filaments rampants qui assurent la fixation de l'algue au substrat par une série de rhizoïdes. La fronde est constituée d'un ensemble d'axes principaux à croissance illimitée, porteurs de ramifications latérales à croissance limitée, ce qui donne au thalle une forme pyramidale. La largeur des axes varie de 0,2 à 0,5 mm [14-16].

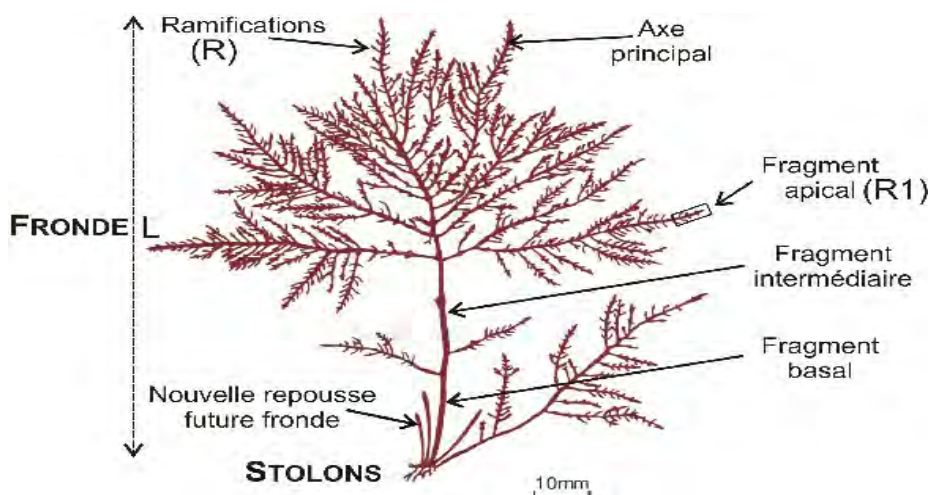


Figure 1 : Morphologie d'un thalle de *G. sesquipedale* récolté à Mehdia. *R* : Nombre total de ramifications ; *R1* Nombre de ramification sur le 1^{er} centimètre sous l'apex, *L* longueur totale de la fronde

2-2. Présentation du site de récolte

La plage de Mehdia est située à 35 Km de Rabat (**Figure 2**). A marée basse, elle a une largeur de 180 m pour une pente maximale de 2 %.

Elle est dominée par des dunes vives fixées par un reboisement à *Acacia*. Du Nord vers le sud, la largeur de l'estran diminue progressivement sur 12 km jusqu'à la plage des Nations [17]. La station de récolte est située sur les enrochements des digues de

l'embouchure de Sebou. La zone de récolte est en mode battu. *G. sesquipedale* est présent en association avec *G. latifolium* et *Pterocladia capillacea*. Elle ne pousse que sur les rochers à l'extrémité de la digue dans l'étage médiolittoral inférieur.

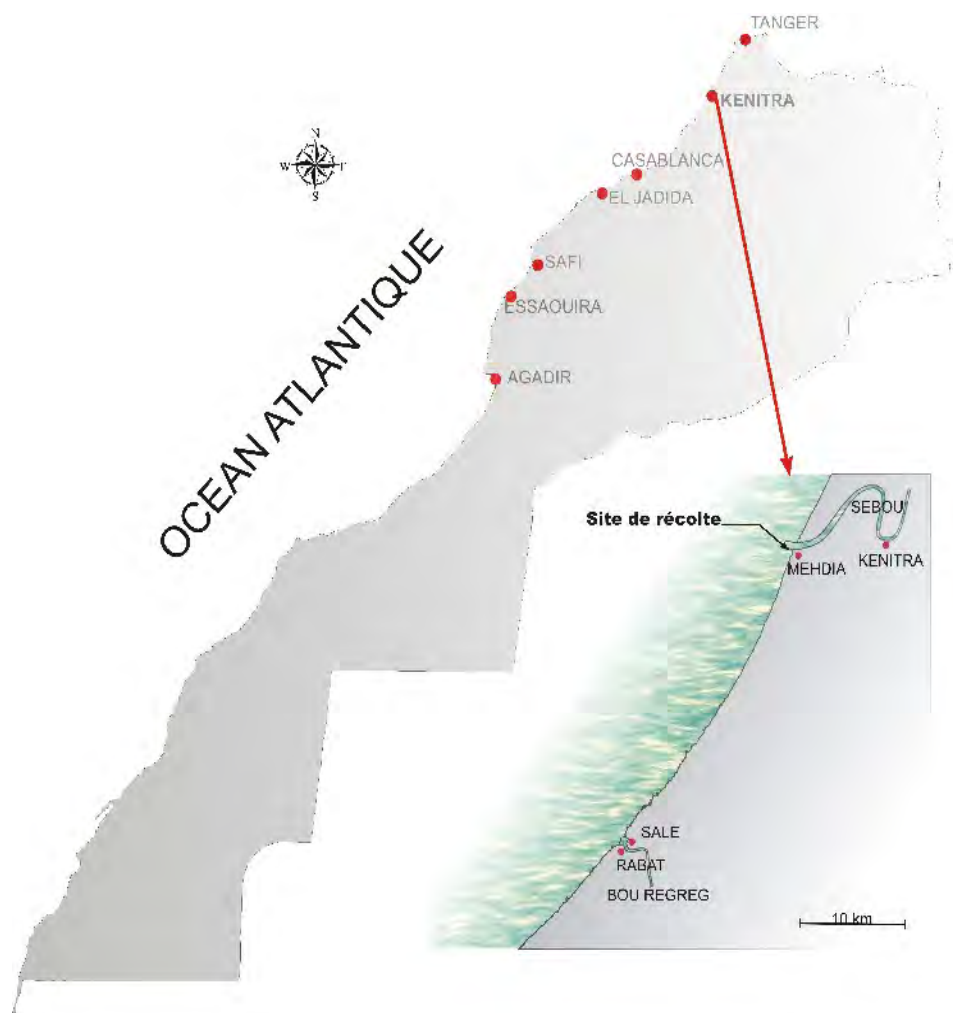


Figure 2 : *Situation géographique de la station de récolte.*

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

Les prélèvements d'eau de mer ont été effectués mensuellement durant les deux années d'étude (1995/96 et 1996/97), en même temps que la récolte de l'espèce.

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

Les nitrates (NO_3^{2-} en g.L^{-1}) sont réduits quantitativement en nitrites par voie chimique en utilisant le sulfate d'hydrazine [18]. Les nitrites ainsi formés sont dosés par la méthode classique au sulfanilamide/dichlorohydrate décrite par Strickland and Parsons [19].

Les phosphates (PO_4^{3-} en $\mu\text{atg.L}^{-1}$) sont dosés par la méthode de Stephens [20], qui est une extension de celle décrite par *Murphy and Riley* [21].

2-4. Analyse de la biologie de *Gelidium sesquipedale*

Les algues récoltées mensuellement pendant deux années (1995/96-1996/97) sont transportées au laboratoire dans des sacs en plastique. Elles sont nettoyées immédiatement, débarrassées des épiphytes, rincées avec l'eau de mer filtrée, essorées et essuyées avec du papier filtre pour éliminer l'eau de surface. Une fois pesées, les algues sont étalées en herbier ou photographiées.

2-5. Analyse de la croissance

2-5-1. Analyse qualitative

Le suivi des modifications morphologiques en fonction des saisons de *G. sesquipedale* est effectué sur des échantillons représentatifs des 100 thalles prélevés mensuellement. Ces derniers sont étalés et séchés en herbier pour rendre l'étude plus facile.

2-5-2. Analyse quantitative

L'analyse quantitative de la croissance de cette espèce est difficile. L'algue ne forme pas une couverture homogène du substrat. Il n'est pas possible d'évaluer la croissance à partir de l'évolution de la biomasse par unité de surface. La biométrie est réalisée sur 100 thalles collectés au hasard, en essayant de cueillir des thalles entiers avec au moins une partie des stolons.

Nous avons suivi des critères susceptibles de servir de marqueurs de la croissance de l'espèce et de sa biomasse. Les paramètres choisis sont :

- La longueur moyenne de la fronde en cm (L).
- Le poids moyen de la fronde en g (P).
- Le nombre de ramification à 1cm de l'apex (R1).
- Le nombre total de ramifications (R).

Les résultats obtenus sont traités par des méthodes statistiques permettant de suivre la dispersion de l'échantillon autour de la moyenne.

2-6. Analyse de la fertilité et cycle de reproduction de *G. sesquipedale*

Notre analyse a été faite par observation directe des thalles. L'étude a porté chaque mois sur 100 échantillons. Un thalle est considéré comme fertile lorsqu'il porte des ramules à tétrasporocystes, caraposporeocystes ou carpogones, les gamétophytes males n'ont jamais été observés. Une étude cytologique de tous les organes de reproduction a été réalisée.

3. Résultats

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

3-1-1. Température

La température de l'eau de mer varie entre 12°C - 15°C (**Figure 3**) durant la période hivernale, les mois de mars sont caractérisés par les valeurs les plus faibles avec 12,5 et 12°C respectivement en 1995 et 1996. Par la suite la température augmente pour atteindre 23°C - 24°C en été (Août).

3-1-2. Salinité

La salinité de l'eau de mer fluctue entre un minimum de 3,4 % enregistré au mois de décembre 1995 et 1996 (**Figure 3**). Les maxima sont notés pendant les périodes estivales au cours des deux années d'étude avec 3,6 % en 1995 et 3,7 % en 1996.

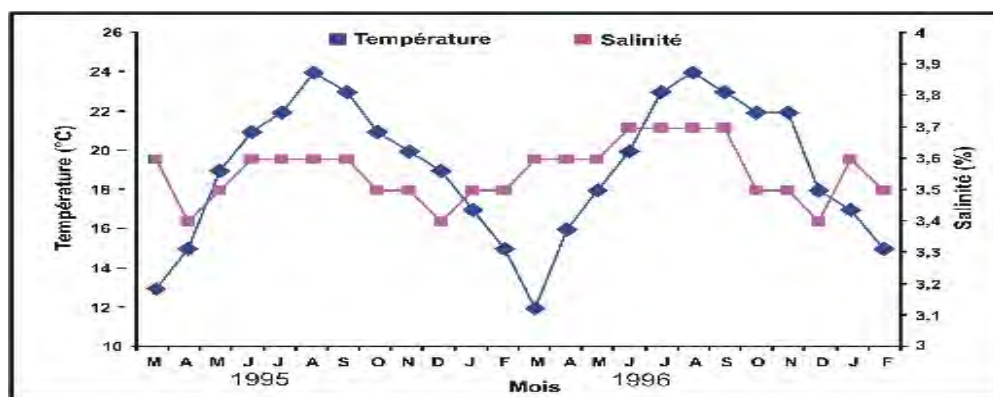


Figure 3 : Variation de la température et de la salinité à Mehdià entre Mars 1995 et février 1997.

3-1-3. Nitrates

Les concentrations en nitrates sont en général faibles (**Figure 4**), elles fluctuent entre $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ au début d'été (juin-juillet) au cours de l'année 1995 et $2,12 \text{ mg.L}^{-1}$ enregistrés en automne (octobre 1995). Des résultats similaires ont été enregistrés au cours de l'année 1996-1997.

3-1-4. Phosphates

Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées en automne-hiver avec un maximum de $1,55 \text{ } \mu\text{atg.L}^{-1}$ en janvier 1995. Les teneurs en phosphates diminuent ensuite pour atteindre les concentrations minimales notées en été ($0,19 \text{ } \mu\text{atg.L}^{-1}$ en juin 1995). Des résultats équivalents ont été obtenus au cours des années 1996-1997.

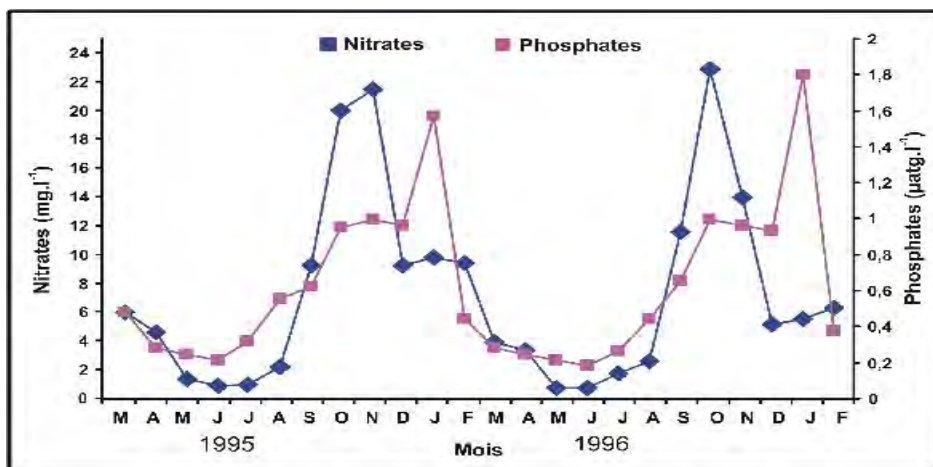


Figure 4 : Variation des teneurs en nitrates et en phosphates à Mehdià entre Mars 1995 et Février 1997.

3-2. Analyse de la croissance

3-2-1. Analyse qualitative de la croissance

Les échantillons de *Gelidium sesquipedale* récoltés dans infralittoral ne présentent pas de très grandes variations. Les ramifications et la taille des thalles ne varient que lentement au cours du temps. *G. sesquipedale*, sur la digue de Mehdià s'est caractérisé par un maximum de thalles fertiles en Septembre nous commencerons nos descriptions à partir de ce mois (**Figure 5**).

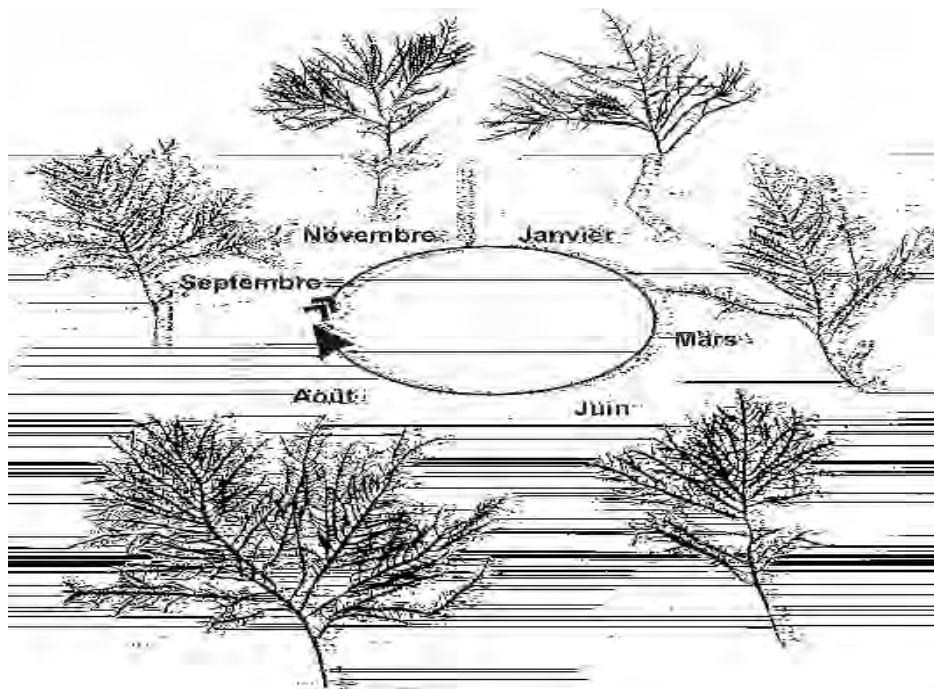


Figure 5 : *Variation saisonnière de la morphologie de G. sesquipedale récolté à Mehdià dans l'infralittoral (année 1995/96).*

- Septembre-Octobre, la taille et le nombre total de ramifications des thalles diminuent légèrement. Ceci est dû à la fragmentation des thalles suite à des lésions provoquées par la libération des cellules reproductrices. Les extrémités des axes sont peu colorées, en particulier au mois de septembre. En Octobre, de nouveaux thalles issues des fragments détachés des anciennes frondes et qui se sont refixés apparaissent. Le pouvoir de régénération atteint son maximum au cours de cette période.
- Novembre-Février, les frondes s'allongent, les extrémités des axes commencent à s'aplatir, et présentent des ébauches de ramifications à croissance illimitée. En février, les deux lobes sont bien développés. A cette période, des destructions intervenant au niveau des axes des thalles sont observées fréquemment. De place en place, sur ces thalles, des dépigmentations et des nécroses apparaissent. Il semble que ces thalles désorganisés se fragmentent facilement quand la mer est agitée.
- Mars-Avril, Les ramifications s'aplatissent et atteignent une largeur maximale. Les extrémités sont arrondies. Les thalles sont de couleur rouge foncée.

- Mai-Juin, Dès le début de cette période, la croissance apicale des axes est modifiée. Elle est maximale et donne des axes cylindriques de plus en plus grêles et clairs. Les extrémités deviennent pointues.
- Juillet-Août, La taille des thalles est maximale, la couleur est variable selon l'exposition. Les organes reproducteurs commencent à se développer. L'espèce est caractérisée par une forme grêle et ramifiée.

En résumé, les variations saisonnières de *G. sesquipedale* sont assez peu marquées. Cependant, l'aspect des apex des axes change en fonction des saisons ce qui indique un changement notable de la croissance apicale :

- En période hivernale, les extrémités apicales des axes sont, pour la majorité des thalles, larges et arrondies (**Figure 6A**). Les deux lobes sont bien développés. Les premières ramifications apparaissent à proximité de l'apex de l'axe qui leur a donné naissance. Les rameaux sont larges au niveau de leur point d'insertion sur l'axe qui les porte.
- En période estivale, les extrémités apicales des axes sont pour la plupart minces et effilées (**Figure 6B**). Dans ce cas, les deux lobes sont peu développés. Les premières ramifications apparaissent plus loin de l'apex de l'axe qui leur a donné naissance. Les ramifications présentent une légère constriction au niveau de leur point d'attache ; elles paraissent se développer dans un plan légèrement incliné par rapport au plan d'aplatissement de l'axe principal.

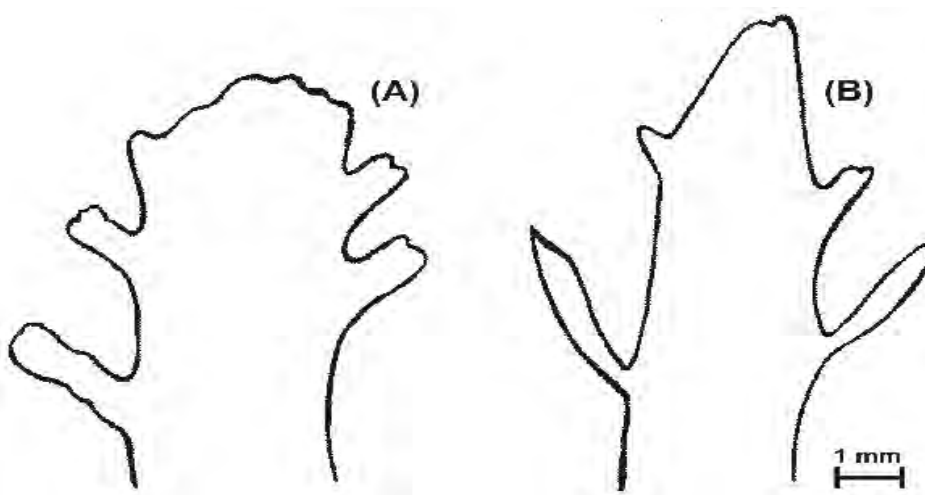


Figure 6 : Aspect de la morphologie des apex de *Gelidium sesquipedale* récolté à Mehdiya. (A) : Apex d'algues récoltées en hiver ; (B) : Apex d'algues récoltées en été.

3-2-2. Analyse quantitative de la croissance

3-2-2-1. Longueur

- Longueur moyenne des frondes

La longueur moyenne des thalles (**Figure 7**) diminue de mars à mai, avec un minimum de 7 cm notés au mois de mai. La croissance en longueur est active entre mai et septembre, avec un maximum de 9,4 cm et 11 cm en septembre respectivement en 1995 et 1996. Par la suite, la longueur des frondes, diminue en hiver pour atteindre un minimum au mois de janvier (8,2 cm). La longueur est relativement plus importante en 1996 qu'en 1995.

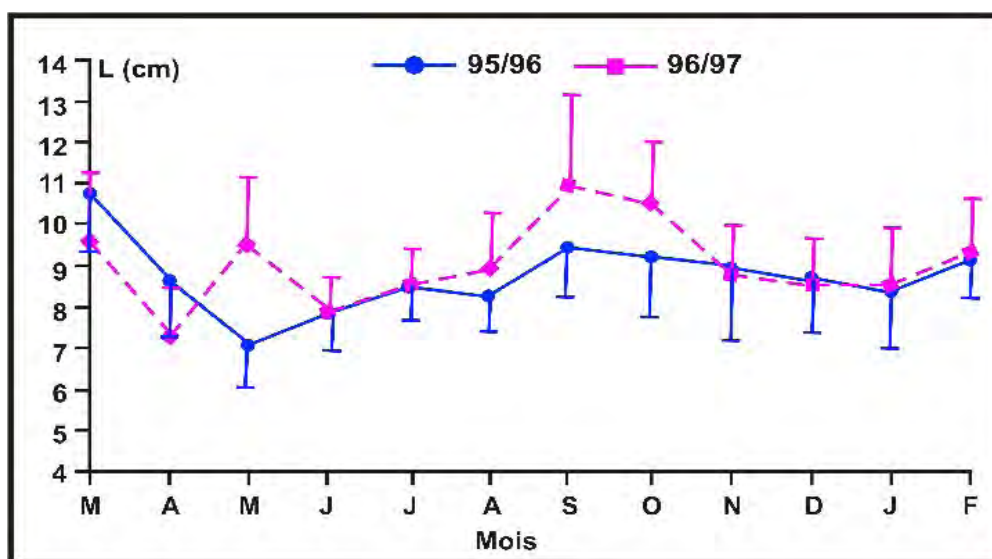


Figure 7 : Variation saisonnière de la longueur moyenne des thalles de *G. sesquipedale* récoltés à Mehdiya durant deux cycles annuels ($n = 100$, les barres verticales représentent $\pm\sigma$).

- Analyse des histogrammes relatifs à la longueur

Les intervalles de classes sont de 2 cm ce qui nous a permis de faire apparaître d'une manière plus simple la structure de la population. Les histogrammes (**Figure 8**) indiquent la répartition des thalles en fonction de la longueur tout au long de l'année 1996/97.

En mars, L'histogramme montre 6 classes A, B, C, D, E et F. La classe A (4-6 cm) est constituée par un groupe de jeunes algues peu ramifiées. Les classes B et C dont les longueurs modales sont de 8cm et 10cm respectivement sont caractérisées par de jeunes thalles rouge foncé dont la ramification est moyennement abondante. Les classes D et E dont les valeurs modales sont de 12 cm et 14 cm respectivement correspondent à des thalles adultes ramifiés et dont la plupart porte des sores bien développés. La classe F (regroupant les thalles de plus de 14cm) a une fréquence faible dans nos échantillons et est constituée par des algues âgées souvent épiphytées.

Au cours des mois d'avril et mai, les valeurs des 6 classes ont montré une légère variation caractérisée d'une part, par la disparition des classes A et F et d'autre part, par la diminution de la fréquence des classes D et E et un léger déplacement de la fréquence maximale soit vers C (avril) ou vers B (mai). A ce moment, les destructions apicales l'emportent sur la production de nouveaux tissus.

De juin à août, la tendance s'inverse. Il y a apparition des classes modales de taille élevée dont la fréquence augmente de Juin à Juillet. La classe modale prédominante est toujours soit B soit C. Cette distribution correspond donc à une augmentation de la longueur moyenne des thalles. En août l'échantillon est homogène avec les 4 classes modales B, C, D et E. et une réduction marquée de la fréquence de la classe E.

De septembre à novembre, la population devient hétérogène avec apparition de toutes les classes modales avec des fréquences variables. L'apparition de la classe A est le résultat de l'apparition de nouvelles repousses issues de la refixation des fragments libérés à la fin de la période de reproduction de l'espèce. Cette période est aussi caractérisée par une reprise de l'élongation des thalles.

En décembre, la population est plus homogène avec trois classes modales B, C et D.

En Janvier-Février, la population devient hétérogène et présente un déplacement de la fréquence maximale vers la classe B (janvier) ou C (février) avec une légère augmentation de l'effectif en faveur des classes de longueurs élevées.

3-2-2-2. Poids des frondes

- Poids moyen de thalles

Le poids moyen des thalles est défini comme étant le poids frais moyens des la fronde individuelles. La courbe d'évolution du poids moyen (**Figure 9**) en fonction des saisons montre une augmentation du poids à partir de mai pour atteindre des valeurs maximales en août-septembre (0,55 g et 0,7 g en août 1995 et en septembre 1996 respectivement) puis diminue brutalement jusqu'à la valeur minimale de 0,1 g notée au mois de janvier 1996.

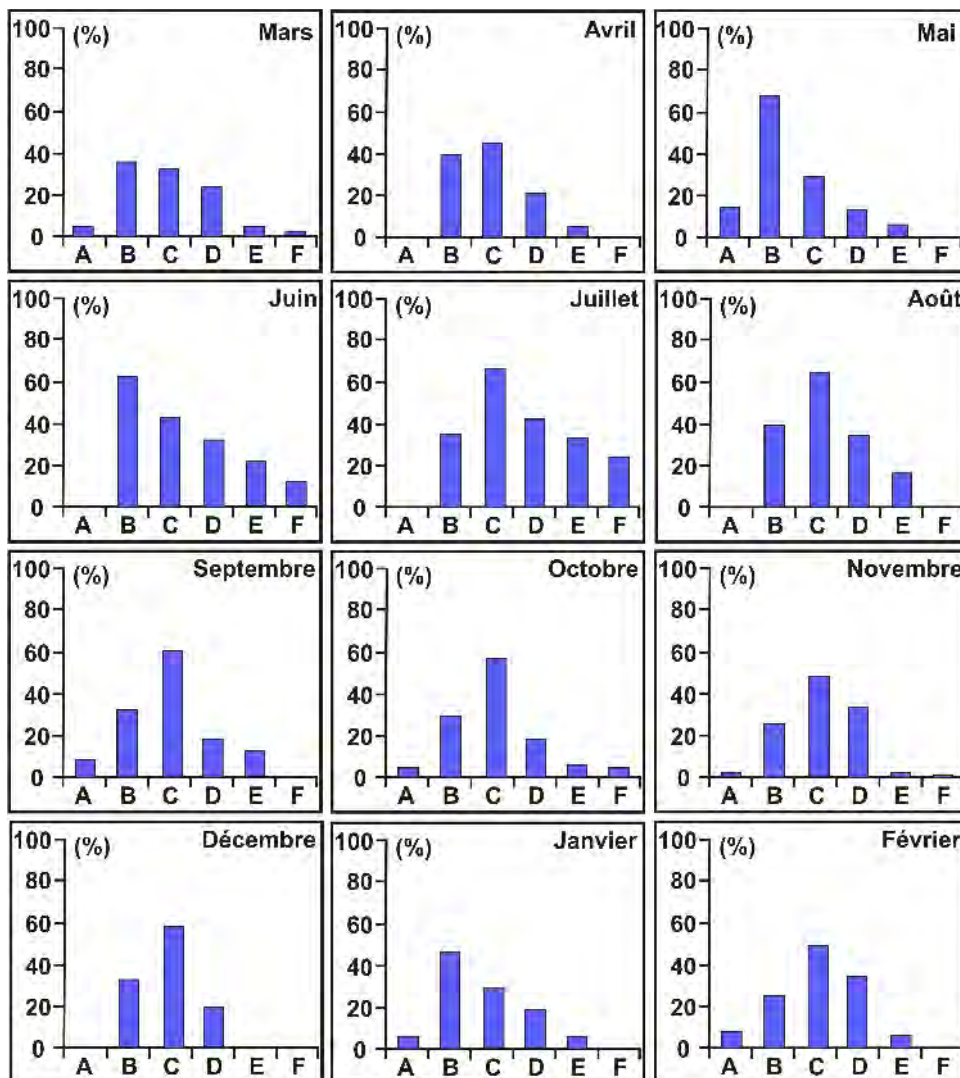


Figure 8 : Histogramme de longueur de *G. sesquipedale* récolté à Mehdia en 1996/1997. A (4-6cm), B (6-8cm), C (8-10cm), D (10-12cm), E (12-14cm), F (≥ 14 cm). (n=100).

- Analyse des histogrammes de fréquence de poids

Les intervalles de classes sont de 0,2 g ce qui nous a permis de réduire le nombre de classes à 10 (**Figure 10**).

L'analyse des histogrammes de répartition de la population en fonction du poids des thalles montre, en mars, la présence de 4 classes A, B, C et D dont les valeurs modales sont respectivement de 0,2 ; 0,4 ; 0,6 et 0,8 g.

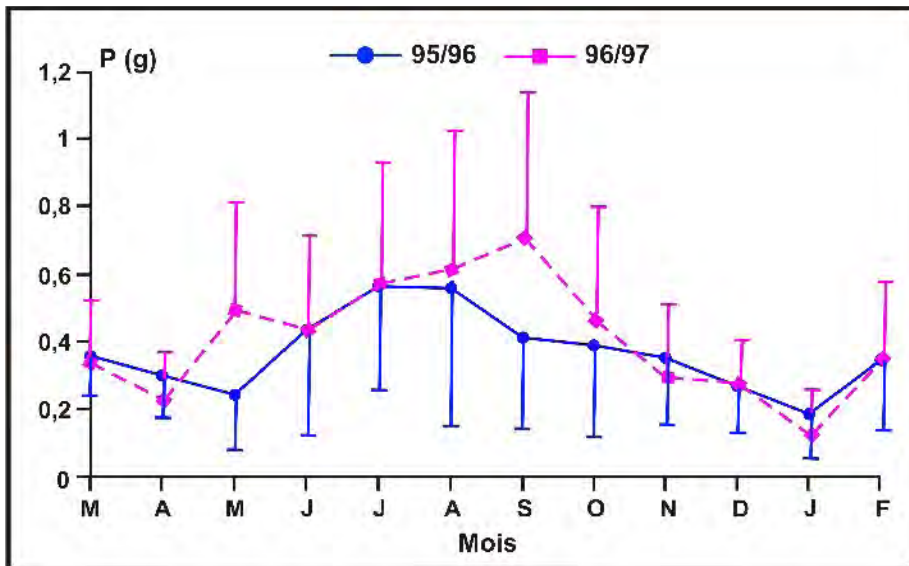


Figure 9 : Variation saisonnière du poids moyen des thalles de *G. sesquipedale* récoltés à Mehdià durant deux cycles annuels ($n = 100$, les barres verticales représentent $\pm\sigma$).

D'avril à mai, il y a une légère diminution de la fréquence de la classe A en faveur de nouvelles classes qui apparaissent progressivement E (0,8-1g) ; F (1-1,2g) et G (1,2-1,4g), avec la plus grande fréquence pour les classes A et B.

De juin à août, la récolte est très diversifiée avec la présence de presque toutes les classes de poids de A à J. Le mode est représenté par les classes A et B et les classes d'ordre supérieur augmentent.

De septembre à novembre, l'hétérogénéité de la population est maintenue avec une augmentation de la fréquence de la classe A qui se rapproche de celle de B et une disparition de plus en plus marquée des classes de rangs élevés. Dès décembre, la population retrouve l'homogénéité des mois de mars avec l'existence de 4 classes modales (A, B, C et D) à l'exception de février où les algues augmenteraient en poids.

La récolte est homogène de décembre à mars, à l'exception de février, et montre un début d'apparition de classes de rang élevé en avril-mai. Par la suite l'échantillon indique une grande diversité de la population entre juin et novembre.

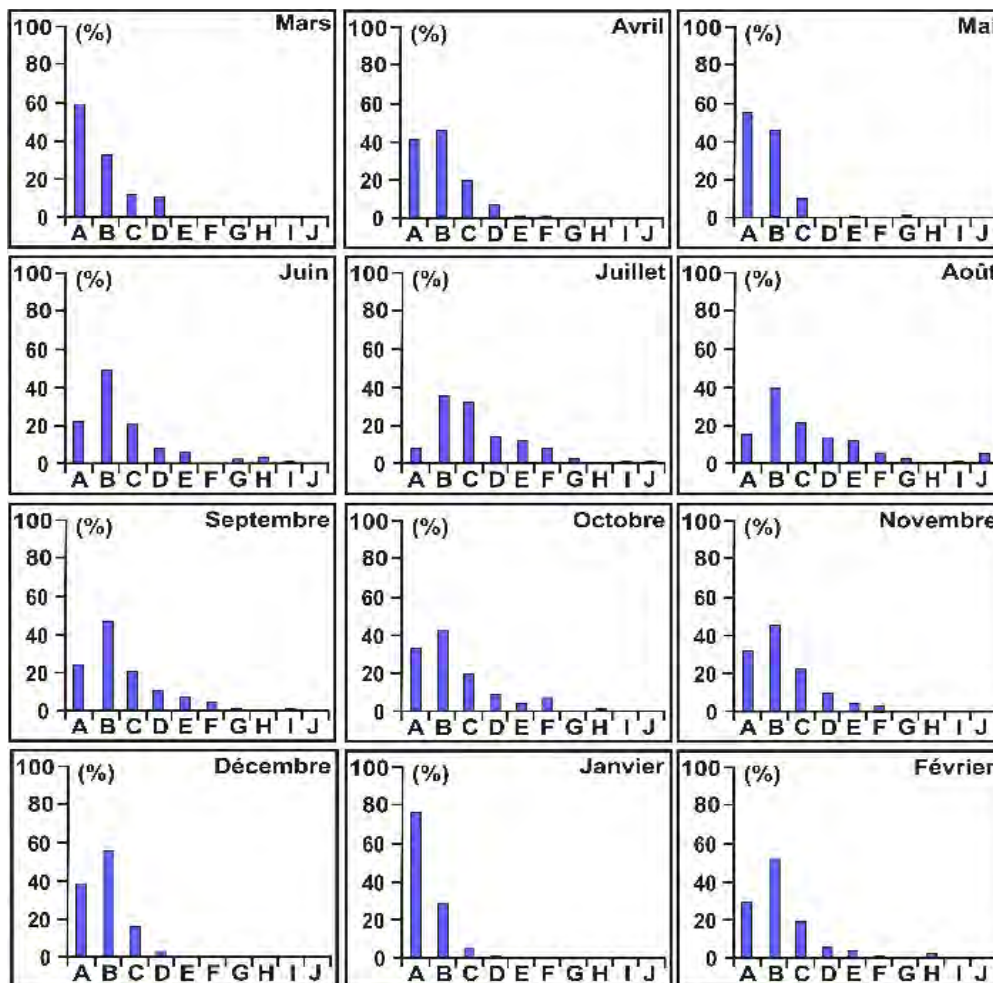


Figure 10 : Histogrammes du poids des frondes de *G. sesquipedale* récolté à Mehdià durant l'année 1996/1997. A (0-0,2g), B (0,2-0,4g), C (0,4-0,6g), D (0,6-0,8g), E (0,8-1g), F (1-1,2g), G (1,2-1,4g), H (1,4-1,6g), I (1,6-1,8g) et J ($\geq 1,8g$) (n=100).

3-2-2-3. Nombre total de ramifications

- Analyse de la moyenne du nombre total de ramifications

Le nombre total de ramification des thalles de *G. sesquipedale* augmente significativement d'avril-mai à septembre, avec un maximum de 36 ramifications par thalle au mois de septembre 1996 (**Figure 11**). Une diminution du nombre total de

ramifications est enregistrée de septembre à novembre-janvier ; un minimum de 18,5 est noté au mois de décembre-janvier respectivement en 1996 et 1995. La formation de nouveaux axes secondaires reprend à partir de ces dates.

La diminution notée après le mois de septembre est le résultat de la chute des extrémités qui portent les cellules reproductrices.

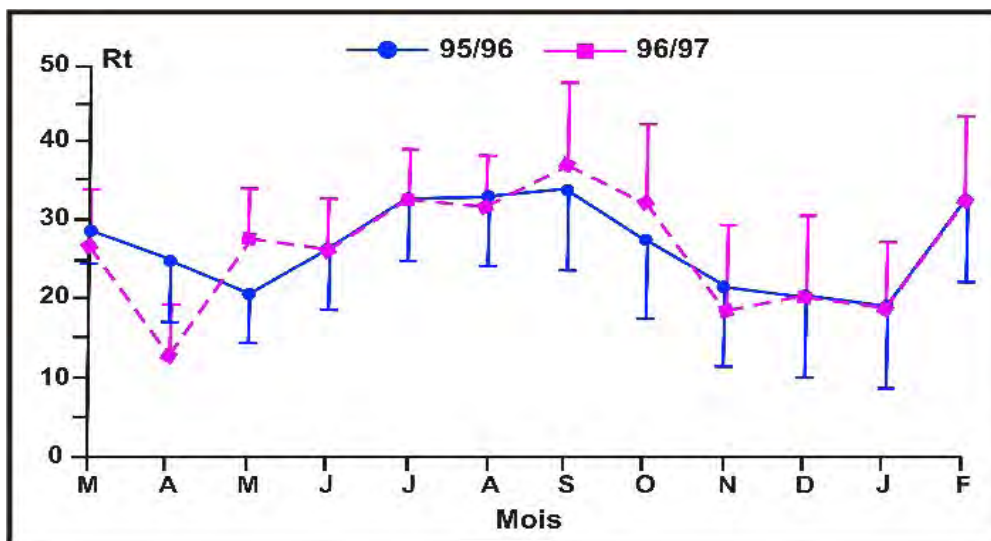


Figure 11 : Variation saisonnière du nombre total moyen de ramifications de *G. sesquipedale* récoltés à Mehdià, durant deux cycles annuels ($n = 100$, les barres verticales représentent $\pm\sigma$).

- Analyse des histogrammes de fréquence du nombre total de ramifications

Les intervalles de classes sont de 10, (**Figure 12**).

De mars à juin, il y a une diminution progressive du nombre de ramifications primaires illustrée par la disparition des classes de fortes ramifications (E et F) et l'apparition de la classe A correspondant à des thalles peu ramifiés. La classe modale de ces mois est B ou C. La diminution du nombre de classes devient nette au mois de juin, représenté par trois classes seulement (B, C et D).

A partir de juillet, la récolte se diversifie fortement et devient hétérogène. La fréquence des classes de faibles ramifications diminue au profit des classes d'ordre supérieur.

En décembre, l'échantillon se réduit aux thalles peu ramifiés (A, B, C et D) avec apparition de la classe A et le déplacement de la fréquence maximale des classes C et D à la classe B qui est devenue la classe modale pour ce mois.

L'échantillon se diversifie de janvier à février, avec toujours B comme classe modale en janvier. Cependant en février, la fréquence est déplacée en faveur des classes C et D qui représente 90 % de la population et il y a apparition d'une nouvelle classe G.

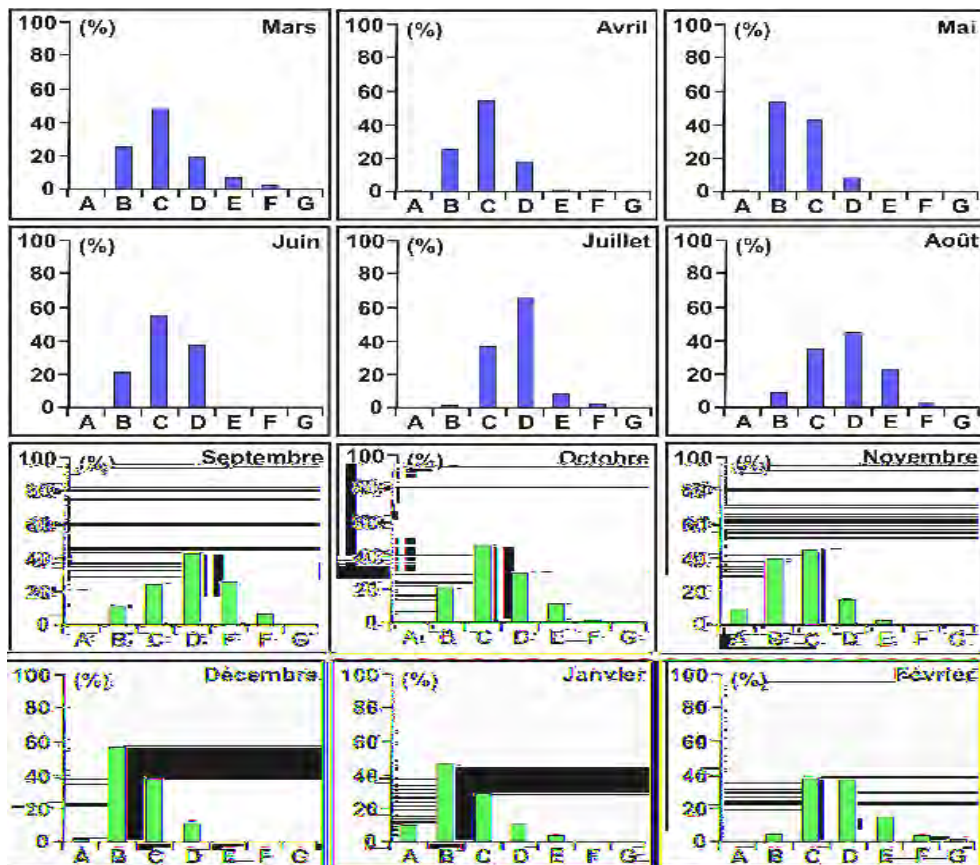


Figure 12 : Histogramme du nombre total de ramifications de *G. sesquipedale* récolté à Mehdià, durant l'année 1996/1997. A (0-10), B (10-20), C (20-30), D (30-40), E (40-50), F (50-60) et G (≥ 60); ($n = 100$).

3-2-2-4. Nombre de ramification à 1 cm de l'apex

- Analyse de la moyenne du nombre de ramifications à 1cm de l'apex

La ramification à 1cm d'apex montre deux périodes de fortes multiplications des axes (**Figure 13**). La première est enregistrée entre mars et juillet, alors que la deuxième se situe entre août et septembre.

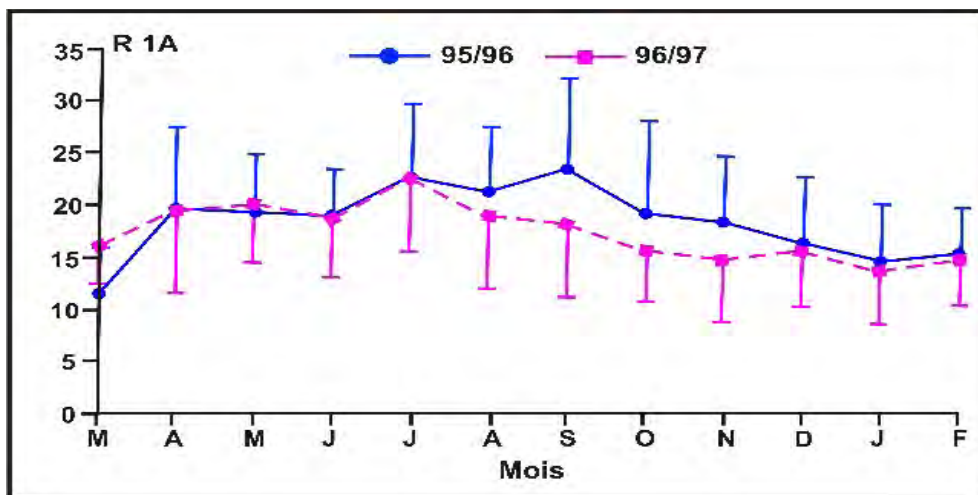


Figure 13 : Variation saisonnière de la ramification à 1cm de l'apex de *G. sesquipedale* récolté à Mehdià durant deux cycles annuels ($n = 100$, les barres verticales représentent $\pm\sigma$).

- Analyse des histogrammes du nombre de ramifications à 1cm de l'apex

La distribution des histogrammes de la ramification à 1 cm de l'apex, indique une allure proche de celle des ramifications totales, mais avec une moindre amplitude (**Figure 14**). L'analyse de cette distribution montre une hétérogénéité de la récolte de juillet à novembre, avec l'apparition de thalles très ramifiés en septembre. L'usure apicale, suite à la chute des ramules fertiles, affecte fortement la ramification et réduit la structure de l'échantillon à quatre classes entre novembre et janvier.

* Analyse de la variance à une seule variable (ANOVA)

Après l'examen des différents paramètres de la croissance pris séparément, et détermination de l'amplitude de corrélation qui les relie, une analyse de variance à une seule variable a été entreprise en vue de dégager l'ampleur de la croissance par comparaison des moyennes deux à deux et localisation de la zone où la différence entre les paramètres est la plus significative.

L'étude préliminaire de l'évolution des différents paramètres de croissance de *G. sesquipedale* autour de la moyenne a permis de distinguer des moments d'augmentation ou de diminution de l'un ou de l'autre de ces paramètres (**Tableau 1**). Pour dire que nous sommes en période de croissance ou de repos il faut savoir si la différence notée est significative ou non et c'est l'objectif de cette analyse.

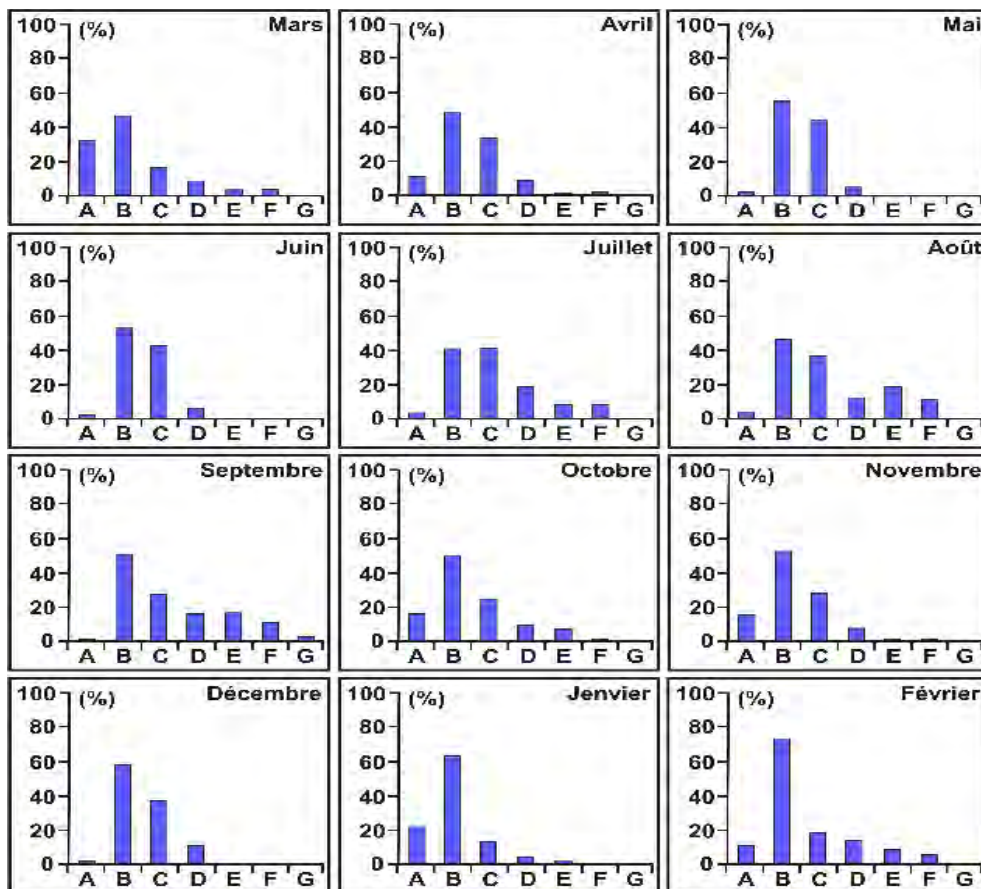


Figure 14 : Histogrammes de fréquence du nombre de ramification à 1 cm de l'apex de *G. sesquipedale* récolté à Mehdia durant l'année 1996/1997. A (0-10); B (10-20); C (20-30); D (30-40); E (40-50) F (50-60); G (≥ 60) (n = 100).

L'analyse de variance entrepris pour la longueur de *G. sesquipedale* a permis de mettre en évidence une période de croissance en longueur hautement significative entre mai et juillet, et une deuxième entre septembre et octobre mais qui présente une phase intermédiaire où l'espèce semble limiter son élongation entre novembre et janvier. La différence entre les mois est non significative.

La différence de variance suivi pour le poids a mis en évidence une phase de croissance pondérale entre mai et août. Durant cette période la différence notée entre les mois est hautement significative $p < 0,005$.

Quant à la ramification à 1 cm de l'apex (RIA), la phase de prolifération et d'édification de nouvelles ramifications s'étend entre mars et août avec une diminution non significative entre avril et mai. Une deuxième période est enregistrée entre septembre

et octobre renforcée par la prédominance des thalles fertiles dont la ramification est abondante.

Le suivi de l'évolution de la ramification totale (Rt) par l'ANOVA montre un résultat semblable à celui de la ramification à 1cm de l'apex (RIA). Cependant, la période de forte croissance en Rt présente un léger décalage par rapport à RIA. Cette période est focalisée ente mai et septembre, une deuxième est enregistrée ente janvier et février.

Tableau 1 : Analyse de la variance à un seul variable des différents paramètres biométriques de *G. sesquipedale*, valeurs de *p* pour les deux années d'étude. Les nombres en gras montrent une évolution du paramètre.

	1995/1996				1996/1997			
	L(cm)	P(g)	RIA	Rt	L(cm)	P(g)	RIA	Rt
M-A	0,00000	0,0002	0,0052	0,0000	0,00000	0,0778	0,0000	0,00092
	***	7 ***	*	0 ***	***	6 NS	2 ***	***
A-M	0,00000	0,00000	0,6100	0,00000	0,00000	0,05074	0,2238	0,00001
	***	***	NS	***	**	NS	NS	***
M-J	0,00000	0,28000	0,1860	0,23600	0,00000	0,00000	0,00009	0,00000
	***	NS	NS	NS	***	***	***	***
J-J	0,00017	0,00400	0,00065	0,00000	0,06001	0,00428	0,00000	0,00000
	***	**	***	***	NS	**	***	***
J-A	0,05940	0,42000	0,0026	0,4280	0,05362	0,00000	0,7480	0,6269
	NS	NS	**	NS	NS	***	NS	NS
A-S	0,00000	0,14000	0,5950	0,00027	0,00006	0,00568	0,00000	0,4535
	***	NS	NS	***	***	*	***	NS
S-O	0,25740	0,00007	0,0140	0,00084	0,00000	0,59772	0,00011	0,00000
	NS	**	*	**	***	NS	***	***
O-N	0,00000	0,00018	0,3700	0,00000	0,02901	0,31199	0,00017	0,00000
	***	**	NS	***	*	NS	***	***
N-D	0,31157	0,54000	0,4400	0,1323	0,43062	0,00294	0,14300	0,28040
	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
D-J	0,91360	0,00000	0,0800	0,03117	0,47291	0,00005	0,11079	0,3119
	NS	**x	NS	*	NS	***	NS	NS
J-F	0,00094	0,00000	0,2660	0,00000	0,00193	0,00000	0,00000	0,00000
	***	***	NS	***	**	***	***	***

* Variation significative ($p < 0,05$); ** Variation très significative ($p < 0,005$)

*** Variation hautement significative ($p < 0,001$); NS : Variation non significative

3-3. Analyse de la fertilité

Le suivi du pourcentage des thalles fertiles montre qu'ils sont présents toute l'année (**Figure 15**). Cependant ce n'est qu'à partir de juillet que la proportion de thalles fertiles augmente significativement pour atteindre un maximum par rapport aux thalles végétatifs en septembre puis diminue par la suite. La lecture de cette partie ne montre pas l'influence des variations saisonnières.

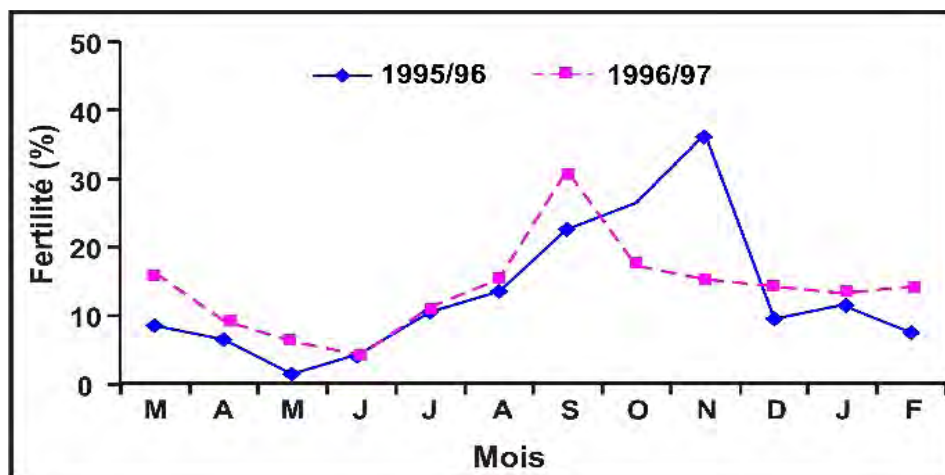


Figure 15 : *Suivi de la variation du pourcentage de thalles fertiles de G. sesquipedale récolté à Mehdià durant deux cycles annuels.*

En dehors des structures reproductrices, nous n'avons pas remarqué de différences morphologiques entre les thalles végétatifs et reproducteurs de *G. sesquipedale*.

Au cours de ce travail nous avons noté sur quelques thalles sexués, qui sont dans la plupart des cas de grande taille, que les ramules portant les structures reproductrices se développent par régénération sur des axes désorganisés auparavant. Ceci rejoint l'étude de P. S. Dixon (1970) qui montre que chez la majorité des rhodophycées, les structures reproductrices se développent aux sommets des axes qui tendent à se désagréger après maturation et libération des spores.

En plus il est important de signaler qu'au long de notre étude nous avons remarqué que la proportion des tétrasporophytes est largement supérieure à celle des gamétophytes.

4. Discussion

Dans ce travail nous avons montré que le rythme d'élongation de *G. sesquipedale* était faible (9cm/an). Des valeurs du même ordre ont été trouvées pour d'autres espèces de *Gelidium* [5,22,23]. La croissance lente de ces espèces a été liée à des facteurs intrinsèques, plutôt qu'un trait qui peut être modifié par les facteurs externes [11,22].

Le suivi des variations saisonnières de la morphologie a montré que la morphologie de *G. sesquipedale*, récolté dans le médio littoral, ne changeait pas de manière importante

au cours de l'année, les thalles sont toujours de forme pyramidale, avec une dominance apicale, comme cela a été montré [24].

Le suivi de l'évolution des paramètres de croissance de *G. sesquipedale* a permis de montrer l'hétérogénéité des populations de cette algue même dans les zones non exploitées et de distinguer des périodes de croissance et de régénération dans le développement des thalles.

Ainsi, d'avril à septembre la croissance est active ; le gain en poids est d'abord lié à l'augmentation du nombre total de ramification puis également à l'élongation des thalles. A partir de septembre l'algue subit une dégradation de ses frondes suite, soit à la libération des cellules reproductrices, soit à la fragmentation naturelle des frondes par la houle. En effet pendant cette période, le nombre de thalles récolté en échouage est important. Le même résultat a été signalé [25] dans les populations de *G. sesquipedale* au sud de la France.

La période de septembre à janvier correspond à une phase de vieillissement des frondes qui se termine en janvier avec une détérioration des extrémités des thalles. Janvier-avril, correspond à la période de forte régénération de *G. sesquipedale*. Les fragments, qui se détachent du thalle, se fixent sur le substrat et donnent de nouvelles repousses qui formeront de nouvelles frondes. Ce phénomène de forte capacité de régénération de l'algue a été utilisé par plusieurs auteurs [8,10,12,26] pour essayer de cultiver ou de réensemencer les champs de *G. sesquipedale*.

Par ailleurs, l'analyse des histogrammes de tous les paramètres de croissance montre, tout le temps, une hétérogénéité de la population, ce qui confirme la forte capacité de régénération de l'espèce.

La variation du comportement sexué de l'algue reflète des variations saisonnières des conditions externes. Le suivi de la fertilité permet de distinguer deux phases dans son cycle de développement. La période estivale et automnale correspond à la phase d'activité reproductrice de l'algue. Il semble que durant cette période, se déroule la tétrasporogénèse, la fructification du gamétophyte mâle, le développement de l'organe reproducteur femelle et la formation du zygote. La période hivernale et printanière peut donc correspondre à la phase de libération des spores et du développement des jeunes pousses que nous avons rencontré en excès durant cette période de l'année. Des résultats similaires ont été obtenus [6,24] sur des populations de *G. sesquipedale* en France [27] sur *G. latifolium* récolté en France. Cependant, en absence de gamétophyte mâle on ne peut pas dire avec certitude leur origine (Régénération ou reproduction sexuée).

Il est essentiel de remarquer que chez *G. sesquipedale*, il n'y a pas une succession saisonnière de la phase haploïde (Gamétophytes) et de la phase diploïde (tétrasporophyte), puisque l'espèce est pérennante. Cette situation n'est pas rare chez de

nombreuses Rhodophycées, les deux phases se déroulent simultanément [28].

Au cours de ce travail nous avons noté sur quelques thalles sexués, qui sont dans la plupart des cas de grande taille, que les ramules portant les structures reproductrices se développent par régénération sur des axes désorganisés auparavant. Ces résultats permettent de supposer que la croissance de *G. sesquipedale* est le résultat de l'effet simultané de l'élongation et de la production de nouvelles ramifications.

En plus, il est important de signaler, qu'au long de notre étude, nous avons remarqué que la proportion des tétrasporophytes était largement supérieure à celle des gamétophytes. Cette observation coïncide avec celle faite par *I. Kabbaj et O. Benharbit* [1,6] interprétée comme la conséquence du grand nombre de carpospores produites par les cystocarpes chez *G. sesquipedale* en se référant au travail de *H. Ngan and I. R. Price* [29] qui montre qu'un cystocarpe de *Gelidium heteroplatus* peut libérer jusqu'à 1200 carpospores sur une période de quelques jours.

Cependant au cours de notre étude nous n'avons pas trouvé chez *G. sesquipedale* une relation entre la proportion de gamétophytes mâle (absent) et femelle (faible proportion dans la station) et le grand nombre de tétrasporophytes produits. La même observation a été notée par *A. Mouradi* [11] sur les populations de *G. latifolium* récolté en France et cet auteur a interprété cette constatation en disant que l'espèce produit plus de tétrasporophytes que de gamétophytes lorsqu'elle est à sa limite de distribution géographique. Les travaux de *D. Abdellaoui* [13] sur la culture des cellules reproductrices de *G. sesquipedale* ont montré que la capacité de survie des carpospore est largement supérieure à celles des tetraspores. Il reste à comprendre, comment en l'absence apparente de thalles males le cycle de reproduction peut être bouclé.

Par ailleurs, les travaux de *C. S. Thornber and Gaines* [30] sur la dynamique des populations des espèces à cycles biphasiques, ont montré que les proportions entre les thalles haploïdes et diploïdes sont souvent différentes chez de nombreuses espèces algales et ont lié ce phénomène à la différence dans les taux de mortalité et de fécondité des cellules reproductrices.

5. Conclusion

Le suivi de l'évolution des paramètres de croissance de *G. sesquipedale* a permis de distinguer deux périodes de croissance active, une hétérogénéité de la population, une forte capacité de régénération de l'espèce et un rythme d'élongation faible, qui est de 9cm par an environ. Le cycle annuel peut être résumé de la manière suivante :

De mars à mai, les frondes âgées se détériorent et de nouvelles repousses apparaissent. Ces dernières croissent en longueur mais le taux de ramification reste faible.

De mai à juillet, la croissance est importante, elle est liée à l'augmentation de la longueur des axes et à la multiplication du nombre de ramifications.

De juillet à septembre : La croissance est quasiment nulle. C'est une période caractérisée par un maximum de fertilité de *G. sesquipedale*.

De septembre à octobre, une deuxième phase de croissance de l'espèce, elle est due principalement à l'allongement des axes, qui se produit sur les axes principaux mais aussi sur l'ensemble des ébauches de ramifications mises en place. La biomasse augmente très rapidement pendant cette période.

En octobre, il y a une diminution rapide des ramifications. Cette période correspond à une phase de vieillissement des frondes qui se termine en mars avec une détérioration des extrémités du thalle. C'est une période de forte régénération de *G. sesquipedale*. Les fragments, qui se détachent du thalle, se fixent sur le substrat et donnent de nouvelles repousses qui formeront de nouvelles frondes.

L'analyse des histogrammes de fréquence de tous les paramètres de croissance montre, tout au long de l'année, une hétérogénéité de la population, ce qui confirmerait la forte capacité de régénération de l'espèce. L'algue se multiplie principalement en milieu naturel par bouturage.

La variation du comportement sexué de l'algue reflète des variations saisonnières des conditions externes. Le suivi de la fertilité permet de distinguer deux phases dans son cycle de développement.

La période estivale et automnale correspond à la phase d'activité reproductrice de l'algue. Il semble que durant cette période, se déroule la tétrasporogénèse, la fructification du gamétophyte mâle, le développement de l'organe reproducteur femelle et la formation du zygote.

La période hivernale et printanière correspond à la phase de libération des spores et du développement des jeunes pousses que nous avons rencontré en excès durant cette période de l'année. Cependant, à cause de l'absence de gamétophyte mâle il n'a pas été possible de confirmer leur origine (Régénération ou reproduction sexuée).

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la coopération franco-marocaine (AI : 94/768) 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'Éducation, de l'Enseignement Supérieur, de la Formation des Cadres et de la Recherche Scientifique pour leur soutien financier.

Références

- [1] - I. Kabbaj. "Biologie de *Gelidium sesquipedale* des côtes marocaines : Etudes des peuplements, écophysiologie, cytologie et morphogénèse". Thèse de Doctorat d'Université, Univ. de Caen, France. (1994) 126p.
- [2] - S. Bennhissoun, 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.
- [3] - 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.
- [4] - A. Réani. "Contribution à l'étude de l'algue rouge *Gelidium sesquipedale* (Turn.) Thuret : croissance et régénération naturelle, quantité et qualité d'agar". Mémoire de 3^{ème} cycle Agronomique, Rabat, Maroc. (1986) 89p.
- [5] - 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.
- [6] - O. Benharbit. "Biologie, morphogénèse et ultrastructure de l'agarophyte *Gelidium sesquipedale* (Turn.) Thuret". Thèse de troisième cycle, Rabat, Maroc. (1989) 147p.
- [7] - 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.
- [8] - J. M. Salinas. "Spray system for re-attachement of *Gelidium sesquipedale* (Clem.) Born. and Thur. (Gelidiales: Rhodophyta)". *Hydrobiologia*. 221 (1991) 107-117.
- [9] - J. A. Seoane-Camba. "On the possibility of culturing *Gelidium sesquipedale* by vegetative propagation". Proc. Of the second workshop of COST 48 Subgroup 1 (1989) 59-68.
- [10] - A. Borja. "Impacto de la cosecha y recuperacion de la biomassa del alga *Gelidium sesquipedale* sometida a dos formas de explotacion en el Pais Vasco (Espana)". *Aquat. Living Resour.* 7 (1994) 59-66.
- [11] - A. Mouradi. "Recherches biologiques et biochimiques pour la production d'agarose chez *Gelidium latifolium*". Thèse doctorat ès Sciences Naturelles, Univ. de Caen, France. (1992) 351
- [12] - 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.

- [13] - D. Abdellaoui. "Etude biologique de l'agarophyte *Gelidium sesquipedale* (Turner) Thuret, essais d'induction de la fertilité et de la culture *in vitro*". (2006) 109p.
- [14] - P. Gayral. "Les algues de la côte Atlantique marocaine". *Soc. Sc. Nat. et Phys. du Maroc. Rabat.* (1958) 527p.
- [15] - L. M. Irvine and Y. M. Chamberlain. "Seaweeds of the British Isles. Rhodophyta". Natural History Museum, London. (1994) 276 p.
- [16] - J. Cabioch, 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) 231 p.
- [17] - A. Bayed. "Ecologie descriptive et dynamique des plages de la région de Rabat, Maroc". Thèse de 3ème cycle, Rabat, Maroc. (1982) 1001p.
- [18] - 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.
- [19] - D. H. Strickland and T. R. Parson. "A practical handbook of seawater analysis". *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 167 (1972) 71-89.
- [20] - E. Stephens. "A practical handbook of seawater analysis". *Limnol. Ocean.* 8 (1963) 361 p.
- [21] - 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.
- [22] - D. C. Barilotti. "Genetic consideration and experimental design of outplanting studies". In I.A. Abbot, M.S. Foster and L. Eklund (eds) *Pacific Seaweed aquaculture.* La Jolla. Univ. Of California. (1980) 10-18.
- [23] - J. G. Stewart. "Vegetative growth rates of *Pterocladia capillacea* (Gelidiales, Rhodophyta)". *Bot. Mar.* 27 (1984) 85-94.
- [24] - J. A. Seoane-Camba. "Crecimiento, production y desprendimiento de biomassa en *Gelidium sesquipedale* (Clem.) Thuret". *Proc. 6th. Int. seaweed Symp.* (1969) 365-374.
- [25] - R. Kaas and O. Barabaroux. "Exploitation de la ressource en algue rouge *Gelidium sesquipedale* de la Bidassoa à l'Adour : Etude de l'impact d'une récolte industrielle par plongeur sur la ressource et sur les autres formes actuelles de ramassage". 10^{ème} rencontres interrégionales de l'AGLIA, Saint Jean de Luz, 20/21 novembre 1997 (1998) 71-75.
- [26] - J. Silva and R. Santos. "Comparative ecology 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.
- [27] - 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.

- [28] - F. E. Fritsch. "Structure and reproduction of the algae". University press. Cambridge. 2 (1959) 939 p.
- [29] - H. Ngan and I. R. Price. "Periodicity of spore discharge in tropical floridophyceae (Rhodophyta)". *Br. Phycol. J.* 18 (1983) 83-95.
- [30] - C. S. Thornber and Gaines "Population demographics in species with biphasic life cycles *Ecology*". 85 (6) (2004) 1661-19974.