



La rhodophycée *Gelidium spinosum* (S.G. Gmelin) P.C. Silva, des côtes de Monastir (Tunisie) : quelques éléments hydrobiologiques et potentialités en agar-agar

**Rafik BEN SAID^{1*}, Mohamed Salah ROMDHANE², Amor EL ABED¹ et
Ridha M'RABET¹**

¹*Laboratoire de Biodiversité et Biotechnologies marines, Institut National des Sciences et Technologies de la Mer (INSTM), 28, rue 2 mars 1934 ; 2025 Le Kram, Tunis, Tunisie.*

²*Institut National Agronomique de Tunisie (INAT).*

* Correspondance, courriel : Rafik.Bensaid@instm.rnrt.tn

Résumé

La rhodophycée *Gelidium spinosum* (S.G. Gmelin) P.C. Silva (Rhodophycées ; Gélidiales) a été étudiée pendant une année, depuis septembre 2000 jusqu'à août 2001, sur la côte de Monastir (Est de la Tunisie). Les résultats globaux obtenus montrent que le poids humide maximum (environ 37 g/individu) a été atteint en mai. La longueur maximale (environ 11 cm) a été enregistrée en juin. La biomasse maximale en poids humide (environ 7000 g/m²) a été obtenue en mai. Quant à la fertilité, elle a varié entre 0%(Mai) et 100% (Septembre, Juin, Juillet et Août). Concernant le rendement en agar, le maximum a été obtenu en avril (33.4 % du poids sec), La force de gel maximale a atteint environ 705 g.cm⁻² (juin). Le point de gélification et le point de fusion les plus élevés ont été obtenus respectivement en août (34.33°C) et septembre (94.33°C).

Mots-clés : *Gelidium spinosum, poids, longueur, biomasse, fertilité, agar-agar.*

Abstract

The rhodophyta *Gelidium spinosum* (S.G. Gmelin) P.C. Silva of the coast of Monastir (Tunisia): Some hydro biological elements and agar potentiality

The red algae *Gelidium spinosum* (Gelidiales; Rhodophyta) was studied throughout a year from September 2000 to August 2001, along the coasts of Monastir (East of Tunisia). Main results showed that the maximum of wet weight was obtained in May

(37 g/ individual). In June, the maximum of length (about 11 cm) was recorded. Wet biomass has reached its maximum in May (7000g wet weight/m²). The fertility varied between 0 and 100%. Maximum of agar-yield was obtained in April (33.4 % of DW). Gel strength ranged between 93.33g.cm⁻² in October and 705g.cm⁻² in June. Maximum of gelling and melting temperatures were recorded respectively in August (34.33°C) and in September (94.33°C).

Keywords : *Gelidium spinosum*, weight, length, biomass, fertility, agar.

1. Introduction

L'intérêt aux végétaux marins et en particulier aux algues est en progression continue de par le monde et ce pour différentes raisons, notamment pour leurs richesses en protéines, glucides, lipides, sels minéraux, etc. C'est pour cela que ces plantes sont utilisées dans plusieurs domaines tels que l'agriculture, l'alimentation animale et humaine, les industries agro-alimentaires, en thalassothérapie, en cosmétique, en médecine, en pharmacie, etc. [1]. L'extraction des phycocolloïdes (alginates, agar-agar, carraghénanes) constitue un important créneau pour l'exploitation des algues marines à l'échelle mondiale. Parmi les algues agarophytes les plus recherchées commercialement, figurent *Gelidium*, *Pterocladia* (= *Pterocladia*), *Gracilaria* [2] et *Gracilariopsis* [3]. Les algues appartenant au genre *Gelidium* constituent la principale matière première pour la préparation de la gélose ou agar-agar, soit 44% de la production mondiale après les gracilaires qui contribuent pour 53% à la production [4]. Dans ce cadre, différentes espèces de *Gelidium* telles que *G. sesquipedale* (dans la péninsule ibérique et le Maroc), *G. pristoides* en Afrique du Sud, *G. robustum* du Mexique, *G. amansii*, au Japon, ainsi que d'autres espèces vivant au Chili font l'objet de collectes naturelles et de quelques essais de culture en mer, telle qu'en Espagne, les tonnages récoltés sont très différents selon les pays [5].

En Tunisie, l'intérêt à la valorisation des algues marines est très récent, comparé à celui dans plusieurs pays. Il date d'une dizaine d'années. L'algue choisie pour le démarrage des travaux de recherche a porté sur la rhodophycée *Gracilaria verrucosa* réputée pour avoir un agar de bonne qualité sachant qu'elle est cultivée depuis longtemps dans différents pays tels que la Chine, le Chili, les Philippines etc. Ces travaux ont porté sur l'étude de leurs potentialités et la cartographie des peuplements dans deux plans d'eau : le lac nord de Tunis et le lac de Bizerte [6- 8]. Puis, des essais de culture à l'échelle expérimentale de cette algue ont été réalisés

dans le lac de Bizerte, au nord de la Tunisie [9]. L'extraction de l'agar-agar à partir de cette algue a fait également l'objet de travaux dans le but d'explorer les ressources algales tunisiennes [10, 11]. Concernant la rhodophycée *Gelidium spinosum*, elle a été signalée en Tunisie sous le nom de *G. latifolium*, seulement à Tabarka, Le Galiton, Cap Serrat, Bizerte, Sousse; mais pourrait se trouver dans d'autres localités [12, 13]. Cette algue a fait l'objet d'une première étude en Tunisie (à Ghar el Melh) de point de vue éco-morphométrique [14] sous le nom de *Gelidium latifolium*. Hormis ce travail, il n'y a pas eu, à notre connaissance, d'autres travaux sur la même espèce ni dans la même localité ni dans d'autres tout le long de la côte tunisienne. Pour cette raison, le présent travail constitue une contribution à l'étude de *Gelidium spinosum* de point biologique, en relation avec son environnement et l'exploration de son agar-agar aussi bien quantitativement que qualitativement sachant que la Tunisie est un pays importateur de phycocolloïdes et ne dispose pas actuellement de base industrielle en algues marines.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation du matériel biologique

Le matériel biologique étudié est la rhodophycée *Gelidium spinosum* (S.G. Gmelin) P.C. Silva. Elle appartient à l'ordre des Gélidiales. Le thalle de consistance cornée ou cartilagineuse, est rouge orangé à violé foncé parfois iridescent. Sa taille varie entre 5 et 15 cm, la largeur des axes est de 0.3 à 3 mm, leur épaisseur est relativement constante : de 0.3 à 0.5 mm (**Figure 1**).

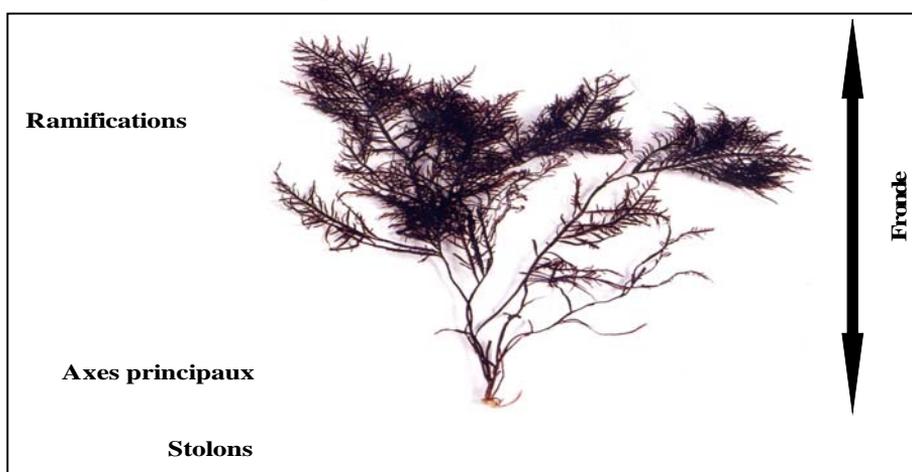


Figure 1 : *Thalle de Gelidium spinosum* (récolté à Monastir - Tunisie)

Il est constitué d'un système d'axes rampants ou aplatis, ramifiés latéralement qui assurent la fixation de l'algue au substrat par une série de rhizoïdes ou stolons qui portent la fronde dressée avec ses ramifications [15]. *Gelidium spinosum* vit sur les rochers ou sur d'autres algues au niveau des plus basses mers, dans des zones peu agitées. Cette algue peut pousser à des profondeurs allant de 5 à 20 m [16].

2-2. Méthodes

Les thalles de *Gelidium spinosum* ont été récoltés mensuellement depuis septembre 2000 jusqu'au mois d'août 2001 sur la côte rocheuse de Monastir, à l'Est de la Tunisie et à 180 km de Tunis (**Figure 2**). L'échantillonnage des algues a été effectué dans deux grands bassins naturels ayant une profondeur allant de 0 à -5m. Mensuellement, 40 spécimens ont été prélevés et conservés dans de petits sachets en plastique jusqu'à leur traitement au laboratoire. Chaque individu a été pesé au mg près à l'aide d'une balance de précision de type Bosch. La longueur totale de la fronde du thalle a été mesurée à l'aide d'une règle plate, depuis la base jusqu'aux extrémités apicales. Ensuite, chaque thalle a été observé minutieusement à la loupe binoculaire et au microscope photonique pour chercher la présence de structures reproductrices, notamment les sporocystes. Pour l'estimation de la biomasse moyenne, cinq prélèvements ont été effectués chaque mois avec un quadrat métallique de 50 cm de côté. Par la suite, les algues ont subi un séchage à l'air libre puis dans l'étuve à 60°C, jusqu'à obtention d'un poids sec constant. Parallèlement à l'échantillonnage, la température de l'eau de surface a été relevée à l'aide d'un thermomètre à mercure gradué au 1/10 de °C, la salinité et l'oxygène dissous ont été enregistrés, respectivement avec un salinomètre-conductimètre (WTW) et un oxymètre (WTW) OXI 330.

2-3. Extraction de l'agar-agar, rendement et qualité

Les thalles de *Gelidium spinosum* nettoyés des épiphytes et séchés comme indiqué plus haut, subissent les opérations suivantes afin d'en extraire l'agar-agar: 15 g d'algues sont mis dans une solution alcaline contenant 2 g/l de carbonate de sodium pendant 30 mn à 60 °C. Ensuite, les algues sont filtrées sur toile à bluter, rincées à l'eau de robinet puis mises en congélation pendant 24 h. Le lendemain, les algues subissent l'extraction proprement dite qui est réalisée dans un autoclave (petit autoclave), contenant environ 2l d'eau distillée. Le tout est chauffé sur une plaque électrique à une pression de 1.3 bar. Au bout de 2h, les algues sont filtrées sous

pression dans un filtre cylindrique parcouru par l'air comprimé. Le filtrat obtenu est congelé pendant 24 h, puis décongelé en versant de l'eau de robinet. Une petite pellicule d'agar se forme à la surface; elle est récupérée sur toile à bluter puis séchée à l'étuve pendant 24 h à 105 °C.

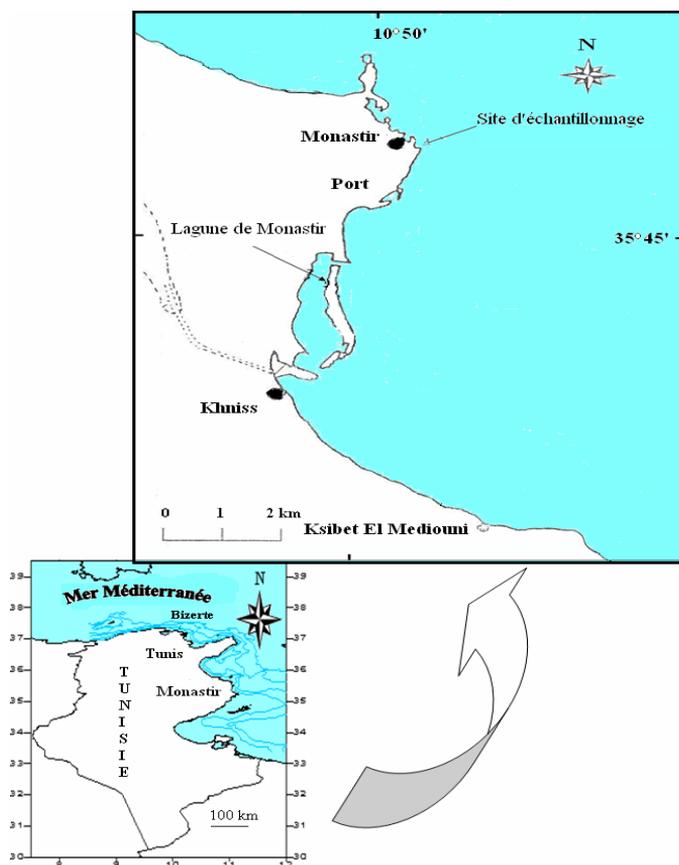


Figure2 : Zone d'échantillonnage de *Gelidium spinosum*

L'agar sec obtenu est pesé, puis le rendement est estimé par rapport au poids sec initial des algues. Les critères retenus pour évaluer la qualité de l'agar-agar extrait sont: la force de gel, exprimée en $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$, le point de gélification et le point de fusion, exprimés tous les deux en °C. La méthode utilisée est celle de *Ben Saïd et Ksouri* [10], en respectant la concentration de 1.5 % pour les solutions d'agar-agar testées. Les extractions et les analyses de la qualité sont effectuées mensuellement en triplicats.

2-4. Analyse statistique

Les données ont été analysées par une simple corrélation linéaire.

3. Résultats

3-1. Variation de quelques paramètres abiotiques (Température, salinité et oxygène dissous)

Les résultats de la variation mensuelle de la température de l'eau, de la salinité et de l'oxygène dissous sont représentés sur la **Figure 3**. La température a chuté d'une façon prononcée de septembre à octobre, puis elle a subi un léger réchauffement en novembre. Ensuite, elle a diminué pour atteindre son minimum en février (14.5°C). En mars, la température a commencé à augmenter progressivement jusqu'au maximum atteint en août (27.6°C). En 7 mois, l'écart entre les deux extrêmes est très important, soit 13.1°C . Les variations saisonnières de la température de l'eau, montrent les faits suivants: La température moyenne minimale est hivernale (15.67°C), tandis que la température moyenne maximale est estivale (26.6°C). Les températures moyennes automnale et printanière sont très voisines. La moyenne annuelle est de 19.33°C (**Tableau 1**).

Concernant la salinité, les fluctuations mensuelles ne sont pas très importantes, puisque la plupart de valeurs sont comprises entre 37 et 37.9‰ . Le minimum a été obtenu en février (36.5‰), tandis que la maximum a été notée en novembre (37.9‰). La salinité moyenne annuelle est de 37.46‰ (**Tableau 1**). L'oxygène dissous a varié durant l'année d'étude entre un minimum de 5 mg/l (juillet) et un maximum de 7.28mg/l (janvier). En août, le taux d'oxygène est très proche de la valeur minimale indiquée précédemment. En considérant la variation saisonnière de l'oxygène dissous (**Tableau 1**), les remarques suivantes peuvent être signalées : le minimum a été obtenu en été (5.36mg/L, par contre le maximum a été enregistré au printemps (7.13 mg/L). Les valeurs moyennes automnales et hivernales sont très voisines (6.47 et 6.66 mg/L), quant au taux moyen annuel d'oxygène, il est de 6.38 mg/L.

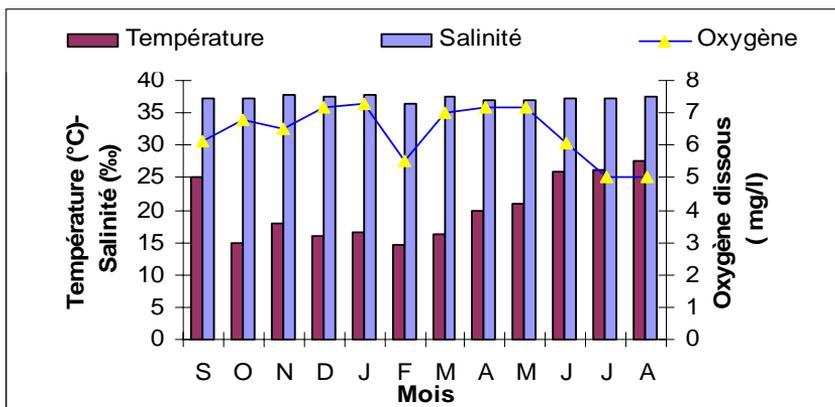


Figure3 : Variations mensuelles de la température, de la salinité et de l'oxygène dissous

Tableau 1 : Variations saisonnières des paramètres abiotiques

	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Moyenne annuelle
Température moyenne saisonnière (°C)	20.17 s: 4.86	26.60 s:0.88	19.10 s: 2.48	15.67 s :1.05	19.33 s: 5.14
Salinité moyenne saisonnière (‰)	37.29 s : 0.35	37.33 s:0.15	37.13 s : 0.23	37.23 s : 0.65	37.46 s : 0.38
Oxygène dissous moyen saisonnier (mg/L)	6.38 s: 0.85	5.36 s:0.61	7.13 s : 0.09	6.66 s : 1.02	6.47 s : 0.35

s : écart-type

3-2. Variation de quelques paramètres biotiques

3-2-1. Poids et longueur par individu

La fluctuation mensuelle du poids frais moyen des thalles de *Gelidium spinosum* montre une certaine irrégularité au cours de l'année (**Figure 4**). Ainsi, en octobre le poids a augmenté légèrement, puis il a diminué progressivement pour atteindre son minimum en janvier ($5.05 \pm 0.62g$). Par la suite, il a varié lentement pour croître d'une façon très prononcée en mai, période pendant laquelle il a atteint son maximum ($36.7 \pm 4.47g$).

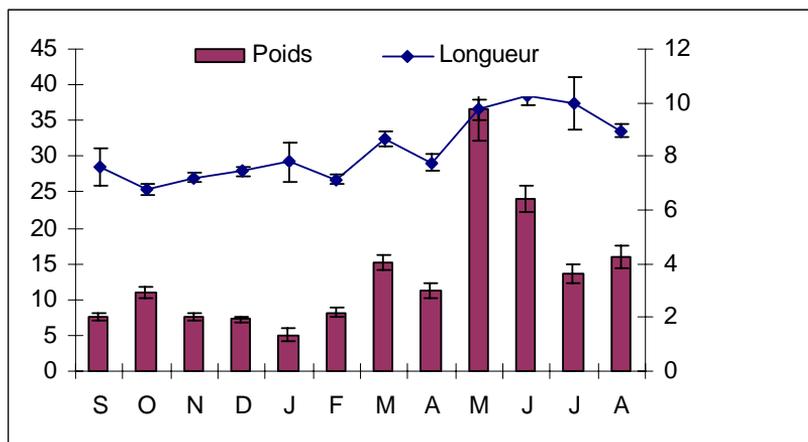


Figure 4 : Variation mensuelle du poids et de la longueur / individu de *Gelidium spinosum* (Les barres verticales représentent l'erreur standard, n=40)

En considérant la variation saisonnière du poids moyen individuel de *Gelidium* (Tableau. 2), les remarques suivantes peuvent être avancées : la croissance pondérale s'effectue principalement au printemps (de mars à mai). Une reprise de la croissance est également constatée en automne (septembre – octobre). Le poids moyen annuel individuel est de 13.61g. La longueur individuelle de *Gelidium* a varié également d'une façon irrégulière au cours de l'année. Ainsi, la longueur a diminué de septembre à octobre en atteignant sa valeur minimale (6.75 ± 0.19 cm), puis elle a augmenté lentement jusqu'à janvier. Ensuite, tantôt elle diminue tantôt elle augmente pour atteindre la valeur maximale en juin (10.25 ± 0.34 cm). En juillet, la longueur moyenne individuelle de *Gelidium* est restée constante puis elle a chuté en août pour atteindre 8.95 ± 0.26 cm. Les variations saisonnières de la longueur (Tableau 3) montrent que la longueur moyenne saisonnière varie très légèrement d'une saison à l'autre. Elle est maximale en été. La différence entre les valeurs minimale et maximale (entre l'automne et l'été) est de 2.55cm. La longueur moyenne annuelle est de 8.27 cm.

3-2-2. Biomasse

La biomasse humide a diminué progressivement depuis septembre pour atteindre son minimum annuel (453.37 ± 37.71 g.m²) en novembre. Ensuite elle a généralement augmenté progressivement jusqu'à son maximum (6925 ± 865.21 g.m²) en mai (Figure.5). Depuis juin, la biomasse a chuté progressivement jusqu'à la fin

d'août. La variation saisonnière de la biomasse humide (**Tableau 2**), montre que la période principale de développement est le printemps, avec un maximum atteint en mai. La biomasse sèche a fluctué de la même façon que la biomasse humide. Ainsi, elle est passée de 162.43 g. m⁻² en septembre à sa valeur minimale (94.29 g.m⁻²) en novembre, pour augmenter progressivement jusqu'au maximum atteint en juin (1562.76g. m⁻²).

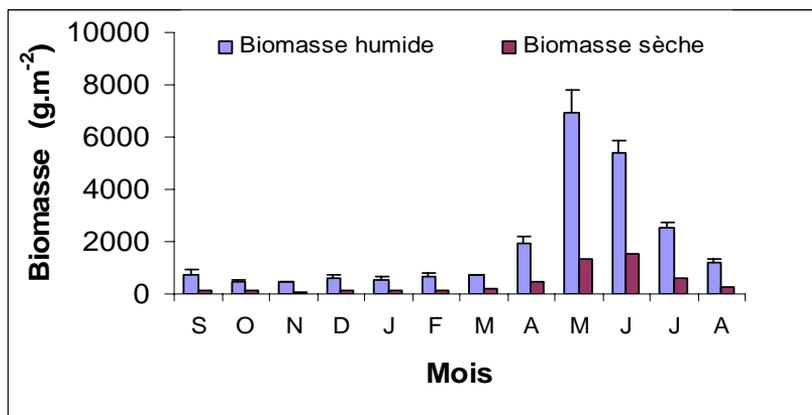


Figure 5 : Variation mensuelle de la biomasse humide et sèche de *Gelidium spinosum* (Les barres verticales représentent l'erreur standard, n=5)

Ensuite, elle a chuté brutalement en juillet et août. En analysant la variation saisonnière de la biomasse sèche (**Tableau 2**), nous remarquons qu'elle évolue régulièrement et positivement de l'automne à l'été. En effet, elle augmente légèrement de l'automne à l'hiver, puis d'une façon très remarquable entre l'hiver et le printemps. Depuis le printemps jusqu'à l'été, elle croit encore légèrement.

3-2-3. Fertilité

L'examen des thalles de *Gelidium spinosum* sous la loupe et le microscope photonique a permis de détecter uniquement les thalles tétrasporophytiques. Les organes reproducteurs mâles et les cystocarpes des femelles n'ont jamais été rencontrés. Les résultats obtenus concernant le taux de fertilité (**Figure 6**) montrent que celui ci diminue progressivement de septembre (100 %) jusqu'au mois de mars avec 5 %. En avril, il est de 12.5 %, puis chute pour devenir nul en mai. En juin, tous les spécimens prélevés sont fertiles (tétrasporophytes). Ce phénomène continue jusqu'à la fin du mois d'août.

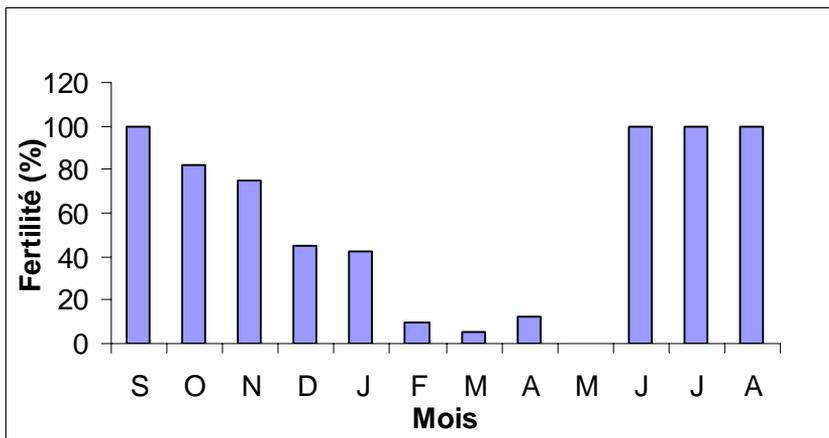


Figure 6 : Variation mensuelle de la fertilité de *Gelidium spinosum*

Tableau 2 : Variations saisonnières des paramètres biotiques de *Gelidium spinosum*

	Automne	Hiver	Printemps	Été	Moyenne annuelle
Poids moyen saisonnier (g)	8.72 s:1.93	6.85 s:1.62	21 s:13.73	17.89 s:5.41	13.61 s:6.89
Longueur moyenne saisonnière (cm)	7.18 s:0.42	7.46 s:0.32	8.71 s: 1.01	9.73 s:0.68	8.27 s:1.18
Biomasse moyenne saisonnière humide (g. m⁻²)	547.55 s: 160.89	606.66 s:80.82	3187.22 s: 391.84	3048 s: 249.94	1847.36 s:1468.06
Biomasse moyenne saisonnière sèche (g. m⁻²)	129.06 s:34.09	152.38 s:16.47	667.66 s:61.98	813.26 s:65.68	440.59 s:351.46
Fertilité moyenne saisonnière (%)	85.33 s: 12.83	32.5 s: 19.3	5.83 s:6.29	100 s:0	55.91 s:44.22

s : écart-type

La variation saisonnière de la fertilité de *Gelidium spinosum* (**Tableau 2**), montre une diminution régulière du taux de fertilité de l'automne (85.33%) au printemps (5.83%). En été, il est de 100%. Le taux de fertilité moyen annuel est de l'ordre de 56 %.

3-3. Rendement et qualité de l'agar-agar

3-3-1. Rendement d'extraction et force de gel

Le rendement en agar a varié mensuellement d'une façon irrégulière (**Figure 7**). Ainsi, le minimum (7.57% ±0.56) a été enregistré en septembre, puis le rendement a augmenté remarquablement en octobre pour diminuer progressivement jusqu'à décembre. Entre janvier et février, il y a eu progression prononcée, puisque le rendement a dépassé 25 % du poids sec. En mars, il y a eu chute nette puis un saut brusque du rendement qui a atteint son maximum en avril (33.37% ±2.80). Cette fluctuation s'est poursuivie en mai et juin puis il y a eu tendance de chute très prononcée du rendement entre juillet et août.

En observant le **Tableau 3**, indiquant la variation saisonnière du rendement, les points essentiels suivants peuvent être dégagés : Le rendement moyen saisonnier croît de l'automne (15.64%) au printemps (23.64%), puis il décroît en été (20.88%). La moyenne annuelle est de 19.77 %.

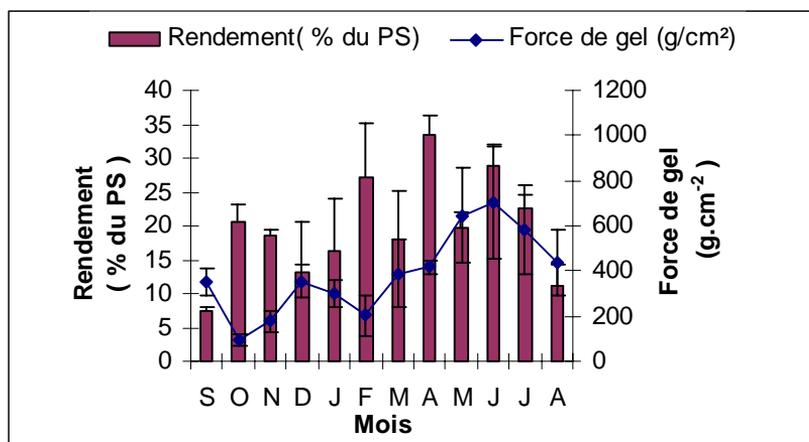


Figure7 : Variation mensuelle du rendement et de la force de gel d'agar-agar (Les barres verticales représentent l'erreur standard, n=3)

L'évolution de la force de gel tout au long de l'année ressemble un peu à celle du rendement mais généralement dans le sens inverse. Ainsi, elle a chuté

considérablement de septembre à octobre où elle a atteint son minimum ($93.33 \pm 25.83 \text{ g.cm}^{-2}$) en octobre ; puis elle a fluctué pendant les mois suivants pour atteindre le maximum ($705 \pm 248.40 \text{ g.cm}^{-2}$) en juin .Elle a chuté de nouveau entre juillet et août.

. Le **Tableau 3** indiquant la variation saisonnière de la force de gel permet de dégager certaines remarques : la force de gel augmente progressivement de l'automne à l'été. Entre ces deux périodes, la moyenne saisonnière devient approximativement 3 fois plus importante, avec un maximum de 577.11 g.cm^{-2} en été. La moyenne annuelle est de 388.36 g.cm^{-2} .

3-3-2. Point de gélification et point de fusion

Les fluctuations mensuelles du point de gélification ne sont pas très importantes au cours de l'année. En effet, les valeurs ont varié entre un minimum ($29.33 \pm 1.43^\circ\text{C}$) en février et un maximum (34.33°C) en août. La moyenne générale annuelle est de 32.08°C .

La variation saisonnière (**Tableau 3**) est faible entre les quatre saisons. En effet, l'écart entre le minimum (31.55°C) obtenu en automne et le maximum (33.44°C) enregistré en été n'atteint même pas les 2°C .

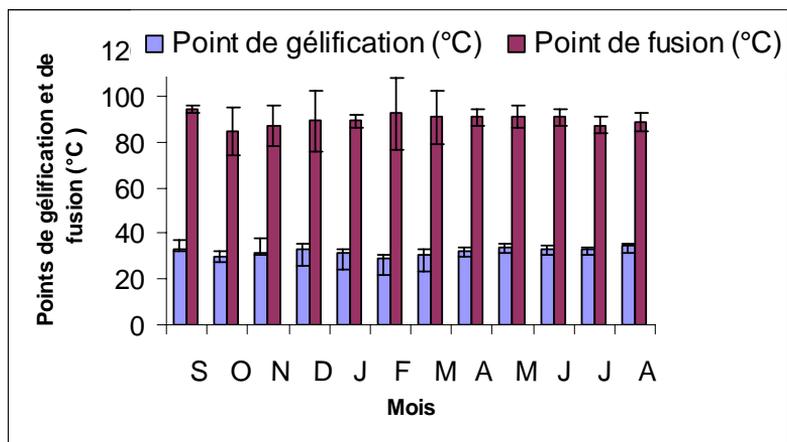


Figure 8: Variations mensuelles du point de gélification et de fusion (Les barres verticales représentent l'erreur standard, $n=3$)

La fluctuation mensuelle du point de fusion (**Figure 8**) montre qu'en septembre, la valeur maximale ($94.33 \pm 1.44^\circ\text{C}$) a été enregistrée. Pendant le mois suivant, c'est la

valeur minimale de toute l'année qui a été obtenue ($84.33 \pm 10.033^{\circ}\text{C}$). Puis, le point de fusion a fluctué entre 87 et 92°C . La variation saisonnière (**Tableau 3**) permet d'avancer les remarques suivantes : Le point de fusion minimum a été obtenu en automne (88.55°C). Il est très voisin de celui de l'été (88.88°C). Le maximum a été enregistré au printemps (90.77°C). Il est également proche de celui obtenu en hiver (90.22°C) et la moyenne annuelle est de 89.6°C .

Tableau 3 : Variations saisonnières du rendement et de la qualité de l'agar-agar

	Automne	Hiver	Printemps	Été	Moyenne annuelle
Rendement moyen saisonnier (% du PS)	15.64 s: 7.06	18.92 s: 7.38	23.64 s: 8.46	20.89 s: 8.99	19.77 s: 3.37
Force de gel moyenne saisonnière (g.cm ²)	207.22 s: 131.85	286.11 s: 75.13	483.99 s: 140.52	576.11 s: 133.55	388.36 s: 170.95
Point de gélification moyen saisonnier (°C)	31.55 s: 1.50	31.33 s: 1.85	32.11 s: 1.68	33.34 s: 0.85	32.08 s: 0.91
Point de fusion moyen saisonnier (°C)	88.55 s: 1.35	90.22 s: 1.84	90.77 s: 0.20	88.88 s: 1.68	89.60 s: 1.07

s : écart-type

4. Discussion

Au terme de cette étude sur *Gelidium spinosum* des côtes Monastir (Tunisie), certains faits essentiels peuvent être dégagés: l'algue est pérenne dans son biotope .Cependant, sa croissance en poids et en longueur présente des variations mensuelles et saisonnières. Il en est de même pour la biomasse et la fertilité. Les spécimens les plus lourds sont rencontrés à la fin de la saison printanière. Au début de l'été, ce sont les thalles les plus longs qui prédominent. Ceci peut être expliqué par le fait que l'algue émet des ramifications latérales, ce qui aura pour conséquence un gain en poids en premier lieu ,puis dans un deuxième temps une

croissance de la plante en longueur ou bien en hauteur. Les biomasses les plus importantes sont enregistrées en fin du printemps et au début de l'été (entre 5 et 6 kg.m² en poids frais). La variation de la fertilité entre 0 et 100% peut être interprétée par le fait que l'algue oriente son métabolisme vers la reproduction après avoir atteint le maximum de croissance. Ce phénomène a lieu pendant la saison chaude et se poursuit durant plusieurs mois, mais avec une intensité de plus en plus faible. Une bonne corrélation a été trouvée entre le poids et la longueur ($r=+0.75$). Il en est de même entre la température et la longueur ($r=+0.64$) d'une part, et entre la température et la fertilité, d'autre part ($r=+0.63$). Les coefficients de corrélation entre la salinité et les paramètres biotiques étant très faibles. Idem pour l'oxygène dissous à l'exception avec la fertilité. Dans ce cas, la corrélation est négative ($r= -0.58$). Il est à signaler que les fluctuations mensuelles et saisonnières de la température de l'eau sont liées aux variations de la température de l'air et aux changements des courants marins au cours de l'année. Quant à la salinité, elle varie peu tout au long de l'année en raison du mode battu du site d'échantillonnage, qui est exposé à la mer ouverte, en plus de l'absence de cours d'eau dans cette zone. Concernant l'oxygène dissous, les résultats montrent que le taux le plus élevé est atteint au printemps. Ceci peut être expliqué par la photosynthèse des algues vivant dans la zone d'étude, en particulier *Gelidium spinosum* qui représente l'algue la plus dominante. En été, la diminution du taux d'oxygène est due, vraisemblablement à l'élévation de la température dans cette zone et à cause de la diminution de l'activité photosynthétique pendant cette période. En effet, au cours des mois d'été, les algues sont en pleine période de fertilité et les rameaux deviennent lâches et plus ou moins fragiles. Nos résultats montrent que le rythme de croissance de *Gelidium spinosum* varie considérablement selon les mois et les saisons, ce qui est en parfait accord avec ceux de Mouradi-Givernaud [17] travaillant sur *Gelidium latifolium* des côtes ouest françaises, à Roscoff. *Gelidium sesquipedale*, vivant sur les côtes d'El Jadida (Maroc), montre également une croissance très active au printemps. En effet, un poids maximum de 50 g par individu et une longueur maximale entre 10 et 14 cm ont été enregistrés respectivement en septembre et en mars [18]. Par ailleurs, Mouradi et al. [19] montrent que *Gelidium sesquipedale* vivant sur la côte de Mehdia (Maroc) présente une croissance active entre mai et juillet et une deuxième entre septembre et octobre ; la croissance est faible entre janvier et avril et négative entre novembre et janvier. La longueur maximale trouvée dans cette zone est de 11 cm (septembre), tandis que le poids maximum est de 0.39 à 7 g/individu. Sur les côtes d'El Jadida, les biomasses maximales de *Gelidium sesquipedale* n'excédaient pas 16800 T en poids frais, avec une densité

moyenne maximale de 3200g. m⁻² en 1999, et en 2003 elles étaient inférieures de 33 % [20]. En étudiant *Gelidium latifolium* des côtes nord de l'Espagne, Rico [21], trouve que les biomasses maximales et les spécimens les plus longs coïncident avec les températures estivales de l'eau et la photopériode la plus longue. Cependant, le taux de fertilité est le plus élevé en hiver. Hernandez-Guerrero et al. [22] ont montré que l'abondance de *Gelidium robustum* vivant sur les côtes de Mexico, est maximale après un upwelling supérieur à la moyenne. Ce phénomène coïncide avec la saison printanière. Vraisemblablement, le genre *Gelidium* croît le mieux entre 15 et 20°C, mais il peut tolérer des températures plus élevées [23]. Dans notre cas, la température optimale de croissance semble varier entre 21 et 26 °C. Dans la présente étude, les thalles de *Gelidium spinosum* deviennent très fragiles, nécrosés, peu blanchis à verdâtres vers la fin de l'été et le début d'automne. C'est la phase de sénescence. Pendant cette période, la fragilité des algues peut être expliquée par l'effort fourni par les plantes pour se reproduire et par conséquent émettre leurs spores dans le milieu, comme il a été signalé par plusieurs auteurs tels que Mouradi et al. [19]. Avec les premières tempêtes automnales, les algues se détachent facilement de leur substrat et sont emportées par les vagues et les courants. Ce phénomène s'accroît en hiver. Par conséquent, ne restent fixés que les vestiges des algues ancrées par leurs rhizoïdes. Ces derniers permettent à l'algue de repousser de nouveau, lorsque les conditions s'améliorent. Zidane et al. [24] montrent que les thalles de *Gelidium sesquipedale*, vivant sur les côtes d'El Jadida Jarf Lasfar sont présents toute l'année, surtout en hiver. La régénération et la croissance ont lieu dans cette zone au printemps et en été. Basé sur des observations sur le terrain, des plantes mâles, femelles et tétrasporophytiques de plusieurs espèces, le cycle biologique de *Gelidium* a été décrit comme étant du type « Polysiphonia », avec des générations alternes : tétrasporophytes et sexuelles : gamétophytes mâles et femelles [25,26]. Cependant, dans beaucoup de populations, l'interprétation du cycle biologique est incertaine, puisque, dans certaines zones, les tétrasporophytes sont plus fréquents que les thalles sexuels et dans certains cas, les phases sexuelles sont complètement absentes [25]. Ceci est en accord avec nos observations sur les populations de *Gelidium spinosum* de Monastir où nous n'avons rencontré que des spécimens non fertiles mais généralement des tétrasporophytes. Ceci nous laisse se poser la question suivante : où sont les gamétophytes mâles et les femelles à carposporophytes ? Nous pourrions avancer l'hypothèse qu'ils sont ou bien très rares pour les observer à cause de leur courte durée de vie ou bien qu'ils sont complètement absents. Donc la reproduction de l'espèce dans cette zone est assurée essentiellement par voie végétative, par les

vestiges des thalles restants à la fin de l'été, et qui régénèrent au cours du cycle suivant, mais également par le biais de spores issues du cycle biologique. Leur fixation sur le substrat rocheux permet ainsi la pérennité de l'espèce. Sur les côtes d'El Jadida au Maroc, peu de tétrasporophytes de *Gelidium sesquipedale* sont rencontrés et la reproduction de cette espèce à une profondeur entre 16 et 30 m est assurée principalement par voie végétative [27]. Santos et Nyman [28] montrent également que le recrutement des populations de *Gelidium sesquipedale* des côtes portugaises s'effectue en général par voie végétative. Par ailleurs, malgré son importance relative, le recrutement par voie sexuelle reste faible et la présence de gamétophytes et tétrasporophytes est relativement peu importante dans ces populations. Les résultats de Carmora et Santos [29] vont également dans le même sens concernant *sesquipedale* du sud du Portugal.

Concernant le rendement et la qualité de l'agar-agar de *G. spinosum* de Monastir, les résultats enregistrés ont mis en évidence une variation mensuelle et saisonnière des paramètres étudiés. Ces résultats concordent avec ceux de Mouradi-Givernaud et al. [17 ; 30] travaillant sur *Gelidium latifolium* des côtes ouest de France (Roscoff). Les résultats de ces travaux ont montré que le rendement maximum a été trouvé en novembre (42.5%), tandis que la force de gel maximale était d'environ 788 g.cm⁻², en octobre. Ces valeurs ont été enregistrées en automne, par contre les nôtres ont été obtenues au printemps. Ceci peut être expliqué par la position géographique et les conditions environnementales des deux populations qui vivent l'une sur l'Atlantique et l'autre en Méditerranée. Matshuiro et Urzua [31] montrent que le rendement maximum des thalles à cystocarpes et ceux à l'état végétatif de *Gelidium rex* du Chili sont trouvés en décembre (début d'été en hémisphère sud). Les valeurs oscillent entre 35 et 40 % du poids sec des algues. Les températures de gélification et de fusion de différents agars extraits à partir de *Gelidium chilien*s, *G. rex* et *G. linguatum* varient respectivement entre 30 et 40 °C et entre 77 et 94 °C et ce, en fonction du stade du cycle biologique des espèces étudiées [31].

Par ailleurs, Sousa-Pinto et al. [2] montrent que *Gelidium pulchellum* récolté dans le milieu naturel sur les côtes portugaises, présente un rendement en agar proche de 30 % du poids sec de l'algue. Il est supérieur à celui trouvé chez la même espèce cultivée au laboratoire à différentes intensités lumineuses. Mouradi-Givernaud et al. [18] montrent que le rendement d'agar de *Gelidium sesquipedale* des côtes marocaines, varie sensiblement de mars à août (environ 40 % du poids sec de l'algue), il diminue jusqu'à 36 % en septembre puis augmente jusqu'au maximum de 44 % en novembre. Les températures de gélification et de fusion varient peu tout au long de l'année. Elles fluctuent respectivement entre 35 °C et 36 °C et entre 89 °C et

92 °C. La force de gel est maximale entre mai et juillet (environ 1000 g.cm⁻²), diminue jusqu'au minimum de 890 g.cm⁻² en septembre puis augmente en automne pour atteindre 1000g.cm⁻² en octobre. Dans ce cas, il n'y a pas de corrélation entre la force de gel, d'une part et les températures de gélification et de fusion, d'autre part. Dans la présente étude, nous n'avons pas trouvé de corrélation entre le rendement ni avec les paramètres biotiques ni avec les paramètres de qualité de l'agar. En revanche, une corrélation positive a été trouvée entre la force de gel et le point de gélification ($r=+0.70$). Par ailleurs, parmi les paramètres abiotiques étudiés, seule la température qui s'est révélée avoir une corrélation positive avec la force de gel ($r=+0.69$) et le point de gélification ($r=+0.78$).

Une corrélation positive a été également trouvée entre la force de gel d'une part, et le poids des thalles, leur longueur, la biomasse fraîche et sèche, d'autre part. Les coefficients de corrélation respectifs sont les suivants : +0.76, +0.92, +0.83 et +0.84. Chez d'autres algues agarophytes appartenant aux gracilaires, *Marinho-Soriano et Bourret* [4] travaillant sur *Gracilaria gracilis* et *Gracilaria bursa-pastoris* de l'étang de Thau (au sud de la France) montrent que le rendement varie entre 19 % en automne et 33 % au printemps chez *G. gracilis*. Le rendement est positivement corrélé avec la force de gel ($r=+0.71$) et négativement avec le point de gélification. Chez *Gracilaria bursa-pastoris*, il y a une corrélation négative entre le rendement et la force de gel, mais il y a une corrélation positive entre la force de gel et le point de gélification. *ROLEDA et al.* [32] rapportent que la variation du point de gélification est en relation avec l'augmentation et la diminution de la force de gel chez *Gelidiella acerosa*, ce qui concorde avec nos résultats.

Généralement, les plus hauts rendements sont rencontrés au printemps et en été [33-35]. Ceci est vraisemblablement lié aux conditions environnementales, en particulier la température et la salinité qui ont une influence certaine sur la synthèse de l'agar et ses propriétés physico-chimiques., ce qui a été confirmé dans cette étude, notamment la température de l'eau en relation avec la force de gel et le point de gélification. Il faut noter également que plusieurs travaux ont montré une relation inverse entre le rendement en agar-agar et la teneur en protéines des algues [4 ; 17:36], ce qui signifie que lorsque la plante dirige son métabolisme vers la synthèse des polysaccharides en particulier l'agar-agar, il y a diminution de la fabrication protéique et vice-versa.

5. Conclusion

En conclusion, cette étude a permis d'explorer pour la première fois les potentialités naturelles de la rhodophycée *Gelidium spinosum* des côtes de Monastir (Tunisie). Cette algue s'est révélée pérennante, mais prolifère essentiellement pendant la saison printanière et estivale, lorsque la température de l'eau devient clémente. Après la phase de croissance, l'algue oriente son métabolisme vers la reproduction qui atteint son apogée en plein été et en automne. Ce travail a permis également d'avoir une idée sur le potentiel de cette algue en agar-agar et a montré que le rendement et la qualité sont en étroite relation avec la biologie de l'espèce et son rythme de croissance au cours de l'année. D'autres études futures sur des étendues plus importantes permettraient d'avoir une idée plus claire sur les potentialités exploitables de *Gelidium spinosum* sur les côtes tunisiennes afin de mettre en place progressivement une industrie basée principalement sur l'extraction de phycocolloïdes dont l'agar-agar.

Références

- [1] - R.Pérez. "Ces algues qui nous entourent. Conception actuelle, rôle dans la biosphère, utilisations, culture". IFREMER. (1997) 272p.
- [2] - .Sousa- Pinto, E. Murano, S .Coelho, A. Felga and R .Pereira. "The effect of light on growth and agar content of *Gelidium pulchellum* (Gelidiaceae, Rhodophyta) in culture". *Hydrobiologia*. 398/399 (1999) 329-338.
- [3] - R.Iyer, J.J. Bolton. and V.E. Coyne. "Gracilarioid species (Gracilariaceae, Rhodophyta) in southern Africa, with a description of *Gracilariopsis funicularis* sp. nov." *African Journal of Marine Science*.27 (1) (2005) 97-105.
- [4] - E.Marinho-Soriano and E. Bourret. "Effects of season on the yield and quality of agar from *Gracilaria species* (Gracilariaceae, Rhodophyta)". *Biores.Techn*. 90 (2003) 329-333.
- [5] - R. Melo. "Gelidium commercial exploitation: natural resources and cultivation". *Journal of Applied Phycology*.10(3) (1998) 303-314.
- [6] - J.Ksour, R.Ben Saïd et O.Beji. "Cartographie des peuplements de la macro algue *Gracilaria* (*Gigartinales* ; *Gracilariales*) dans le lac nord de Tunis". *Bull. INSTM*. 23 (2) (1996)55-72.

- [7] - J.Ksouri, R.Ben Saïd et O.Beji. "Evaluation des potentialités quantitatives naturelles des gracilaires (algues rouges) du lac nord de Tunis". *Bull. INSTM*.24 (1997)15-27.
- [8] - .Ksouri et R.Ben Saïd. "Potentialités en macro algues : cartographie et biomasse de l'agarophyte rhodophycée *Gracilaria verrucosa* dans le lac de Bizerte". *Bull. INSTM*. 25 (1998) 17-34.
- [9] - J.Ksouri, F .Mensi et R. Ben Saïd. "Ajustement de certains paramètres de culture par bouturage de *Gracilaria verrucosa* (algue rouge), dans le lac de Bizerte ". *Bull. INSTM*. 27(2000) 69-74.
- [10] - R.Ben Saïd et J.Ksouri. "La rhodophycée *Gracilaria verrucosa* du lac de Bizerte (Tunisie) : Variations mensuelles de la biomasse, du rendement d'extraction et de la qualité de l'agar". *Bull. INSTM*. 26(1999)127-136.
- [11] - R.Ben Saïd, J.Ksouri et F.Mensi. " L'algue rouge *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss, du lac nord de Tunis : Rendement et qualité de l'agar ". Bull. INSTM. Numéro spécial. Actes des 4èmes congrès maghrébin des Sciences de la Mer. 6 (2001) 49-52.
- [12] - N.Ben Maïz. "Inventaire des algues et phanérogames marines d'intérêt économique : Bilan et potentiel des ressources sur le littoral tunisien". Plan Directeur de l'Aquaculture de Tunisie. Ministère de l'Agriculture de Tunisie (1993).
- [13] - N. Ben Maïz. "Etude nationale sur la diversité biologique de la flore marine et aquatique en Tunisie (Monographie) ".Projet MEAT/PNUE/GEF .Ministère de l'Environnement, Tunisie. (1995) 1-78.
- [14] - R.Ben Saïd, J.Ksouri et O. Beji. "Etude éco-morphométrique de l'algue rouge *Gelidium latifolium* ". *Revue de l'INAT*. 1 (1999) 45-63.
- [15] - P. Gayral and J. Cosson. "Connaître et reconnaître les algues marines", Ed.Ouest France (1986) 220p.
- [16] - J. Cabioc'h, J.Y. Floc'h, A Le Toquin, C.F. Boudouresque , A. Meinesz et M. Verlaque. "Guide des algues des mers d'Europe", Ed. Delachaux et Niestlé (2006) 272p.
- [17] - A.Mouradi-Givernaud. "Recherches biologiques et biochimiques pour la production d'agarose chez *Gelidium latifolium* (Grév.)Thuret et Bornet (Rhodophycées, Gélidiales) ". Thèse Doctorat d'Etat .Univ.Caen.France (1992)351p.
- [18] - A.Mouradi-Givernaud, L.A.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.
- [19] - A. Mouradi, M Chikhaoui, M Fekhaoui, R Akallal, A Guessous et T. Givernaud. "Variabilité interspécifique de trois algues rouges : *Hypnea musciformis*, *Gracilaria multipartita* et *Gelidium sesquipedale* (Rhodophycées) de la côte atlantique marocaine". *Afrique Science* .2 (3) (2006)365-389.

- [20] - T. Givernaud , N. Sqali ,O. Barbaroux, A. Orbi , Y Semmaoui, N. Erezzoum, A Mouradi and R. Kaas. "Mapping and biomass estimation for a harvested population of *Gelidium sesquipedale* (Rhodophyta, Gelidiales) along the Atlantic coast of Morocco". *Phycologia*. (2004) 66-71.
- [21] - M.J.Rico. "Field studies and growth experiments on *Gelidium latifolium* from Asturias (northern Spain)". *Hydrobiologia*. 221 (1991) 67-75.
- [22] - J.C. Hernández-Guerrero, .M. Casas-Valdez, S. Ortega-García and S. Hernández —Vasquez. "Effect of climatic variation on the relative abundance of the red alga *Gelidium robustum* in Baja California Sur, Mexico". *Journal of Applied Phycology*. 12(2000) 177-183.
- [23] - F.A.O. "A guide to the seaweed industry". FAO fisheries Technical Paper. 441(2003)105p.
- [24] - H. Zidane, A. Orbi, N. Sqali, F. Zidane, M. Talbaoui, M. Hasnaoui and M. Fakhaoui " Survey of the cycle of reproduction of red algae *Gelidium sesquipedale* (Turn) Thuret (case of the maritime zone of El Jadida-Jarf Lasfer of Morocco) ". *Environmental Technology*. 27(8) (2006) 933-943.
- [25] - B.Santelices "Synopsis of biological data on the seaweed genera *Gelidium* and *Pterocladia* (Rhodophyta)". F.A.O. Fisheries Synopsis. 145(1988)1-55.
- [26] - R.A. Melo and M. Neushul . "Life history and reproductive potential of the agarophyte *Gelidium robustum* in California". *Hydrobiologia* 260/261(1993) 223-229.
- [27] - NRH (Institut National de la Recherche Halieutique). "Ressources littorales : état de nos connaissances". Ministère de la pêche maritime .Royaume du Maroc. (2002)111p.
- [28] - R. Santos and M. Nyman. "Population modelling of *Gelidium sesquipedale* (Rodophyta, Gelidiales)". *Journal of Applied Phycology*. 10 (3) (1998) 261-272.
- [29] - R. Carmora and R. Santos. "Is there an ecophysiological explanation for the gametophyte-tetrasoprophyte ratio in *Gelidium sesquipedale* (Rhodophyta)?" *J. Phycol.* 42 (2)(2006) 259-269.
- [30] - A. Mouradi, T. Givernaud, H. Morvan and J. Cosson. "Annual variations of the biochemical composition of *Gelidium latifolium* (Gréville) Thuret et Bornet". *Hydrobiologia* .260/261.(1993).607-612.
- [31] - B. Matshuiro and C.C. Urzua. "Agars from Chilean Gelidiaceae". *Hydrobiologia* 221(1991) 149-156.
- [32] - M.Y. Roleda, E.T. Ganzon-Fortes, N.F. Montano and F.N. De Los Reyes. "Temporal variation in biomass quantity and quality of agar from *Gelidiella acerosa* (Forsskaal) Feldmann et Hamel (Rhodophyta: Gelidiales) from Cap Bolinao, NW Philippines". *Bot. Mar.* 40 (1997) 487-495.

- [33] - A. Chirapart and M. Ohno. "Seasonal variation in the physical properties of agar and biomass of *Gracilaria* sp. (Chorda type) from Tosa Bay, southern Japan". *Hydrobiologia*. 151 /152(1993) - 541-547.
- [34] - H.B. Pondevida, A.Q. Hurtado-Ponce. "Seasonal variations in the agar quality of *Gracilaria changii*, *Gracilaria manilaensis* and *Gracilariopsis hailinae* (Gracilariales, Rhodophyta).Assessment of some agarophytes from the coastal areas of Hoilo.Philippines".*Bot. Mar.*39 (1996). 123-127.
- [35] - Y.Freile-Pelegrin and D. Robledo. "Influence of alkali treatment on agar from the red seaweed *Gracilaria cornea* from Yukatan, Mexico". *Journal of Applied Phycology.*, 9(1997).533-539.
- [36] - K Bird, C. Habig and T. Debusk. "Nitrogen allocation and storage patterns in *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta)". *J.Phycol.* 18(1982) 344-348.