

## ETUDE DE LA CROISSANCE ET DE LA STRUCTURE DE LA FAUNE ASSOCIEE DE L'ALGUE ROUGE *GRACILARIA GRACILIS* CULTIVEE DANS LA LAGUNE DE BIZERTE

Fethi MENS<sup>1\*</sup>, Z. MSIHLI<sup>2</sup>, R. BEN SAID<sup>1</sup> et N. GHANEM BOUGHANMI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, Centre Kheiredine, 29 Rue Général Kheireddine -2015 Le Kram, Tunisie. Tél/Fax : 216 71 276 121

<sup>2</sup>Faculté des Sciences de Bizerte, 7021 Jarzouna-Bizerte, Tunisie.

\* mensi.fethi@instm.rnrt.tn

### ملخص

دراسة نمو الطحلب الأحمر غراسيلاريا المستزرع ببحيرة بنزرت وبنية الكائنات الحية المرطبة به : لو خط وجود كائنات حية مرتبطة بالطحلب الأحمر نوع غراسيلاريا (*Gracilaria gracilis*) الذي يتم إستزراعه ببحيرة بنزرت. يهدف هذا العمل إلى دراسة بنية وتفاعل هذه الكائنات مع الطحلب وفقا للكتلة الحيوية وتركيبته الكيميائية، خلال فترة الاستزراع، وذلك من أجل وضع استراتيجية لجمعه في المستقبل. بينت النتائج أن معدل النمو المحدد (TCS ; Taux de Croissance Spécifique) والذي يتم قياسه بنسبة الزيادة المئوية في اليوم، يساوي 0,7±3,29 و 0,94±5,60 و 0,16±2,55 وذلك لأشهر أفريل وماي وجوان ومعدل الفترة كاملة يساوي 0,78±3,05. وبينت الدراسة أن نسبة السكر الذائب تساوي 11,85±35,42% و 9,16±48,86% و 8,74±34,12% لأشهر أفريل وماي وجوان ومعدل الفترة الكاملة يساوي 9,92±39,47%. وبينت الدراسة أن كمية البروتين تساوي 1,90±18,56% و 5,15±21,96% و 1,7±21,90% لأشهر أفريل وماي وجوان ومعدل الفترة كاملة يساوي 2,93±20,81%. كما أنه خلال الدراسة تمكنا من تحديد ستة أصناف أو شعب وهي: les Crustacés amphipodes و les Crustacés isopodes و les Mollusques و les annélides polychètes و les Cnidaires و لقد بينت الدراسة أن الأصناف السائدة هما Les Isopodes و les Amphipodes و ان جنس *Idotea balthica* هو السائد خلال فترة الاستزراع و ترتبط وفرته ايجابيا بمعدل النمو المحدد (TCS) وكمية البروتين وصبغ R-phycoerythrine. في الختام من أجل الاستغلال المستدام لاستزراع طحلب الغراسيلاريا وبناءا على النتائج المتحصل عليها نقترح بدء الاستزراع في مارس و الجمع في نهاية شهر ماي وفق خطة محددة للحفاظ على التنوع البيولوجي.

**كلمات مفتاح:** الطحلب الأحمر، غراسيلاريا، إستزراع، بحيرة بنزرت

### RESUME

Une importante faune associée à l'algue rouge *Gracilaria gracilis* cultivée dans la lagune de Bizerte a été observée. Ce travail qui représente une première étude de la faune associée à l'algue a pour objectif d'étudier la structure et l'interaction de cette faune en fonction de sa biomasse et sa composition biochimique, afin d'établir une stratégie pour sa récolte dans le futur. Le taux de croissance spécifique (TCS) est de 5,60 ± 0,60% j<sup>-1</sup>; 3,29±0,50 et 2,55±0,60 % j<sup>-1</sup> pour les mois d'avril, mai et juin respectivement et une moyenne durant toute la période de 3,81±0,60%j<sup>-1</sup>. La quantité de sucre soluble est de 35,42±11,85% j<sup>-1</sup>; 48,86±9,16 % et 34,12±8,47 % pour les mois d'Avril, Mai et Juin respectivement et une moyenne durant toute la période de 39,46±9,92 %. La quantité de protéines est de 21,96±5,15%; 18,56±1,90 % et 21,90±1,74 % pour les mois d'avril, mai et juin respectivement et une moyenne durant toute la période de 20,81±2,92 %. Au total, nous avons trouvé six groupes zoologiques qui sont les crustacés amphipodes, les crustacés isopodes, les mollusques, les cnidaires, les annélides polychètes et les échinodermes. Les classes dominantes sont les amphipodes et les isopodes dont l'espèce *Idotea balthica* est la plus dominante durant la période de culture. L'abondance de l'isopode (*Idotea balthica*) est positivement corrélée aux différentes réponses étudiées (TCS, protéines et R-phycoérythrine). En conclusions, pour une exploitation durable de la culture de *G. gracilis*, en se basant sur l'adéquation entre le TCS, la composition biochimique et la faune associée (nombre d'individus et types d'espèces), nous proposons de commencer la culture au mois de mars et de faire la récolte, selon un plan déterminé, à la fin du mois de mai.

**Mots clés :** *Gracilaria gracilis*, Croissance, Composition biochimique, Faune associée, Lagune de Bizerte

### ABSTRACT

**Study of the growth and associated fauna structure of the red algae *Gracilaria gracilis* cultivated in the Bizerte Lagoon:** An important fauna associated with the red algae *Gracilaria gracilis* grown in the Bizerte lagoon has been observed. This work represents the first study of algae-associated wildlife in this lagoon, which aims to study the structure and interaction of this fauna based on its biomass and biochemical composition, in order to establish a strategy for its harvest in the future. The daily growth rate (DGR) is 5.60 ± 0.94% j<sup>-1</sup>; 3.29 ± 0.70 and 2.55 ± 0.16% j<sup>-1</sup> for the months of April, May and June respectively and an average throughout the period of 3.05 ± 0.78%j<sup>-1</sup>. The amount of soluble sugar is 35.42 ± 11.85% j<sup>-1</sup>; 48.86 ± 9.16% and 34.12 ± 8.74% for the months of April, May and June respectively and an average throughout the period of 39.47 ± 9.92%. The

amount of protein is  $21.96 \pm 5.15$ ;  $18.56 \pm 1.90\%$  and  $21.90 \pm 1.74\%$  for the months of April, May and June respectively and an average throughout the period of  $20.81 \pm 2.93\%$ . In total, we found six zoological groups that are amphipod crustaceans, isopod crustaceans, molluscs, cnidarians, polychaete annelids and echinoderms. The dominant classes are amphipods and isopods, of which the species *Idotea balthica* is the most dominant during the growing period. The abundance of isopod (*Idotea balthica*) is positively correlated with the various responses studied (DGR, agar, proteins and R-phycoerythrin). In conclusion, for a sustainable exploitation of the cultivation of *G. gracilis*, based on the adequacy between DGR, biochemical composition and associated fauna (number of individuals and species types), we propose to start *G. gracilis* culture in later March and the harvest, according to a certain strategy, at the end of May.

**Keywords:** *Gracilaria gracilis*, Growth, Biochemical composition, Associated fauna., Bizerte lagoon

## INTRODUCTION

La conception du monde végétal aquatique a énormément évolué au cours de ces dernières décennies en s'appuyant sur les acquis récents de la science dans les domaines de la biologie moléculaire, de la cytologie, de la physiologie et de la génétique. Pérez (1997) met en exergue deux concepts fondamentaux donnant aux algues leur dimension actuelle : d'une part, leur rôle fondamental dans l'équilibre de l'écosystème aquatique et, au-delà, de la biosphère toute entière et d'autre part, leur place capitale dans l'économie. Sur le plan écologique, les végétaux marins, en général et les macro-algues en particulier constituent les premiers maillons de la chaîne alimentaire et leurs peuplements constituent des refuges ainsi que des frayères pour une faune très diversifiée ; elles sont aussi des bio-indicateurs signalant les agressions subies par le milieu et les tendances de l'environnement. Sur le plan économique, les macro-algues ne cessent d'attirer de plus en plus l'attention des chercheurs et des industriels, essentiellement pour la découverte et la valorisation de molécules ayant un potentiel économique important (les protéines, les glucides, les lipides, les sels minéraux). A ce niveau, plus de 25 millions de tonnes des macro-algues dans le monde (FAO, 2018), qui sont utilisés dans différents secteurs.

Les algues rouges sont l'une des groupes les plus recherchés du fait de leur richesse en polysaccharides (les carraghénanes et les agars) utilisables comme agents texturants, filmogènes ou émulsifiants dans de nombreux domaines de l'industrie agro-alimentaire ou pharmaceutique (Viana, 2002). Cependant, l'extraction de ces phycocolloïdes constitue un important créneau pour l'exploitation des algues marines à l'échelle mondiale. Parmi les algues agarophytes les plus recherchés, figure *Gracilaria* qui constitue la principale matière première pour la préparation de l'agar à échelle mondiale (Marinho-Soriano et Bourret, 2003). La Tunisie, avec sa façade méditerranéenne, qui s'étale sur plus de 1300 km, ne produit qu'une biomasse totale de *Gracilaria gracilis*, estimée à 573 tonnes en poids sec par an. Cette quantité est insuffisante pour le démarrage d'une activité industrielle et par conséquence la

culture de l'algue a été recommandée (Ksouri et Ben Said 1998). Cependant, de nombreuses tentatives ont été menées, mais sont confronté à l'impact des facteurs environnementaux et la disponibilité limitée des superficies pour la culture benthique. Ces techniques n'étaient applicables que dans des zones situées à moins de 2 m, ce qui correspond à 10% de la superficie totale de la lagune de Bizerte (Mensi et al., 2014). De plus, l'agar obtenu dans la lagune (force de gel est inférieure à  $400 \text{ g cm}^{-2}$ ) est de qualité moyenne selon la classification de l'American Pharmacopeia (Ben Said et al., 2018). Par conséquent, aucune installation à grande échelle pour la culture de *G. gracilis* n'est présente aujourd'hui.

Depuis l'initiation des cultures de *Gracilaria*, le problème de l'épiphytisme demeure sérieux. Durant les 30 dernières années, plusieurs travaux ont été consacrés à la description de ce phénomène et à la recherche de solutions. Les plus importants facteurs qui influencent la structure de la faune associée aux macrophytes regroupent la structure physique du macrophyte et ses épiphytes, le nombre de microhabitats, la nature du sédiment, les sources de nourriture, les refuges de prédateurs et la courantologie (Lewis, 1984). L'algue rouge *Gracilaria* fournit l'habitat pour une faune diversifiée, répartie essentiellement entre les groupes zoologiques suivants, Crustacés, Mollusques et Annelides (Nicotri, 1977 ; Anderson et al., 1998 ; Smit et al., 2003). Le fait que *Gracilaria* est une espèce préférée pose un problème pour la culture dans le milieu naturel lorsque la population d'animaux brouteurs est élevée. La perte peut être considérable même dans le cas de la culture en milieu contrôlé (Nicotri, 1977; Shacklock et Croft, 1981; Smit et al., 2003). En Tunisie, les études concernant la faune associée au Gracilaires en milieu lagunaire sont rares (Zaabar et al., 2017) et surtout lorsque celles-ci sont cultivées. Cependant, l'objectif de ce travail est d'étudier la croissance et la composition biochimique de l'algue rouge *G. gracilis* ainsi que l'interaction avec sa faune associée au cours d'un cycle de développement. Le but de cette étude est de déterminer la période adéquate de récolte de l'algue dans le futur.

## MATERIELS ET METHODES

### Préparation des touffes de *Gracilaria gracilis*

Des touffes de *Gracilaria gracilis* en bon état ont été collectées dans les peuplements naturels de la lagune de Bizerte (37°22'33"N ; 9°91'63"E), qui est aussi le

site d'expérimentation. La collecte des touffes est effectuée manuellement, à la fin du mois de mars 2019. La zone de collecte est caractérisée par une profondeur variant de 0.5 à 1 m, une salinité de 35 psu et une température de 17°C (Figure 1).

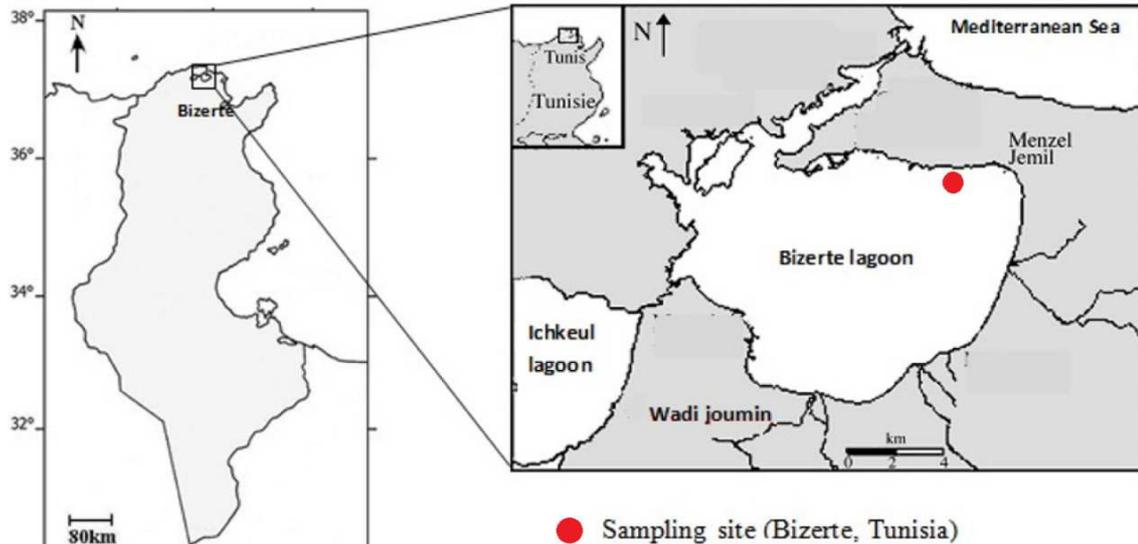


Figure 1: Site de culture de *Gracilaria gracilis* dans la lagune de Bizerte

Les algues ont été transportées dans des bacs en plastiques fermés pour éviter le séchage des thalles et de conserver un environnement similaire à celui de la lagune afin de minimiser le stress des thalles. Par la suite, les échantillons ont été entreposés dans un bac contenant de l'eau de mer au laboratoire de l'INSTM-Kheiredine et débarrassées de leurs éventuels épiphytes (Ulves...etc.) et épifaunes (anémones, polychètes, étoiles de mer, mollusques, amphipodes et isopodes). Elles furent rincées à l'eau de mer et acclimatées pendant une semaine dans des bacs en plastiques remplis avec de l'eau de mer ayant des paramètres physicochimiques ( $O_2$  dissous, température et salinité) similaires à celles de la lagune de Bizerte au moment de la collecte. En prenant soin de bien immergés les thalles. Des touffes de *Gracilaria gracilis* en bon état ont été sélectionnées ; c'est-à-dire ayant des stades de développement similaires, de mêmes couleurs et ayant des longueurs et des ramifications similaires avec le même degré de pigmentation. Les thalles blanchâtres ont été éliminés. Par la suite, elles ont été bien débarrassées de leurs épiphytes et épifaune.

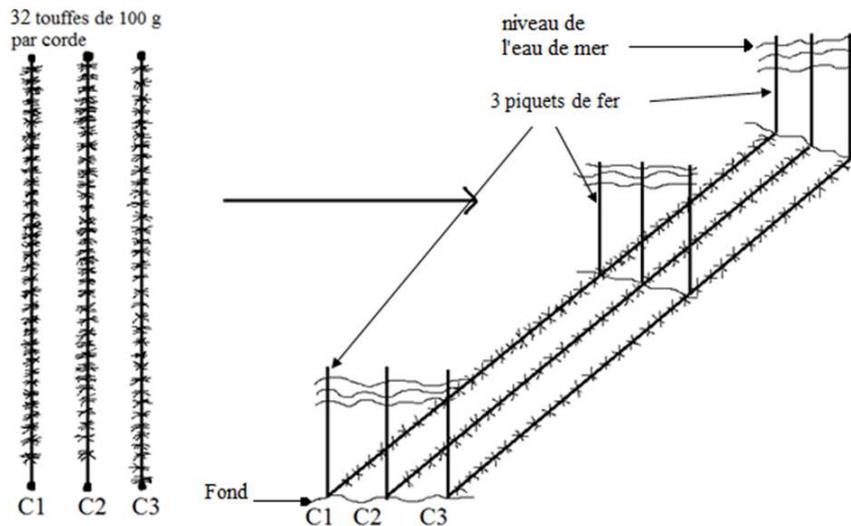
### Modalité de culture

Les touffes nettoyées, triées et sélectionnées ont été essuyées par un papier absorbant avant d'être pesées à l'aide d'une balance ayant une précision de 0,1 g, 96 touffes de  $100 \pm 2$  g ont été attachées sur 3 cordes (C1, C2 et C3) par un fil tressé. Par la suite, les

cordes ont été immergées dans des bacs en plastique contenant  $2 m^3$  d'eau de mer filtrée et enrichie avec de l'ammonium et du nitrate en attendant leur transfert vers le site de culture. Chaque touffe constitue une unité expérimentale. La distance entre chaque touffe étant de 50 cm et celle entre les rangées de cordages est de 75 cm. Un suivi journalier des paramètres physico-chimiques (oxygène dissous, température et salinité) a été effectué quotidiennement pour chaque bac et suivi par un siphonage tous les deux jours. Après siphonage, on procède à un renouvellement total de la quantité d'eau de chaque bac, suivi d'un ajout de  $70 mgL^{-1}$  du nitrate et de  $32 mgL^{-1}$  d'ammonium. Les bacs ont été munis par un système d'aération permettant, aussi, de faciliter l'absorption des éléments nutritifs grâce à un brassage continu. Pour le mode de culture, nous avons opté pour l'utilisation d'un cordage tendu sur le substrat entre trois piquets de fer (Figure 2). Les cordes restent à 50 cm de la surface de l'eau même à marée basse. Pour cette expérimentation, un entretien de culture a été réalisé une à deux fois par semaine. Ce suivi a pour objectif de contrôler la résistance mécanique des systèmes de culture, notamment au niveau des fixations des cordes sur les piquets en fer. De même, le suivi permet d'enlever les algues épiphytes, ce qui rend facile l'étude de la relation de l'algue et sa faune associée uniquement. Au cours de la période de culture qui est de 90 jours (avril, mai et juin), trois prélèvements ont été effectués, soit une corde par

prélèvement. Cependant, le prélèvement des touffes a été effectué à l'aide de sacs en plastiques afin d'éviter l'effritement et faciliter leur séparation. Les touffes

d'algues ont été coupées, retirées de la corde et placées avec leurs éventuels faunes dans des sacs en plastique (une touffe par sac) pour mesurer ensuite la



**Figure 2:** Dispositif de culture sur substrat des touffes de *Gracilaria gracilis* dans la lagune de Bizerte

masse de chaque touffe, évaluer le taux de croissance spécifique, ensuite faire le tri et prélever toute la faune associée à l'algue. Ainsi que, pour l'analyse biochimique au laboratoire. Un suivi journalier de la température (°C) a été effectué *in situ* durant toute la période de culture. Alors que pour la mesure de la salinité (psu) et le dosage des nutriments, des échantillons ont été collectés par quinzaine. Le poids final de chaque touffe a été déterminée et le taux de croissance spécifique (TCS) est calculé selon la formule de Ksouri *et al.*, (2008) :

$$TCS (\%) = 100 \ln \left( \frac{\text{poids final}}{\text{poids initial}} \right) / \text{Nombre de jours de culture}$$

#### Détermination de la composition biochimique de *Gracilaria gracilis*

La R-phycoérythrine (RPE), les protéines et les sucres totaux ont été extraits à partir des échantillons d'algues décongelées à l'aide d'eau de mer (20 g ont été décongelés puis séchés avec du papier absorbant). Ensuite 1g de cette biomasse fut broyé dans un mortier en présence de 20 ml de tampon phosphate  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  de pH =6. Le broyat a été homogénéisé à l'aide d'un vortex puis les extraits ont été incubés dans un bain marie à 50°C pendant 10 heures et filtrés à l'aide d'une membrane de 0.5 µm de diamètre. Le filtrat a été par la suite, récupéré et centrifugé à 4000 rpm à 20°C pendant 15 minutes à l'aide d'une centrifugeuse de marque Hettich (Universel 320 R) et le surnageant a été récupéré pour le dosage des constituants.

Les teneurs de la R-phycoérythrine des différents échantillons sont estimées par mesure de l'absorbance à 565 nm, longueur d'onde du maximum d'absorbance. La teneur en protéines solubles a été

déterminée par la méthode de Bradford (Bradford, 1976). La quantité de protéines Q ( $\text{mgg}^{-1}$  d'algue fraîche), que renferme chaque échantillon a été déterminée selon l'équation suivante :  $Q = 0.1 \cdot 20 \cdot C$ . C étant la concentration de protéines de l'échantillon. Les sucres hydrosolubles ont été déterminés par la méthode colorimétrique modifiée de Dubois *et al.* (1956). Les sucres simples, les oligosaccharides, les polysaccharides et leurs dérivés forment du furfural ou de l'hydroxyméthyl furfural lorsqu'on les traite avec du phénol et de l'acide sulfurique concentré. La réaction est sensible et la coloration orangée est stable. On peut ainsi doser les glucides totaux par spectrophotométrie (490 nm). La quantité de sucre Q' ( $\text{mgg}^{-1}$  d'algue fraîche) que renferme chaque échantillon a été déterminée selon l'équation suivante :  $Q' = 1 \cdot 20 \cdot C$ . C étant la concentration de sucres de l'échantillon.

Pour faciliter l'interprétation de la relation entre *Gracilaria* et la faune qui s'associe à leur thalle, il est nécessaire d'établir le taux de matière sèche (MS) de l'algue. Pour cela, 2 g d'algue fraîche coupé en morceaux de 3 mm sont mis à sécher à l'étuve durant une nuit à 60°C. La masse de l'algue est prise avant et après le séchage jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Le taux de MS est calculé selon qui suit :  $\% MS = (\text{Masse de l'échantillon après séchage}) / (\text{Masse de l'échantillon avant séchage}) \times 100$ .

#### Identification et analyse de la faune collectée

Après chaque pesée, les sacs contenant les touffes ont été numéroté afin de réaliser le traitement, la conservation, l'analyse et l'identification des animaux de chaque touffe. Les touffes numérotées ont été trempées chacune dans de petits réservoirs contenant de l'eau de mer. Ce trempage sert à récupérer la

majorité des individus qui se trouvent dans l'eau. Au bout d'un certain temps, *Gracilaria* a été retirée et l'eau a été filtrée sur un tamis de 0.3 mm de vide de maille. Cette opération a été répétée deux à trois fois, la majorité de la faune a été ainsi récupérée. Les individus restant attachés à l'algue ont été alors enlevés manuellement. Par la suite, les animaux récupérés ont été conservés dans des boîtes en plastique avec la présence du formol neutre à 1% pour analyse et identification. Plus tard, 20 g de chaque touffe de *G. gracilis* ont été prélevés, coupés, numérotés et conservés à - 20°C pour effectuer les analyses biochimiques.

La faune collectée, a été isolées sous loupe binoculaire modèle MOTIC ST-30 SERIES pour leur identification à l'aide des clés de détermination spécifiques. La faune prélevée de chaque corde passe par plusieurs étapes. La première étape concerne l'identification de la faune associée. En effet, pour analyser la structure taxonomique des peuplements, es données suivantes ont été obtenues :

embranchement, familles, genres et espèces. La détermination de ces données a été faite en se basant sur les clés de détermination de Fauvel (2007), Hibberd et Moore (2009). La seconde étape concerne le comptage des individus. En effet, le comptage des différents groupes zoologiques a été effectué sous loupe binoculaire. Pour certains individus ont s'est contenté d'un comptage ordinaire. La troisième étape est le dénombrement d'individus pour chaque embranchement et le pourcentage de chaque embranchement dans chaque corde a été déterminé.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### Les paramètres physicochimiques

Au cours de la période de culture, dans la lagune de Bizerte, la température moyenne de l'eau varie entre 17°C et 23°C (Figure 3). La salinité moyenne varie entre 34 ±0.40 psu et 35,4 ± 0.8 psu (Tableau I).

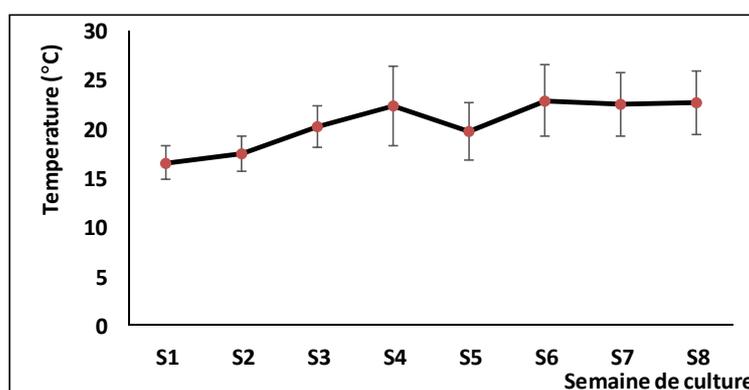


Figure 3: variation temporelle de la température (°C) des eaux de la lagune de Bizerte.

Tableau I: la salinité (psu) des eaux de la partie sud de la lagune de Bizerte en trois mois (avril, mai et juin).

Mois	avril	mai	juin
Salinité (psu)	34,6±0.4	35±0.60	35,4±0.8

A l'opposé, la vitesse du vent au niveau du site de culture montre une diminution significative (Figure 4). Elle passe de 55 Km<sup>h</sup><sup>-1</sup> à 25 Km<sup>h</sup><sup>-1</sup>. Cette variation est de l'ordre de 30 Km<sup>h</sup><sup>-1</sup>. La concentration de l'ammonium diminue d'une manière significative et elle passe de 94,40 µM au mois d'avril à 53,40 µM au mois juin (Figure 5). Quant aux nitrates, les formes les plus stables de l'azote inorganique dissous, leurs concentrations augmentent au cours de la période de culture et passent de 58,46 µM au mois d'Avril, à 105,68 µM au mois de juin (Figure 6).

La gamme de température enregistrée été globalement très proche de celle signalée par Béjaoui (2009) et Boufahja (2010) dans la lagune de Bizerte, Beyrem (1999) dans la lagune Ichkeul (août 1996) et par Mahmoudi (2003) dans Lagune de Ghar El Melh au cours de la même période. En ce qui concerne la salinité, les valeurs sont proches de celles de Béjaoui (2009) pour la même période, mais nettement inférieur à celles signalés par Boufahja (2010) dans le même milieu. La différence des résultats entre les auteurs pourrait être expliquée par l'effet des facteurs météorologiques qui varient d'une année à l'autre. En

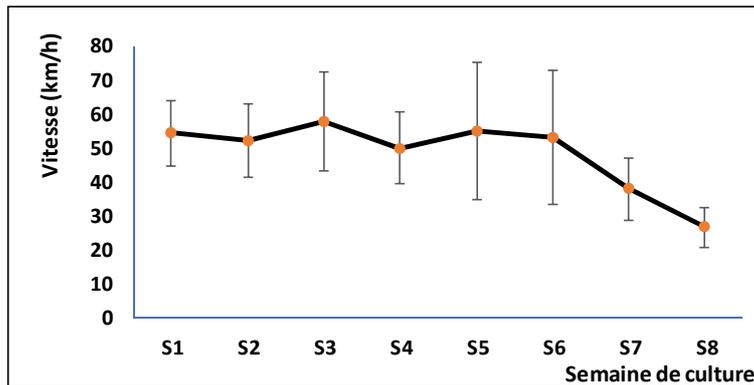


Figure 4: variation temporelle des vitesses de vent (Km/h) dans la lagune de Bizerte.

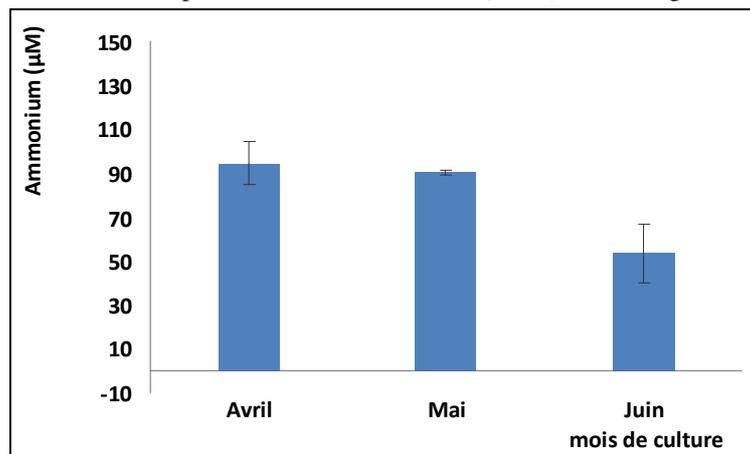


Figure 5: la concentration moyenne de l'ammonium ( $\mu\text{M}$ ) dans les eaux de la lagune de Bizerte d'avril à juin 2019.

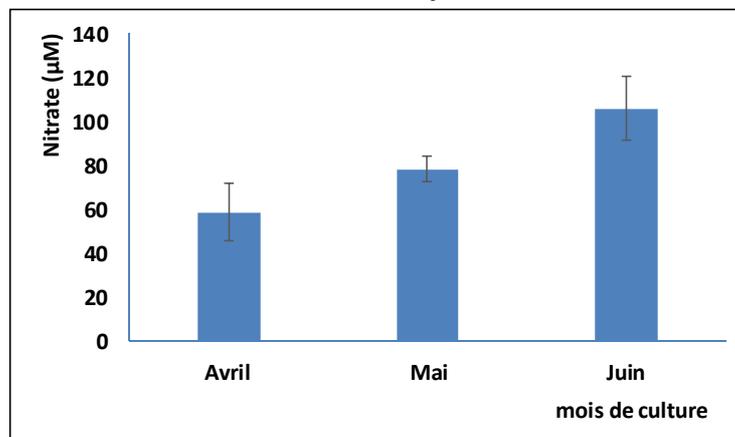


Figure 6: la concentration moyenne des nitrates (en  $\mu\text{M}$ ) dans les eaux de la lagune de Bizerte d'avril à juin 2019

effet, la lagune est sous influence de son bassin versant qui apporte une grande quantité d'eau douce d'une part et sous l'influence de la marée d'autre part. Ceci entraîne un brassage lent de la masse d'eau douce avec l'eau salée de la partie sud de la lagune, entraînant un dessalement des eaux (Mitchell et al., 2007). L'échange important de la lagune de Bizerte avec le méditerrané augmente la teneur en sel des eaux de la lagune. Cependant, il se produirait durant la période allant du mai à juin une incursion d'eaux

marines vers la lagune de Bizerte à cause de la rareté des précipitations et de la forte évaporation (Mitchell et al., 2007). De ce fait, les valeurs élevées de la température et de la salinité des eaux de surface de la lagune qui s'associent à des faibles marées et des vents, classiquement peu fréquents et peu intenses à la fin du mois de mai et au début de juin, confirment cette hypothèse.

En comparant les charges maximales en nitrates et ammonium, nos valeurs sont proches de celles

observées par Boufahja (2010) mais nettement plus élevées que celles relevées par Béjaoui (2009). Cette variation seraient liées d'une part aux charges polluantes contenues dans les eaux usées domestiques et dans les eaux de lessivage des terres agricoles (culture de blé et d'orge...) et d'autre part aux conditions climatiques. Selon Boufahja (2010) les précipitations augmentent le débit des rivières (l'oued de Guenniche) et des fleuves qui se déversent dans la lagune. De même, les eaux douces des pluies lessivent les terres et arrivent alors chargées en matière minérale (nitrate, phosphate et silicate). Par ailleurs, la dégradation et l'hydrolyse de ces produits chimiques par les bactéries peuvent enrichir les eaux en azote. Ce fait rend facile d'interpréter la concentration relativement élevée en ammonium relevée en avril (94,40  $\mu\text{M}$ ). Ces hypothèses s'accordent aussi avec les résultats de Mensi (2012) qui indique que les niveaux nutritifs (ammonium et orthophosphates) dans la lagune sont élevés. Généralement, les engrais phosphatés sont appliqués au cours de la préparation des sols (octobre et novembre) ; essentiellement pour la fertilisation des grandes cultures. Cependant, leur lessivage vers le milieu lagunaire se fait progressivement au cours du temps (De Marco et al. 2005 ; Marcovecchio et al. 2006).

#### **Croissance et composition biochimique du *Gracilaria gracilis***

Dans les eaux de la lagune de Bizerte, le TCS ( $\%j^{-1}$ ) enregistre une baisse significative en fonction du temps. Il passe de  $5,60 \pm 0,60\% j^{-1}$  au mois d'avril à  $2,55 \pm 0,60\% j^{-1}$  au mois de juin, avec une moyenne durant toute la période de culture de l'ordre de  $3,81 \pm 0,60\% j^{-1}$ . Une baisse sensible est observée entre le mois de mai et le mois de juin (figure 7). La variation de la teneur en sucres solubles (%) en fonction du temps est importante au cours de la période de culture (figure 8). La teneur la plus élevée a été enregistrée au mois de mai, qui est égale à 48,86 %, alors que la plus faible a été enregistrée au mois d'avril. En moyenne, la teneur en sucres solubles est de  $39,46 \pm 9,92 \text{ mgg}^{-1}$ . Quant à la teneur en protéines, la variation est peu importante entre avril et juin 2019, elle est de  $20,26 \pm 3,52\%$  (entre avril et mai) et  $21,92 \pm 1,74\%$  au mois de juin (figure 9). La teneur moyenne de la R-phycoérythrine, produite après 90

jours de culture varie entre 1,43 et 2,35  $\text{mg. g}^{-1}$  (figure 10).

Nos résultats sont supérieurs à ceux obtenus par Ksouri *et al.* (2006), Santelices et Doty (1989), Largo *et al.*, (1989) et Kim (1970). En effet, pour une durée de culture similaires, le TCS moyen de *G. gracilis* auquel a conduit notre étude est de l'ordre de  $5,60 \pm 0,5\% j^{-1}$  alors que pour celle de Ksouri *et al.* (2006) n'atteint pas le  $1\% j^{-1}$  ainsi que ceux mentionnés par Kim (1970) et Largo *et al.*, (1989) dont les valeurs varient de 4.29 à 4.95%  $j^{-1}$ . Par contre, nos résultats sont similaires à ceux de Ksouri *et al.* (2008) dans le même milieu et avec la même méthode de culture ( $4\% j^{-1}$ ). La différence entre les résultats pourrait être attribuer aux facteurs qui affectent la croissance de l'algue et qui sont la richesse du milieu en nutriment, la température et la salinité (Marinho-sorino *et al.*, 2006). Selon Yang *et al.* (2015) la plupart des espèces de *Gracilaria* se développent bien quand la température est supérieure ou égale à 20 °C. Dans notre étude l'algue s'est bien développée car la température a été favorable (17-23°C). Nos résultats concordent avec ceux de Mensi *et al.* (2012) qui montrent que *G. gracilis* s'est bien développé à une température comprise entre 15 et 26°C et qu'au-dessus de 30°C la croissance chute et il y a dégradation des thalles de l'algue. De même, nos résultats, sont proches de ceux mentionnés par Yang *et al.* (2015) pour *Gracilaria lemaneiformis* (12 à 23°C) et Ksouri *et al.* (2008) pour *G. gracilis*. La température et la salinité sont considérées comme deux facteurs fondamentaux de contrôle de la croissance saisonnière dont il est difficile de séparer leurs effets. L'algue *G. gracilis* semble capable de supporter une large gamme de variation des salinités (Cirik *et al.*, 2006). Les valeurs obtenues au cours de notre travail et qui sont comprises entre 34 et 35 psu, correspondent à celles signalées par Simonetti *et al.* (1970) et McLachlan et Bird (1985) et donne une croissance maximale. De même, une croissance optimale entre 25 et 42 psu avec des salinités comprises entre 5 et 23 psu sont obtenus par Cirik *et al.* (2010) et Simonetti *et al.*, (1970). Une nette diminution de la croissance avec des salinités qui varient entre 18 psu et 25 psu et une chute lorsque la salinité est inférieure à 15 psu (Munda 1978 ; Mensi et al. 2014).

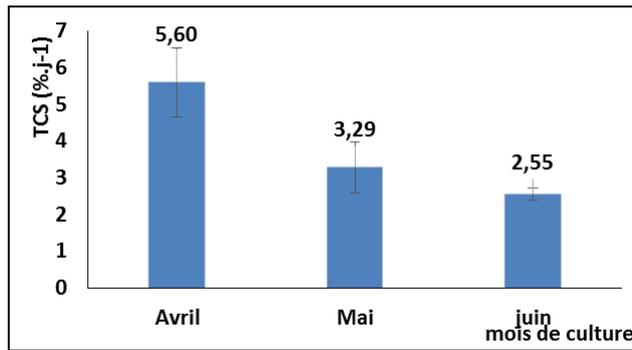


Figure 7: Le taux de croissance spécifique (TCS%·j<sup>-1</sup>) de *Gracilaria gracilis*

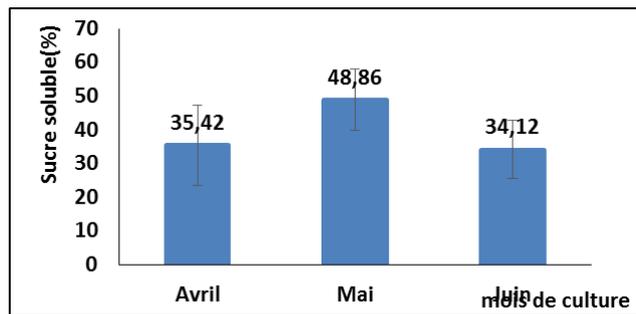


Figure 8: variation de la teneur en sucres solubles (%) de *Gracilaria verrucosa* d'avril à juin 2019.

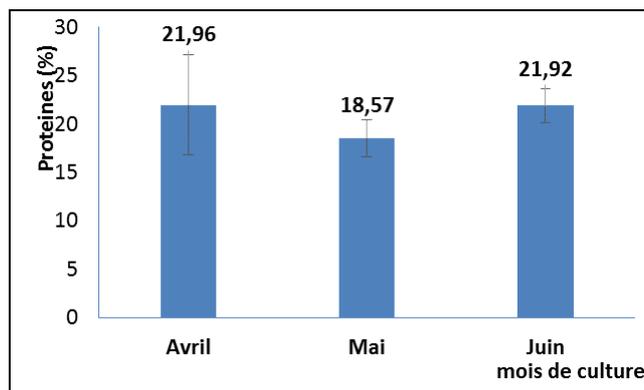


Figure 9: variation de la teneur en protéines (%) de *Gracilaria verrucosa* d'avril à juin 2019.

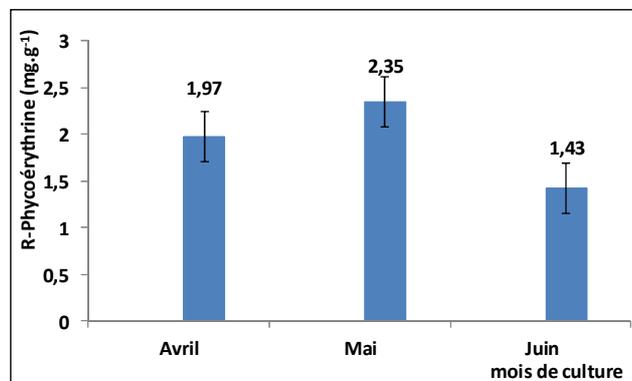


Figure 10: variation de la teneur en R-phycoérythrine (mg·g<sup>-1</sup>) de *Gracilaria gracilis* d'avril à juin 2019.

**Tableau II** : Gamme de tolérance de *Gracilaria* à la variation de la salinité.

	Bonne croissance	Croissance maximale	Croissance optimale	Chute de la croissance	Salinité létale
Munda (1978)				> 18 psu	5-15 psu
Mensi (2014)			25- 30 psu	> 25 psu	
McLachlan et Bird (1985)		>30 psu			
Simonetti <i>et al.</i> (1970)	5 à 23 psu	≥30 psu			
Cirik <i>et al.</i> (2010)			42 psu		

L'ensemble des éléments nutritifs constitue un facteur abiotique clé en relation avec les autres paramètres environnementaux, qui influencent la croissance des algues (Harrison et Hurd, 2001). Dans notre expérience avec des taux en ammonium et en nitrates respectivement de 94,40  $\mu\text{M}$  et de 58,46  $\mu\text{M}$  en avril, *G. gracilis* présente un TCS maximale. Cependant, lorsque les teneurs en  $\text{NH}_4^+$  diminuent et celles de  $\text{NO}_3^-$  augmentent, le TCS de *Gracilaria* chute. Nos résultats s'accordent avec ceux de Hanisak (1978) qui montre qu'un ajout continu de nutriments maximiserait la croissance. Dans notre étude, la chute progressive de la teneur en ammonium dans les eaux de la lagune entre avril et juin, est accompagné par une diminution du TCS. Ceci montre que *Gracilaria gracilis* a une nette préférence pour l'ammonium par rapport aux nitrates. Nos résultats concordent avec celles de Smit (2002) qui indique que cette préférence peut être expliquée par le fait que l'ammonium présente l'avantage sur les autres formes d'azote d'être assimilé sans réduction au préalable. De même la vitesse du vent qui diminue au cours de la période de culture et par conséquent la diminution de la turbidité de l'eau et du déplacement de la masse d'eau et par conséquent la croissance de l'algue qui est affectée. Ces observations sont en concordance avec celles de Mensi *et al.* (2014) qui montrent que le déplacement des masses d'eau et la turbulence provoquée par les vents sont d'importants facteurs susceptibles d'influencer l'absorption des éléments nutritifs et cela en augmentant la surface de contact des thalles, ce qui améliore la croissance et le développement de l'algue.

Le risque de pertes de touffes est un problème majeur auquel se heurte la culture de *Gracilaria* sur corde. Durant toute la période d'expérimentation, les pourcentages de perte des touffes sont 25%, 62,5% et 68,75% pour les mois d'avril, mai et juin respectivement. Ces valeurs sont similaires à celle de Ksouri *et al.*, (1999) qui indiquent une valeur de 54%. Cette valeur élevée pourrait être attribuer au fait que les thalles de *Gracilaria gracilis* étant fragiles, se détachent de la corde, sous l'effet mécanique de brassage par les mouvements de l'eau. Ces pertes sont aussi liées à des difficultés d'insertion des touffes sur les cordes (Ksouri *et al.*, 1999), à l'épiphytisme (Fletcher, 1995) et à la faune associée

contenant plusieurs groupes zoologiques exploitant le genre *Gracilaria* comme source de nourriture préférée (Anderson *et al.*, 1998 ; Smit *et al.*, 2003 ; Hansen *et al.*, 2006).

La concentration moyenne en sucres solubles est proche de celles enregistrée par Mensi *et al.* (2009) dans le même milieu ( $34,10 \pm 0,15$  % MS) avec la culture en mode suspendu de la même espèce mais elle est nettement supérieure à celle enregistrée par Nguyen (2017) sur la côte Atlantique ( $0,20 \pm 0,07$  % MS). La différence entre les résultats pourrait être due aux conditions hydrologiques du milieu ou liée aux conditions opératoires. Cependant, en remarque qu'il y a une relation claire entre la teneur en sucres solubles et la température de l'eau et la salinité ainsi qu'avec la teneur en nitrate. En effet, d'avril à mai lorsque la température, la salinité et la teneur en nitrate augmentent, la concentration en sucres solubles augmente. Nos résultats sont proches de ceux signalés par Burlot (2016) pour l'algue rouge *Solieria chordalis* qui montre des corrélations positives entre la teneur en sucres totaux et la température de l'eau ( $r = 0,49$ ,  $p < 0,1$ ) et la salinité ( $r = 0,47$ ,  $p < 0,1$ ).

Nos données sont proches de celles trouvées par d'autres auteurs pour la même espèce *Gracilaria gracilis* : 20-30 % MS (Mensi *et al.*, 2009), 21,3 % MS (Gómez-Ordóñez *et al.*, 2010), 25,4 % MS (Marsham *et al.*, 2007) et 26 - 30 % MS signalés par Sfriso *et al.* (1994) dans une partie polluée de la lagune de Venise en Italie. Par contre, les teneurs de protéine obtenues sont beaucoup plus importantes que celles enregistrées dans un milieu lagunaire peu pollué (Sfriso *et al.*, 1994) et dans des milieux ouverts pour d'autres espèces de *Gracilaria* (Wen *et al.*, 2006) et qui se situent entre 11 et 22%. La variabilité entre les résultats peut s'expliquer par différents facteurs à savoir la localisation géographique, les paramètres physico-chimiques et environnementaux des milieux de culture et la saison de récolte (Chye *et al.* 2017). Ceci est démontré par Cirik *et al.* (2010) qui indiquent que les pourcentages de protéines pour la culture de *Gracilaria verrucosa* sous serre varient selon les saisons. Les pourcentages les plus élevés de protéines ont été trouvés en décembre ( $20,28 \pm 0,94$  % MS) et les pourcentages les plus faibles ont été enregistrés en mars ( $14,99 \pm$

0.14% MS). De plus, l'hypothèse des effets des fluctuations des intensités lumineuses et des températures qui caractérisent la lagune de Bizerte durant la période de culture pourrait expliquer les fortes valeurs obtenues en protéines. En effet, Mensi *et al.* (2009) notent que l'augmentation de l'intensité lumineuse entraîne une augmentation de la teneur en protéines brutes.

Les fortes pluies qui ont marqué la lagune de Bizerte en avril pourraient aussi être à l'origine des fortes teneurs de protéines. Burlot (2016) indique que les fortes pluies peuvent entraîner les nutriments azotés comme le nitrate et l'ammonium. En effet, les protéines sont synthétisées à partir de l'azote que les algues prélèvent de leur milieu. Durant notre expérimentation, nous avons marqué de fortes teneurs en ammonium et en nitrate d'avril à mai (Figures 4 et 5). Ces observations s'accordent avec celles de Mensi *et al.*, (2009) qui trouvent que la variabilité entre les résultats pourrait être due à la teneur en ammonium du milieu qui est considéré comme étant un facteur limitant très important et qui affecte positivement les concentrations en protéines. Autrement dit, la concentration de protéines augmente avec l'élévation des concentrations en ammonium.

La teneur de l'algue en R-phycoerythrine est supérieure à celles signalées par Mensi *et al.* (2009) pour le même mode de culture en corde tendue de *G. gracilis* sur le rivage de Menzel Jemil dans la lagune de Bizerte pendant une durée de 35 jours ( $0.86 \pm 0.03 \text{ mg.g}^{-1}$ ). Cependant, elle est nettement inférieure à la valeur mentionnée par Francavilla *et al.* (2013) pour la même espèce de *G. verrucosa* ( $3,6-7 \text{ mg.g}^{-1}$ ). Selon le même auteur, dans le milieu naturel, la teneur en R-phycoerythrine des algues rouges varie au cours de l'année. Elle est maximale au printemps ; Une baisse sensible est observée à partir du mois de mai qui atteint un minimum à la fin du mois de juillet. Il

paraît que la variation de la teneur en RPE pourrait être liée aux plusieurs facteurs tels que la lumière, la température, les nutriments et le régime du courant d'eau. Selon Mensi *et al.* (2009), les facteurs abiotiques de milieu de culture, excepté la salinité, affectent négativement la teneur de la R-phycoérythrine du *G. gracilis*. Selon Bird (1982), Jing-Wen et Shuang-lin (2001), la forme et la concentration de l'azote dans le milieu ainsi que l'interaction de cet élément avec la lumière affectent les teneurs en R-phycoérythrine de certaines espèces de *Gracilaria*. Nguyen (2017) montre que la concentration en R-phycoérythrine est plus élevée en janvier qu'en octobre dont elle chute de plus de la moitié. Il explique cette baisse par une destruction de la phycoérythrine due à l'intensité de l'éclairage estival mais aussi due à une baisse de sa biosynthèse du fait de l'appauvrissement du milieu en ressources azotées et de l'augmentation de la température des eaux.

#### La faune associée au *Gracilaria gracilis*

Au cours de nos analyses et identification de la faune collectée à partir des touffes de *Gracilaria gracilis*, six groupes zoologiques ont été identifiés (Figure 11, 12 et 13). Ces groupes sont les crustacés amphipodes, les crustacés isopodes, les mollusques, les cnidaires, les annélides polychètes et les échinodermes. Les amphipodes sont moins fréquents en juin qu'en avril et mai alors que les autres groupes sont de plus en plus fréquents au cours du temps. Les fréquences des annélides et des échinodermes sont faibles au cours de la période de culture et ne dépassent pas les 2%. Les isopodes sont toujours les plus abondants, (65% et 77 % en avril et mai respectivement) suivis par les amphipodes (26% et 18% en avril et mai respectivement). Le groupe le moins important est celui des échinodermes (0,2 %). Les isopodes sont

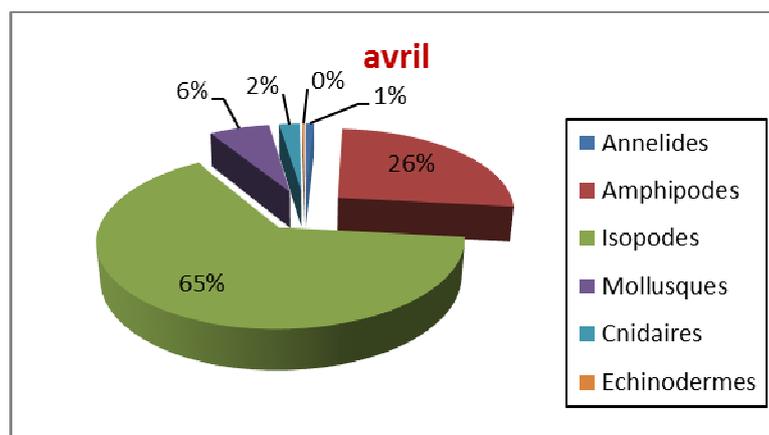


Figure 11: Fréquence des différents groupes rencontrés en avril 2019

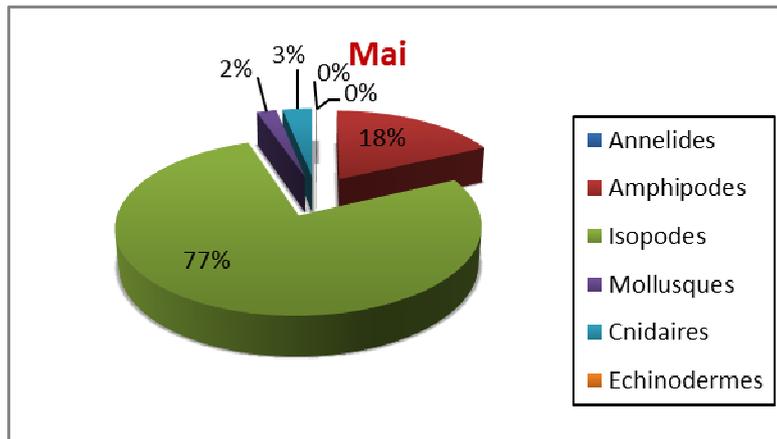


Figure 12: Fréquence des différents groupes rencontrés en mai 2019.

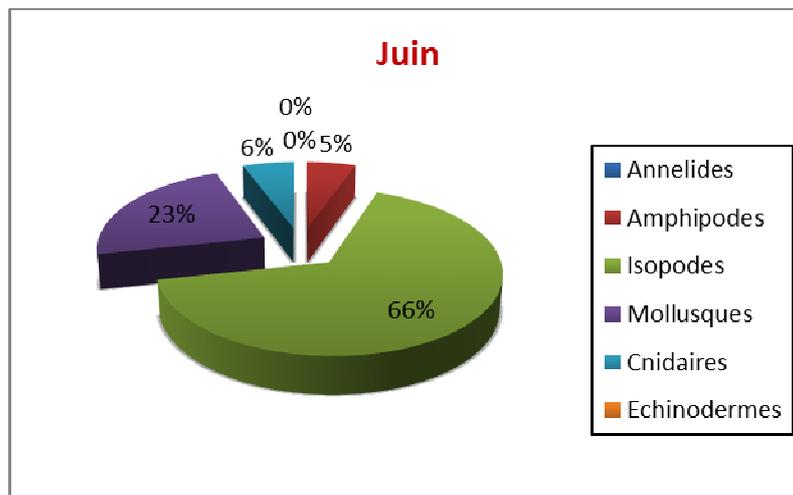


Figure 13 : Fréquence des différents groupes rencontrés en juin 2019.

dominés par les Idoteidae et les Sphaeromatidea. En juin (Figure 13), la fréquence des amphipodes collectés est beaucoup plus faible que celle estimée durant les autres mois (au printemps). En effet, on a récolté 86 individus avec un pourcentage de 5,36 %. L'étude des proportions globales relatives aux différents groupes dans les différentes périodes de prélèvement des cordes, met en évidence une dominance nette des isopodes (65 %, 77 % et 67 % pour le mois d'avril, mai et juin respectivement), suivis par les amphipodes, les mollusques, les cnidaires, les annélides et les échinodermes avec une très faible différence entre les fréquences des quatre derniers groupes durant les deux premiers mois. Ces herbivores qui vivent en association avec *Gracilaria* se reproduisent rapidement au milieu des algues cultivés et parviennent à constituer de véritables colonies (Perez, 1992). Nos résultats semblent être très voisins à ceux de Zaabar *et al.* (2017). Par ailleurs, Zaouali (1980) signale l'abondance des gammaridés et des Idoteidés dans l'infra littoral de la lagune de Bizerte. Dans notre étude, l'espèce *Idotea balthica* est toujours la plus dominante durant les trois mois. Nos résultats sont en concordance avec

ceux d'Afli *et al.* (2009) qui indiquent que l'isopode *Idotea balthica* est l'espèce la plus dominante, en particulier au printemps et au début de l'été, et qui utilise *Gracilaria* sp. Comme habitat. De même, nos résultats sont proches de ceux de Mancinelli et Rossi (2001) qui ont signalé la dominance des isopodes (*Idotea balthica*), des gammaridés (*Gammarus insensibilis*) et des bivalves qui représentaient ensemble  $91,1 \pm 2,8\%$  des organismes échantillonnés sur les thalles de *Gracilaria verrucosa* dans la Lagune de Lesina.

Concernant les amphipodes, nos résultats sont similaires à ceux de Fukunaga *et al.* (2014) qui ont montré que leur nombre diminue suite à la diminution de la biomasse de *Gracilaria* et qui pourrait être due à leur comportement alimentaire en tant que brouteur. Les isopodes sont toujours les plus abondants durant les trois mois. Molloy (1992) a également trouvé d'importants isopodes associés à *G. gracilis* dans la lagune de Luderitz en Namibie, où elles représentaient plus de 20% du poids total de l'échantillon au cours de l'été. Quant aux mollusques et cnidaires, leurs fréquences augmentent respectivement de 6,40 % et 2,17 % (à mai) à 22,69

% et 5,67 % (en juin), alors que les annélides et les échinodermes ont totalement disparus vers la fin du mois de juin.

Les augmentations en nombres des mollusques, des cnidaires et des isopodes durant le mois de juin pourraient être liées au cycle vital des taxons considérés et aux fluctuations des conditions environnementales qui agissent sur les préférences écologiques de ces groupes (Dufour *et al.*, 2007). Cependant, ces facteurs biotiques ne dépendent pas forcément du mois de l'année ou encore de l'heure de la journée, bien que des études ont mis en évidence des interactions entre les facteurs biotiques et abiotiques (Vásquez et Alonso Vega 2001 ; Vairappan 2006). Par exemple dans notre étude, en juin, en présence de lumière et à des températures extrêmes, la rhodophyte *Gracilaria gracilis* blanchit et se décompose. Durant cette période, beaucoup d'herbivores à savoir les isopodes, les mollusques et les cnidaires ont été observés. Au cours du temps, ces invertébrés marins se nourrissant des épiphytes et d'algues sont alors plus nombreux. Cependant, dans

notre expérience, des signes de pâturage ont été marqués sur les thalles. Selon James *et al.* (1986), ces herbivores se rassemblent autour des algues pour se nourrir ou s'abriter, ou les deux. En ce qui concerne les amphipodes leurs nombres diminuaient avec la diminution de la biomasse de *Gracilaria*. Une telle différence de nombre des amphipodes pourrait être due à leur comportement alimentaire en tant que brouteur ou à leur cycle de vie. Il est plus difficile de prévoir l'impact de cette faune sur le TCS. Leur étude nécessite des observations sur le long terme, aussi bien sur le terrain qu'en laboratoire.

#### Interaction *Gracilaria gracilis* et faune associée

Pour étudier l'interaction faune associée et *G.gracilis*, nous avons choisi de focaliser notre étude sur l'isopode (*Idotea balthica*) et l'amphipode (*Gammarus* sp.), les espèces les plus abondants dans nos échantillons. D'après le tableau III, on remarque des corrélations positives surtout en mai et en juin entre le nombre d'isopode (*Idotea balthica*) et les différentes réponses étudiées.

**Tableau III :** Les Coefficients de corrélation entre le nombre de l'isopode (*Idotea balthica*) et les différentes réponses étudiées à savoir le poids des touffes, le taux de croissance spécifique (TCS), la teneur en matière sèche (MS), le sucre soluble, les protéines et la R-phycoérythrine (RPE) au cours de la période d'étude (avril, mai et juin)

	Poids (kg)	TCS (% j <sup>-1</sup> )	MS (%)	Sucre (%)	Protéines (%)	RPE (mg.g <sup>-1</sup> )
<b>avril</b>	0,22	0,30	-0,03		-0,04	0,22
<b>mai</b>	0,66	0,66	0,91	0,21	0,49	0,35
<b>juin</b>	0,35	0,34	0,58	-0,06	0,57	0,54

En effet, le coefficient de corrélation le plus important a été marqué en mai pour toutes les réponses sauf la RPE et les protéines qui montrent des relations positives importantes avec le nombre d'isopode en juin. De plus le nombre d'isopode est corrélé négativement avec la teneur en matière sèche et les protéines en avril et avec le sucre en juin. Cependant, le nombre de l'espèce *Idotea balthica* est corrélé positivement à la fois avec le poids des touffes ( $r=0,66$ ), le taux de croissance spécifique ( $r=0,66$ ) et la teneur en MS de *G. gracilis* ( $r=0,91$ ) en mai. On remarque que l'augmentation du nombre

d'isopode est liée aux TCS et à la teneur en matière sèche. En effet, le nombre d'isopode le plus élevé est mentionné au mois de mai où le TCS et la biomasse de *Gracilaria* sont optimales. Le nombre d'isopode est corrélé positivement à la fois avec les teneurs en protéines (0,57) et en R-phycoérythrine (0,54) en juin, mais de moindre mesure avec le sucre (0,21) en mai. En ce qui concerne le nombre d'amphipode (*Gammarus* sp) est corrélé positivement avec le poids des touffes ( $r= 0,81$ ), le TCS ( $r= 0,73$ ), la teneur en MS ( $r= 0,71$ ), les protéines ( $r= 0,84$ ) et avec la R-phycoérythrine ( $r= 0,45$ ) en mai (tableau IV).

**Tableau IV :** Les coefficients de corrélation entre le nombre de l'amphipode (*Gammarus* sp.) et les différentes réponses étudiées à savoir le poids des touffes, le taux de croissance spécifique (TCS), la teneur en matière sèche (MS), le sucre soluble, les protéines et la R-phycoérythrine (RPE) au cours de la période d'étude (avril, mai et juin).

	Poids (kg)	TCS (% j <sup>-1</sup> )	MS (%)	Sucre (%)	Protéines (%)	RPE (mg.g <sup>-1</sup> )
<b>avril</b>	-0,20	-0,18	0,09		0,63	0,43
<b>mai</b>	0,81	0,73	0,71	-0,04	0,84	0,45
<b>juin</b>	0,08	-0,03	0,07	0,23	-0,09	0,05

Par exemple, le nombre d'amphipode est corrélé négativement à la fois avec le poids ( $r=-0,20$ ) et le TCS ( $r=-0,18$ ) en avril, alors qu'il est corrélé positivement avec le poids des touffes, la RPE et la MS au mois de juin.

Nos résultats sont proches de ceux signalés par Zaabar *et al.* (2017) qui ont montré une relation positive entre l'abondance de l'espèce *Idotea balthica* et la biomasse de *Gracilaria bursa-pastoris* dans la lagune de Bizerte. En effet, plus les touffes sont riches en protéines, sucres et vif, plus le nombre d'isopode attiré à l'algue est élevé. Les isopodes s'associent donc au *G.gracilis* soit pour se mettre à l'abri et/ou pour se nourrir. Selon Smit *et al.* (2003) et Cruz-Rivera et Hay (2001), les isopodes préfèrent *G.gracilis* comme source de nourriture et choisissent de manière sélective les différentes parties du thalle de l'algue. Cependant, *Idotea balthica* préfère les branches apicales riches en sucres solubles. Selon Smit *et al.* (2003) et Kraufvelin *et al.* (2006), cette préférence pour les branches latérales est probablement due à la différence de ténacité entre les branches latérales et l'axe principal ou bien aux concentrations tissulaires d'azote (N) et par conséquent à la teneur en protéine. Quant aux amphipodes, d'après nos résultats, nous pouvons dire que *Gammarus* sp. a bien proliféré dans la zone de culture au mois de mai lorsque le poids des touffes augmente et l'algue devient riche en nutriment (protéines et sucres solubles). Nos résultats concordent avec ceux de Fukunaga *et al.* (2014) qui montrent que l'abondance totale des amphipodes est significativement corrélée à la fois avec la biomasse de *Gracilaria salicornia*, le volume du thalle et sa qualité nutritionnelle. Du fait que *Gracilaria* ne contient aucun moyen de défense chimique connu contre les herbivores (Paul *et al.*, 2001; Amsler, 2009), la qualité nutritionnelle est probablement un indice important pour les brouteurs. Cependant, ces organismes sont connus comme d'important consommateurs de macroalgues (Hayward et Ryland, 2002). Ainsi, ils peuvent choisir les aliments en se basant sur des indices chimiques (nutrition) et/ou sur la morphologie des macroalgues (Heckscher *et al.*, 1996). Dans notre étude, le nombre de *Gammarus* sp. est corrélé positivement à la fois avec la teneur en protéines, la teneur en RPE et la teneur en sucre soluble. Nos résultats concordent avec ceux de Galàn Jiménez *et al.* (1996) qui montrent que la sélection des aliments par les amphipodes est clairement corrélée à la teneur en azote et que l'amphipode *Gammarus mucronatus* a montré une préférence significative pour *G. tikvahiae* même lorsque les différences de teneur en N est aussi faibles que 0,7%. Enfin, plus le TCS, la MS, les protéines et les sucres solubles sont importants, plus le nombre d'amphipode est élevé. Toutefois, *Gammarus* sp. vive souvent dans les macroalgues qu'ils consomment et

les considèrent à la fois comme habitat et source d'alimentation (Hay *et al.*, 1988).

Dans la lagune de Bizerte, l'algue rouge *Gracilaria gracilis* est utilisée comme source de nourriture et d'habitat pour les communautés faunistiques. Cependant, sa faune associée est largement dominée par les crustacés isopodes (*Idotea balthica*) et les crustacés amphipodes (*Gammarus* sp.). Ainsi, chaque récolte de *G. gracilis*, pourrait entraîner la perturbation des assemblages faunistiques, ce qui génère des perturbations au niveau de la biodiversité, en particulier celle des isopodes et amphipodes. Peu d'efforts ont été consacrés à l'étude de l'interaction entre des méthodes de récolte et de la culture de cette algue et sa faune associée dans la lagune de Bizerte. Il en ressort qu'il faudrait approfondir les connaissances sur l'abondance des espèces faunistiques associées aux algues et développer des méthodes de culture sans toucher la diversité biologique en générale et faunistique en particulier. À terme, ces informations seront indispensables pour anticiper les changements causés par la culture de cette algue sur sa faune. Cependant, afin d'éviter la destruction du cycle de vie de ces animaux, une stratégie de récolte de ces algues, dite écoresponsable doit être employée. En fait, nous suggérons qu'à la fin du mois de mai, période où les touffes atteignent le maximum de prolifération, nous procédons à la collecte d'une partie de touffes. Ainsi nous conservons la faune vivante établie au sein des Gracilaires et nous maintenons l'équilibre faune-algue dans la lagune.

## BIBLIOGRAPHIE

- Afli A., Boufahja F., Sadraoui S., Ben Mustpha K., Aissa P. & Mrabet R. (2009). Functional organization of the benthic macrofauna in the Bizerte lagoon (Mediterranean Sea), semi-enclosed area subject to strong environmental/anthropogenic variations. *Cahiers de Biologie Marine* 50 :105-117.
- Amsler C. D. (2009). Algal chemical ecology. 1, Springer-Verlag; Berlin.
- Anderson B. C., Smit A. J. & Bolton J. J. (1998). Differential grazing effects by isopods on *Gracilaria gracilis* and epiphytic *Ceramium diaphanum* in suspended raft culture. Botany Department, University of Cape Town, 7800 Rondebosch, South Africa, *Aquaculture*. 169:99–109.
- Ben Said R., Mensi F., Majdoub H., Ben Said A. & Ben Said B. (2018). Effects of depth and initial fragment weights of *Gracilaria gracilis* on the growth, agar yield, quality, and biochemical composition. *Journal of Applied phycology* 30:2499–2512.

- Bird K. T. (1982). Nitrogen allocation and storage patterns in *Gracilaria Tikvahiae* (Rhodophyta). *Journal of Phycology* 18:344-348.
- Burlot A. S. (2016). Valorisation des métabolites d'algues proliférantes par voie enzymatique: applications dans les domaines de la nutrition et santé animale, végétale et humaine, de la cosmétique et de l'environnement (Doctoral dissertation, Université de Bretagne Sud).
- Chye F. Y., Padam B. S. & Ng S. Y. (2017). Innovation and Sustainable Utilization of Seaweeds as Health Foods. Sustainability Challenges in the Agrofood Sector, 390 p.
- Cirik Ş., Çetin Z., Ak İ., Cirik S. & Göksan T. (2010). Greenhouse cultivation of *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss and determination of chemical composition. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 4:559-564.
- Cirik S., Turan G., Ak I. & Koru E. (2006). *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta) culture in Turkey. International conference on coastal oceanographic sustainable marine aquaculture. 2-4 May, Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia, pp 154-157.
- Cruz-Rivera E. & Hay M. E. (2001). Macroalgal traits and the feeding and fitness of an herbivorous amphipod: the roles of selectivity, mixing, and compensation. *Marine Ecology Progress Series* 218:249-266
- Dubois M., Gilles K. A., Hamilton J., KRebers P. A. & Smith F. (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical chemistry*. (28), 350-356.
- Dufour C. M., Engels N. M. & Burns C. W. (2007). Distribution, substrate preference and habitat enhancement of the isopod *Austridotea lacustris* in Tomahawk Lagoon, Otago, New Zealand. *Journal of Marine and Freshwater Research* 41:299-307.
- F.A.O. (2018). The state of world fisheries and aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals (Rome).
- Fauvel P. (2007). Faune de France : Polychètes errantes. www.fauvedefrance.org
- Fletcher R. L. (1995). Epiphytism and fouling in *Gracilaria* cultivation: an overview. *Journal of applied phycology* 7:325-333.
- Françavilla M., Franchi M., Monteleone M. & Caroppo C. (2013). The red seaweed *Gracilaria gracilis* as a multi products source. *Mar Drugs* 11:3754-3776.
- Fukunaga A., Peyton K. A. & Thomas F. I. M. (2014). Epifaunal community structure and ammonium uptake compared for the invasive algae, *Gracilaria salicornia* and *Acanthophora specifera*, and the native alga, *Padina thivyi*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 456:78-86.
- Galàn Jiménez E., Hauxwell J., Heckscher E., Rietsma C. & Valiela I. (1996). Selection of Nitrogen-Enriched Macroalgae (*Cladophora vagabunda* and *Gracilaria tikvahiae*) by the Herbivorous Amphipod *Microdeutopus gryllotalpa*. *Biological Bulletin* 191:323-324.
- Gómez-Ordóñez E., Jiménez-Escrig A. & Rupérez P. (2010). Dietary fibre and physicochemical properties of several edible seaweeds from the north-western Spanish coast. *Food Research International* 43:2289-2294.
- González M. L., Pérez M. C., López D. A. & Pino C.A. (1993). Effects of algal diet on the energy available for growth of juvenile sea urchins *Loxechinus albus* (Molina, 1782). *Aquaculture* 115:87-95.
- Guiry W. (2013). In M. D. Guiry, & G. M. Guiry (Eds.), *AlgaeBase*. Galway: World-wide electronic publication, National University of Ireland. <http://www.algaebase.org>.
- Hanisak M. D. & Harlin M. M. (1978). Uptake of inorganic nitrogen by codium fragile subsp. Tomentosoides (chlorophyta) 1. *Journal of Phycology* 14:450-454.
- Hansen J. P., Robertson-Andersson D. & Troell M. (2006). Control of the herbivorous gastropod *Fissurellamut abilis* (Sow.) in a land-based integrated abalone-seaweed culture. *Aquaculture* 255:384-388.
- Harrison P. J. & Hurd C. L. (2001). Nutrient physiology of seaweeds: application of concepts to aquaculture. *Cahiers de Biologie Marine*, pp 1-2.
- Hay M. E., Renaud P. E. & Fenical W. (1988). Large mobile versus small sedentary herbivores and their resistance to seaweed chemical defenses. University of North Carolina at Chapel Hill, Institute of Marine Sciences, Morehead City, NC 28557, USA, pp 246- 252.
- Hayward P. J. & Ryland J. S. (2002). Handbook of the marine fauna of North-West Europe. Oxford University Press, Oxford.
- Heckscher E., Hauxwell J., Jiménez E. G., Rietsma C. & Valiela I. (1996). Selectivity by the Herbivorous Amphipod *Microdeutopusgryllotalpa* Among Five Species of Macroalgae. *Biological Bulletin* 191:324-326.
- Hibberd T. & Moore K. (2009). Field identification guide to Heard Island and McDonalds Islands benthic invertebrates: A guide for scientific observers aboard fishing vessels. Australian Government, Fisheries Research and Development Corporation.
- James P. S. B. R., Krishnamurthy Chennuhotla V. S. & Rodrigo J. X. (1986). Studies on The Fauna

- Associated with The Cultured Seaweed *Gracilaria Edulis*. *Coastal Aquaculture* 4:1193-1198.
- Jing-Wen L. & Shuang-lin D. (2001). Comparative studies on utilizing nitrogen capacity between two macroalgae *Gracilaria tenuistipitata* var *liui* (rhodophyta) and *Ulva pertusa* (chlorophyta) I. Nitrogen storage under nitrogen enrichment and starvation. *Journal of Environmental Sciences*. 13:318-322.
- Kim D. H. (1970). Economically Important Seaweeds, in Chile-I *Gracilaria*. *Botanica Marina* 13:140-162.
- Kraufvelin P., Salovius S., Christie H., Moy F., Karez R. & Pedersen M. F. (2006). Eutrophication-induced changes in benthic algae affect the behavior and fitness of the marine amphipod *Gammarus locusta*. *Aquatic Botany* 84 :199–209.
- Ksouri J. & Ben Said R. (1998). Potentialités en macroalgues: Cartographie et biomasse de l'agorophyte *Gracilaria* dans le lac Bizerte. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*. 25 :17 – 34.
- Ksouri J., Ben Said R. & Beji O. (1997). Évaluation des potentialités quantitatives naturelles des gracilaires (algues rouges) du lac nord de Tunis. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô* 24:15-27.
- Ksouri J., Ben Said R. & Pellegrini M. (1999). Résultats des cultures expérimentales de la rhodophycée *Gracilaria verrucosa* papenfuss dans le lac Bizerte, Tunisie septentrionale. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*. 26:113-127.
- Ksouri J., Ben Said R. & Beji O., (1996). Cartographie des peuplements de la macroalgue *Gracilaria* (Gigartinales, Gracilaires) dans le lac Nord de Tunis. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*. 23:55-72.
- Ksouri J., Ben Said R., Guerbej H., Zaafrane S., Maatouk K., Sammari C. & Limayem Y. (1998). Potentialités en macroalgues : Cartographie et biomasse de l'agorophyte *Gracilaria* dans le lac Bizerte. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*. 25 :17-34.
- Ksouri J., Challougui I. & Mensi F. (2008). Culture en conditions optimisées de la macroalgue rouge <*Gracilaria gracilis*> (stackhouse) steentofr *et al.* dans le lac de Bizerte. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*. 35:61-67
- Ksouri J., Mensi F. & Sahli-Hamza K. (2006). Evaluation de la capacité régénératrice de l'algue rouge *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss du lac de Bizerte (Tunisie septentrionale). *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*. 33:59 – 68.
- Ksouri J., Mensi F., Ben Saïd R. (2000). Ajustement de certains paramètres de culture par bouturage de *Gracilaria verrucosa* (algue rouge), Hudson papenfuss, dans le lac de Bizerte. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*. 27:69 – 74.
- Largo D. B., Bacolod T., Primitivo V., Cusi M. A., Orosco C. & Ohno M. (1989). Growth Rate of *Gracilaria verrucosa* and *Gracilaria salicornia* (Gracilariales, Rhodophyta) in an Intertidal and semi-enclosed Pond System in the Visayas, Philippines. *Bulletin of Marine Science and Fisheries* 11:95-100.
- Lewis FG (1984) Distribution of macrobenthic crustaceans associated with *Thalassia*, *Halodule* and bare sand substrata. *Marine Ecology Progress Series* 19:101–113
- Mancinelli G. & Rossi L. (2001). Indirect, size-dependent effects of crustacean mesograzers on the Rhodophyta *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss: evidence from a short-term study in the Lesina Lagoon (Italy). *Marine Biology*. 138:1163-1173.
- Marinho-Soriano E. & Bourret E. (2003). Effects of season on the yield and quality of agar from *Gracilaria* species (Gracilariaceae, Rhodophyta)". *Bioresource Technology* 90:329-333.
- Marinho-Soriano E., Fonseca P. C., Carneiro M. A. A. & Moreira W. S. C. (2006). Seasonal variation in the chemical composition of two tropical seaweeds. *Bioresource Technology*. 97:2402-2406.
- Marshall S., Scott G. W. & Tobin M. L. (2007). Comparison of nutritive chemistry of a range of temperate seaweeds. *Food chemistry*. (100), 1331-1336.
- McLachlan J. & Bird C. J. (1986). *Gracilaria* (Gigartinales, Rhodophyta) and productivity, *Aquatic Botany* 26:27–49.
- Mensi F., Ksouri J., Hammami W. & Romdhane M. S. (2009). L'algue rouge *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss de la lagune de Bizerte (Tunisie septentrionale) : essai de culture en mode suspendu et composition biochimique. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô* 36 :125-137.

- Mensi F., Ksouri J., Hammami W. & Romdhane M. S. (2010). Choix du site de culture de l'algue rouge *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss dans la lagune de Bizerte : caractéristiques physicochimiques de l'eau. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô* 37:133-144.
- Mensi F., Ksouri J., Hammami W. & Romdhane M. S. (2014). Etat de connaissances et perspectives de recherches sur la culture de Gracilariales (*Gracilaria* et *Gracilariopsis*): Application de la lagune de Bizerte. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*, 41 :101-119.
- Molloy F. J. (1992). Studies on the Ecology and Production of Seaweeds of Economic and Potential Economic Importance on the Namibian Coast. *PhD Thesis*. University of Cape Town, South Africa, 252 p.
- Munda I. (1978). Salinity dependent distribution of benthic algae in estuarine areas of Icelandic fjords. *Botanica Marina* 21:451-468.
- Nguyen H. P. T. (2017). Optimisation du procédé d'hydrolyse enzymatique appliqué à l'extraction du pigment rouge, la R-phycoérythrine à partir de *Mastocarpus stellatus* et *Gracilaria gracilis*. These de Doctorat, Nantes.
- Nicotri M. E. (1977). The impact of crustacean herbivores on cultured seaweed populations. *Aquaculture*. (12), 127-136.
- Paul V. J., Cruz-Rivera E. & Thacker R. W. (2001). Chemical mediation of macroalgal-herbivore interactions: ecological and evolutionary perspectives. In: McClintock, J.; Baker, B., editors. *Marine Chemical Ecology*. CRC Press, LLC, pp 227-265.
- Pérez R. (1997). Ces algues qui nous entourent. Conception actuelle, rôle dans la biosphère, Utilisations, culture. *Édition Ifremer*, Plouzané, 250 p.
- Pérez, R. (1992). La culture des algues marines dans le monde, Brest, IFREMER.
- Santelices B. & Doty M. S. (1989). A review of *Gracilaria* farming. *Aquaculture*. 78:95-133.
- Sfriso A., Marcomini A. & Pavoni B. (1994). *Gracilaria* distribution, production and composition in the lagoon of Venice. *Bioresource technology*. 50:165-173.
- Shacklock P. F. & Doyle R. W. (1983). Control of epiphytes in seaweed cultures using grazers. *Aquaculture* 31:141-151.
- Simonetti G., Giaccone G. & Pignatti S. (1970). The seaweed *Gracilaria confervoides*, an important object for an ecologic and cultivation research in the northern Adriatic Sea. *Helgolander wiss. Meeresunters* 20:89-96.
- Smit A. J., Fourie A. M., Robertson B. L. & du Preez D. R. (2003). Control of the herbivorous isopod, *Paridotea reticulata*, in *Gracilaria gracilis* tank cultures. *Aquaculture* 217:385-393.
- Vairappan C. S. (2006). Seasonal occurrences of epiphytic algae on the commercially cultivated red algae *Kappaphycus alvarezii* (Solieriaceae, Gigartinales, Rhodophyta). In: Eighteenth International Seaweed Symposium. *Springer Netherlands*, Dordrecht, pp 385-391.
- Vásquez J. A. & Alonso Vega J. M. (2001). *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) in northern Chile: ecological aspects for management of wild populations. *Journal of Applied Phycology* 13:267-277.
- Viana G. S. B., Freitas A. L. P., Lima M. M. L., Vieira L. A. P., Andrade M. C. H. & Benevides N. M. B. (2002). Antinociceptive activity of sulfated carbohydrates from the red algae *Bryothamnion seaforthii* (Thurner) Kütz. and *B. triquetrum* (S.G. Gmel.) M. Howe. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 6:713-722.
- Wen X., Peng C., Zhou H., Lin Z., Lin G., Chen S. & Li P. (2006). Nutritional composition and assessment of *Gracilaria lemaneiformis* Bory. *Journal of Integrative Plant Biology*. 48:1047-1053.
- Yang Y., Chai Z., Wang Q., Chen W., He Z. & Jiang S. (2015). Cultivation of seaweed *Gracilaria* in Chinese coastal waters and its contribution to environmental improvements. *Algal research* 9:236-244.
- Zaabar W., Charfi-Cheikhrouha F. & Achouri M. S. (2017). The Influence of Environmental Factors on the Population Structure and Reproductive Biology of *Idotea balthica basteri* (Isopoda, Valvifera) of the Bizerte Lagoon (Northern Tunisia). *Open Journal of Ecology* 6 :206-218.
- Zaouali J. (1980). Flore et faune benthiques de deux lagunes tunisiennes : le lac de Bizerte, Tunisie septentrionale et la Mer de Bou Grara, Tunisie méridionale. *Bulletin de l'office National des Pêches* 4:169-200.