République Tunisienne

ISSN 0330-0080

BULLETIN DE L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LA MER DE SALAMMBÔ

Volume 41, 2014
Édité depuis 1924

LE BULLETIN DE L'INSTM

Le Bulletin de l'INSTM de Salammbô fait suite au Bulletin de l'INSTOP et au Bulletin S.O.S. édité depuis 1924. C'est une revue annuelle consacrée aux études relatives au milieu aquatique en général et à la mer Méditerranée en particulier et couvrant des domaines divers : biologie, écologie, géologie, physique, chimie, pollution, pêche, aquaculture, économie…

Ce périodique publie des résultats originaux de recherche, des synthèses thématiques, des notes, des actes de manifestations scientifiques, des analyses d'ouvrages…

Tout article proposé pour publication dans le Bulletin de l'INSTM doit répondre aux conditions suivantes :

- Ne pas être soumis auparavant à aucun autre périodique.
- Tenir compte strictement des directives présentées dans les « instructions aux auteurs » et sur le site **www.instm.rnrt.tn**

Les manuscrits sont adressés à :

Monsieur le Directeur Général de l'Institut
National des Sciences et Technologies de la Mer
28, rue 2 mars 1924
2025 Salammbô
(Tunisie)
Tel : 71 730 548 / 71 730 420 Fax : 71 732 622

Directeur de la revue : Hechmi MISSAOUI
Rédacteur en chef : Mohamed Hédi KTARI
Rédacteur : Mohamed Mejdeddine KRAIEM
Secrétaire de la revue : Noureddine BEN MAHMOUD

Comité de parrainage international

A. BERRAHOU (Maroc)
Ch. CAPAPE (France)
N.SOLTANI (Algérie)
P. CONSTANTINO (Grèce)
H. FARRUGIO (France)
A. GARCIA (Espagne)
V. KOUTITONSKY (Canada)
C. MILLOT (France)
P. NIVAL (France)
E. OZHAN (Turquie)
J. PELLERIN (Canada)
J.P. QUIGNARD (France)
P. ELIE (France)

Comité de lecture

Ont contribué à ce numéro :

A. AFLI (INSTM Salammbô)
S. BEN MERIEM (INSTM La Goulette)
K. BEN MUSTAPHA (INSTM Salammbô)
J. BEN SOUISSI (INAT)
M.N. BRADAI (INSTM Sfax)
M. BRAHIM (INSTM Salammbô)
Ch. CAPAPE (Université Montpellier - FRANCE)
Ch. DAMERGI (INAT)
M. EL BOUR (INSTM Salammbô)
A. HARZALLAH (INSTM Monastir)
M.M. KRAIEM (INSTM Salammbô)
L. KTARI (INSTM KHEREDDINE)
M.H. KTARI (Fac. Sc. Tunis)
K. LEMARCHAND (Université du Québec à Rimouski - UQAR)
F. MENSI (INSTM Khéereddine)
H. MISSAOUI (INSTM Salammbô)
M. MOUSSA (ENIT Tunis)
M.S. ROMDHANE (INAT)
M. VERLAQUE (Université de la Méditerranée – Marseille)
N. ZAMMOURI (INSTM La Goulette)

♦ **Le Bulletin de l'INSTM est indexé dans ASFA.**

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Présentation du manuscrit

Le manuscrit doit être tapé en double interligne avec une marge de 3cm au recto seulement de feuilles de format A4 paginées. Les articles peuvent être rédigés en anglais, en français ou en arabe et doivent comporter : un titre, deux résumés rédigés dans deux langues autres que le texte, des mots clés et un texte.

- **Le titre :** Libellé en majuscule sera accompagné du nom et du prénom des auteurs, de leurs adresses, et si possible d'un numéro de fax ou d'adresse électronique pour toute communication éventuelle.
- **Le résumé :** Rédigé d'une manière claire et concise afin d'être reproduit tel quel dans les banques de données internationales. Il doit mettre en évidence les principaux résultats et les conclusions. Abréviations et références sont à exclure.
- **Les mots clés :** mentionnés à la suite du résumé, doivent refléter les objectifs principaux de l'étude.

Titre, résumé et mots clés seront présentés dans trois langues : Anglais, Français et Arabe.

- **Le texte :** doit être écrit correctement (style, synthèse, ponctuation) et structuré selon le plan suivant : introduction, matériel et méthodes, résultats, discussion, conclusion, remerciement s'il y a lieu et bibliographie.

- Les noms latins (genres et espèces) et les expressions usuelles seront soulignées d'un trait ou transcrits en italique. Les notes infrapaginales sont à éviter et en cas de nécessité leur contenu sera inséré entre parenthèses.
- Les références aux travaux parus doivent chronologiquement indiquer dans le texte le nom de l'auteur ou des auteurs sans les initiales des prénoms suivi de l'année tel que (Heldt, 1950) ; (Heldt, 1950 ; Defau, 1960 ; Pichon, 1996). Lorsqu'il y a plus de deux auteurs citer le nom du premier suivi de *al* (en italique).
- Dans la rubrique Bibliographie placée à la fin de l'article sont regroupées toutes les citations signalées quelles soient publiées ou sous presse. Elles sont présentées chronologiquement et par ordre alphabétique du premier auteur. Elles doivent inclure dans l'ordre suivant : Le(s) nom(s) d'auteur(s), l'année, le titre du travail, le titre abrégé du périodique, le numéro du volume et les pages qui s'y réfèrent. Pour les livres et traités il faut indiquer le nom de l'éditeur. Exemples :

Boulenger G.A., 1911. - Catalogue of freshwater fishes of Africa in the British Museum. British Museum, London, 529 p.

Azouz A. 1974 – Les fonds chalutables de la région Nord de la Tunisie. Les potentialités de la pêche, écologie et répartition bathymétrique des poissons. *Bull. Inst. Océanogr. Pêche, Salammbô*, 3 (1-4) : 29-94.

- **Figures et tableaux :** Les figures et tableaux numérotés respectivement en chiffres arabes et romains sont présentés sur des pages séparées tenant compte en ce qui concerne les dimensions et la lisibilité des chiffres et des lettres d'une réduction possible de la moitié (1/2) ou du quart (1/4) pour être insérés dans le texte final lors de l'impression.

Les titres et légendes doivent être présentés à part par ordre chronologique.

Tableaux et figures ne doivent pas faire double emploi. Leur emplacement doit être signalé dans le texte (Fig 5 ; Tab V). Les figures désignent tous les types d'illustrations : carte, plan, diagramme, courbe, photo. Elles doivent être présentées en **noir et blanc**. Les reproductions en couleur ne sont acceptées que si elles sont prises en charge financièrement par les auteurs.

Il est recommandé de joindre un support informatique au texte présenté.

Acceptation et édition :

L'article ainsi présenté sera soumis à l'approbation de deux (2) arbitres scientifiques anonymes qui évaluent la qualité du travail et jugent de l'intérêt de sa publication tel quel ou après des modifications mineures.

En cas d'acceptation, et afin de réduire le temps de l'édition, il sera demandé à l'auteur de présenter la version finale sous forme électronique (disquette ou CD). Quelques règles doivent être respectées :

- Etiqueter le support en indiquant le nom du fichier, le système d'exploitation (ex :Windows 2000) et le logiciel utilisé (ex : Word 97).
- Tout le texte (avec les images) doit être inclus dans un seul fichier.
- Pour prévenir les risques d'incompatibilité entre logiciel, joindre sur la disquette un autre fichier (sans les images) enregistré sous le format « RTF »
- Lors de la saisie, ne jamais utiliser les fonctions avancées du logiciel telles que les insertions automatiques de caractères, de champs, de zones de texte de notes de bas de page ou d'images.
- Les figures enregistrées sur disquette doivent être accompagnées d'une copie papier de bonne qualité.
- Lors de la saisie utiliser la police « Times New Roman ». Les retours à la ligne trop fréquents sont à éviter. Ne pas couper les mots.
- Ne pas utiliser les retraits et espacements ni à gauche ni à droite.
- Une copie sur papier de la version finale telle qu'elle est présentée sur disquette doit être aussi jointe.

Tirés à part

Pour chaque article publié, 10 tirés à part et un exemplaire de la revue seront donnés gratuitement au premier auteur.

SOMMAIRE / *CONTENTS*

Sami MILI, R. ENNOURI, O. JARBOUI et H. MISSAOUI
Étude des paramètres microscopiques de la biologie de reproduction chez la squille *Squilla mantis* des eaux tunisiennes
Microscopic parameters of the reproductive biology of the spot-tail mantis shrimp Squilla mantis caught in Tunisian waters **3**

Ahlem ROMDHANI, K. MAHE, J.L. DUFOUR and M.H. KTARI
Age and Growth estimation of forkbeard *Phycis phycis* (Linnaeus, 1766) [Actinopterygii, Gadiform, Phycidae] from the Gulf of Tunis
Age et croissance chez la mostelle de roche Phycis phycis (Linnaeus, 1766) [Actinoptérygiens, Gadiformes, Phycidae] dans le Golfe de Tunis **17**

Sabri JAZIRI, S. BEN SALEM et A. GAAMOUR
L'analyse technico-économique des unités d'exploitation de la langouste rouge dans le port de pêche de Bizerte
Technical and economic analysis of the spiny lobster operating units in the fishing port of Bizerte **27**

Mohamed Karim CHEOUR, M. CHERIF, R. BEN MESSAOUD, N. ALOUI-BEJAOUI et A. AFLI
Évaluation et cartographie du stock du gastéropode trochide *phorcus articulatus (Lamarck, 1822)* le long du littoral des iles Kerkennah (golfe de Gabès, Tunisie)
Evolution and cartography of the gastropod Trochidae Phorcus articulatus (Lamarck, 1822) along the coast of Kerkennah islands (Gulf of Gabes, Tunisia) **37**

Rym EENNOURI, Sami MILI et Lassaad CHOUBA
Evaluation de la qualité nutritionnelle du rouget de vase *Mullus barbatus* dans le golfe Tunis (Mer Méditerranée, Nord de la Tunisie)
Study of nutritional quality of red mullet Mullus barbatus from Tunis Gulf (Mediterranean Sea, northern Tunisia) **51**

Fethi MENSI, J. KSOURI, E. SEALE et M.S. ROMDHANE
Optimizing R-phycoerythrin purification from the red algae *Gracilaria verrucosa* in polymer-salt aqueous two-phase system using response surface methodology
Optimisation de la purification de la R-phycoérythrine de l'algue rouge Gracilaria verrucosa à l'aide d'un Système Aqueux Biphasique en utilisant la méthodologie des surfaces de réponse **63**

KHALIL TRIGUI, R. BEN SAIID, R. BACHA et N. ALOUI
Recherches expérimentales sur l'élevage de l'artemia (*Artemia salina*) : effet de quelques facteurs externes
Experimental research on the breeding of Artemia (Artemia salina): effect of some external factors; **77**

Rafik BEN SAID et H. AOUINI
Culture des spores de *Gracilaria gracilis* (Stackhouse) m. Steentoft, L.M. Irvine Et W.F. Farnham, 2006 Et *G. Bursa-pastoris* (Gmelin) Silva, 1952, de la lagune de Bizerte
Spore cultivation of Gracilaria gracilis (Stackhouse) M. Steentoft, L.M. Irvine et W.F. Farnham, 2006 and G. bursa-pastoris (Gmelin) Silva, 1952, of Bizerte lagoon **89**

Fethi MENSI, J. KSOURI, W. HAMMAMI et M.S. ROMDHANE
État des connaissances et perspectives de recherches sur la culture de Gracilariales *(Gracilaria et Gracilariopsis) :* application à la lagune de Bizerte
State of knowledge and prospects for research on Gracilariales (Gracilaria verrucosa) culture: Application to the Bizerte lagoon in North of Tunisia **101**

Samira BEN ROMDHANE , M. ELBOUR, A.HAMZA et M. M. KRAIEM
Étude comparative par épifluorescence et cytométrie en flux des communautés bactériennes des eaux de la retenue du barrage Sidi Salem (Tunisie Septentrionale)
Comparative study with epifluorescence microscopy and flow cytometry of the bacterial communities of water retention of the Sidi Salem dam (North of Tunisia) **121**

Mouldi BRAHIM, S. HOSNI et A. ATOUI
La dynamique sédimentaire au voisinage du port de pêche de Zarzis
Sediment dynamics in the vicinity of the fishing port of Zarzis **133**

Zouhour YAHYAOUI, N. RBAI et A. SAADI
Etude descriptive de l'évolution saisonnière des dunes bordières de la plage de Korba (façade orientale, Cap Bon) par la méthode des Modèles Numériques de Terrain Résiduel
Descriptive Study of the seasonal evolution of bordering dunes of Korba beach (Northern East of the Cap Bon - Tunisia) using Residual Digital Terrain Model Method **143**

ETUDE DES PARAMETRES MICROSCOPIQUES DE LA BIOLOGIE DE REPRODUCTION CHEZ LA SQUILLE *SQUILLA MANTIS* DES EAUX TUNISIENNES

Sami MILI [1, 2]*, R. ENNOURI[2], O. JARBOUI[2] et H. MISSAOUI[2]

(1) Unité Exploitation des Milieux Aquatiques. Institut Supérieur de Pêche et d'Aquaculture de Bizerte, BP 15, 7080 Menzel Jemil, Tunisie.

(2) Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, 28, rue 2 mars 1934 Salammbô, 2025, Tunisie.

* sami_mili@yahoo.fr

ملخص

دراسة المعايير المجهرية لبيولوجيا التكاثر لدى الشيقالي بالمياه التونسية: تمثل درلسة الأنسجة المقاربة الأولية لإثبات النتائج العينية للتكاثر لدى الشيقالي بالمياه التونسية. تهدف هذه الدراسة الى تحديد مختلف اطوار نمو البويضات وحركية تطورها وبالتالي استنتاج استراتجية بيض هذا النوع من القشريات. تركز هذا العمل على دراسة الأنسجة الخاصة ب380 مبيض انثى شيقالي مصطادة من خليج **تونس و الحمامات وقابس**. كما اعتمدنا تعداد الجرابيه المتبقية بعد عملية البيض و البيوض المنفعلة كدليل على وجود عمليات بيض سابقة. **كما وقع ربط** كل الأطوار النسيجية مع المراحل العينية للنضج الجنسي و ذلك للتثبت من كل مراحل دورة التكاثر لدى الشيقالي. مكّن تحليل انسجة المبيض من تقسيم فترة تكون البويضات الى اربعة مراحل: **ما قبل تكوّن المحّ ,تكوّن المحّ ,النضج والانفعل**. يمكن تقسيم هذا النوع من القشريات **الى** 6 **اطوار:ما قبل النضج** , الراحة الجنسية ,بداية تكوّن المحّ ,**تكوّن المحّ** ,البيض , **ما بعد** البيض و الاسترداد. اثبت الوجود المتزامن للجرابيه المتبقية بعد عملية البيض و البيوض المنفعلة ان الشيقالي بالمياه التونسية ينتمي الى مجموع الاجناس التي تبيض مرّة واحدة**في السنة**.

كلمات مفاتيح: الشيقالي ،دراسة الأنسجة ،التكاثر ،البيض ،المياه التونسية.

RESUME

L'étude histologique représente la première approche pour la validation des résultats macroscopiques de la reproduction chez *Squilla mantis* des eaux tunisiennes. Les objectifs de cette investigation sont d'une part l'identification des différentes phases du développement ovocytaire et d'autre part de décrire la cinétique de l'ovogenèse ainsi que la stratégie de ponte de cette espèce. L'étude histologique a été réalisée sur les ovaires de 380 femelles de *Squilla mantis* pêchées dans les trois golfes de la Tunisie (Tunis, Hammamet et Gabès). Dans cette étude, les follicules post-ovulatoires et les ovocytes atrésie atrétiques ont été utilisés comme indicateurs d'une activité de ponte antérieure. Chaque phase histologique a été corrélée au stade macroscopique de maturité et au rapport gonado-somatique des individus étudiés et ceci afin de valider les différentes phases du cycle de reproduction chez *S. mantis.* L'analyse des coupes histologiques des ovaires a permis de diviser l'ovogenèse en 4 phases : pré-vitellogenèse, vitellogenèse, maturation et atrésie. Le cycle sexuel des femelles de squilles peut être composé de 6 étapes : juvéniles, repos sexuel, début de la vitellogenèse, vitellogenèse, ponte, post-ponte et récupération. La présence des follicules post ovulatoires et une faible fréquence des ovocytes à différents stades de développement permettent d'affirmer que les squilles des eaux tunisiennes appartiennent aux groupes d'espèces à ponte unique. Ce crustacé appartient au groupe des espèces dont la fécondité de la femelle croît proportionnellement moins vite que le cube de la longueur totale. Cette fécondité présente une différence significative entre les trois golfes de la Tunisie.

Mots clés : *Squilla mantis*, stratégie de ponte, cinétique de l'ovogenèse, histologie, fécondité, eaux tunisiennes.

ABSTRACT

Microscopic parameters of the reproductive biology of the spot-tail mantis shrimp *Squilla mantis* caught in Tunisian waters : This histological study represents the first approach to validate the results obtained in macroscopic reproduction of *Squilla mantis* (L., 1758) in the Tunisian waters. The aim of this investigation was the identification of the oocyte development phases, the description the oogenesis kinetics and the spawning strategy of this species. A total of 380 female ovaries of *Squilla mantis* caught in the Tunisian gulfs (Tunis, Hammamet and Gabes) were exanimate. The photomicrographs of histological developmental stages and

measurement of oöcytes were performed using an image analysis system (Optimas 6.5 software). Thereafter for the histological study, only a portion of the middle part of the ovary from each female was chosen to facilitate manipulations. During oögenesis, oöcytes develop continuously through different steps. Some steps can be identified as oöcyte development or maturation stages according to their microscopic features. In this study, identification of representative histological development stages is based on oöcyte, nucleus and cytoplasm sizes, cytoplasm homogeneity, inclusions type and quantity and cumulative oöcyte size frequency distributions. To determine the range of oöcytes diameters at the different developmental stages, the area equivalent diameter of at least 100 cells per stage was measured. Post-ovulatory follicles and atretic oöcytes were equally considered as ovary characteristic elements in the reproductive strategy study. Indeed, post-ovulatory follicles and atretic oöcyte stages are used as indicator of previous spawning activity. The ovarian cycle was determined histologically based on the relative frequency of the different oöcyte developmental stages and post-ovulatory follicles. Seven growth substages of oöcytes were distinguished: 1) Early primary oöcyte, St; 2) Late primary oöcyte, St2; 3) Primary vitellogenic oöcyte, St3; 4) Early secondary vitellogenic oöcyte, St4; 5) Late secondary vitellogenic oöcyte, St5; 6) Hyaline oöcyte, St6; and 7) Atretic oöcyte, Atr. The histological stages were correlated to the macroscopic maturity and to the gonad index to validate the reproductive cycle of *S. mantis*. The analysis of the histological sections of the female's ovaries shows that oogenesis can be divided in 4 phases: pre-vitellogenesis, vitellogenesis, maturation and atresia. The kinetics of oögenesis of females of *S. mantis* is characterized by six successive ovarian development phases: Juvenile, sexual resting, beginning of vitellogenesis, vitellogenesis, spawning and post-spawning and recuperation. At the mature ovarian phases, two populations of oöcytes were distinguished; a fairly synchronous population of large vitellogenic oöcytes (St3 or St4 or St5), and a heterogeneous population of smaller oöcytes from which the next clutch will be recruited. In terms of ovarian organization, *S. mantis* can be considered as ''group-synchronous''. The presence of only one clutch of yolked oöcytes able to be ovulated once during the breeding period suggests that the Spot-tail mantis shrimp spawns only once during every sexual cycle, i.e., *S. mantis* can be classified as species with a unique spawning period. The fecundity of the female of *S. mantis* increases proportionally less than to the cube of the total length ant it was significantly different between the three gulfs of Tunisia. The average of the relative fecundity is about 1618 ± 632 eggs / g of mantis shrimp.
Keywords: *Squilla mantis*, spawning strategy, kinetics oogenesis, histology, fecundity, Tunisian waters.

INTRODUCTION

La squille *Squilla mantis* (L., 1758) est un Stomapode très abondant dans les trois golfes de la Tunisie (Tunis, Hammamet et Gabès) (Mili, 2013). La définition des paramètres relatifs à la stratégie de reproduction des espèces exploitées notamment les squilles tunisiennes est indispensable pour une gestion appropriée des pêcheries. Ainsi, l'étude de la stratégie de reproduction permet la quantification de la capacité reproductive des individus et par conséquence une gestion rationnelle des stocks exploitables. Les études microscopiques ont été communément utilisées dans les études de la reproduction de plusieurs espèces marines. L'ovogenèse a été étudiée avec les méthodes histologiques chez beaucoup de crustacés (Rjeibi, 2012) et spécifiquement chez quelques espèces de Stomatopodes (Do Chi, 1978 ; Ferrero et *al.*, 1988; Deecaraman, et Subramoniam 1983; Wortham-Neal, 2002 ; Kodama et *al.*, 2004). Cependant, aucune étude se rapportant à l'histologie ovarienne de *Squilla mantis* n'a été réalisée auparavant, malgré le nombre important de travaux qui s'est intéressé à l'aspect macroscopique de la reproduction de cette espèce. Les études histologiques fournissent des informations plus détaillées sur les substructures cellulaires et leurs prédominances durant tout le cycle reproductif de l'espèce. L'observation microscopique des ovaires de *Squilla mantis* représente la première approche pour la validation des résultats macroscopiques de la reproduction de cette espèce dans les eaux tunisiennes. Le principe est d'identifier à travers les coupes histologiques les différentes phases du développement ovocytaire et de décrire la cinétique de l'ovogenèse ainsi que la stratégie de ponte de cette espèce. La cinétique de l'ovogenèse représente la manière avec laquelle les ovocytes progressent vers la maturité, tandis que la stratégie de ponte décrit la façon avec laquelle les ovocytes sont émis. Au cours de l'ovogenèse, les ovocytes subissent des transformations biologiques et biochimiques et acquièrent des réserves nécessaires au développement du futur embryon. La majorité de ces transformations s'effectue d'une manière continue, mais il est commode pour suivre l'évolution ovocytaire, de déterminer plusieurs stades caractéristiques qui présentent des particularités pour pouvoir les identifier.

Différentes substructures cellulaires peuvent être identifiées dans les follicules en croissance et le suivi de leur évolution permet d'interpréter le statut reproductif. Dans le présent travail, on s'est intéressé

uniquement aux femelles *Squilla mantis* car elles représentent le facteur limitant de la reproduction, par contre les spermatozoïdes sont dominants (Do Chi, 1978 ; Wortham-Neal, 2002). L'approche histologique a été appliquée pour étudier le développement ovocytaire afin de comprendre le processus de l'ovogenèse et de déterminer ainsi la stratégie de ponte de l'espèce. Entre autres, cette approche a été utilisée pour valider l'échelle macroscopique du développement ovarien préétablie. Les résultats de l'étude de la reproduction ont été comparés à ceux rapportés à d'autres populations de la Méditerranée et à d'autres espèces de Stomatopodes.

MATERIEL ET METHODES

Les prélèvements mensuels des squilles ont été réalisés le long des côtes tunisiennes entre janvier 2005 et décembre 2006. Au total 22883 individus, servant à l'étude macroscopique de la reproduction, ont été mesurés et leur sexe déterminé. Ces échantillons proviennent du chalutage professionnel dans le golfe de Hammamet et de Gabès, quant aux spécimens originaires du golfe de Tunis, ils ont été collectés des débarquements des unités côtières utilisant les filets trémails. Une fois au laboratoire, les paramètres relatifs à l'étude macroscopique de reproduction de la squille ont été relevés. Pour tous les individus examinés, la masse totale (Wt) et la masse éviscérée (We) ont été mesurées au centième de gramme prés. La longueur totale (Lt) a été mesurée à l'aide d'un pied à coulisse au 0,1 mm près, Après dissection, les gonades ont été prélevées et pesées avec une précision de 0,01 g. En ce qui concerne la partie microscopique incluant l'identification des différentes structures ovariennes et la cinétique de l'ovogenèse, on a sélectionné des spécimens (380) de différentes classes de tailles. En outre, chez les femelles, des fragments d'ovaires ont été préparés pour l'étude histologique. Trois portions (antérieure, moyenne et postérieure) de l'ovaire de chaque femelle ont été fixées dans la solution de Bouin. Chaque portion, sectionnée transversalement à l'épaisseur de 5 µm, a été colorée au Trichrome de Masson et collée par l'Eukitt (Carson, 1990 ; Gaamour, 1999). Chaque coupe a été examinée au microscope. Les photomicrographies des coupes histologiques et les mesures sur les ovocytes ont été effectuées en utilisant un système d'analyse d'image. La comparaison des tailles et des proportions des stades ovocytaires entre les coupes, transversales et longitudinales, de la même portion d'ovaire et entre les coupes des différentes portions du même ovaire, n'a pas montré de différence significative. Pour cette raison et pour faciliter les manipulations, on a choisi la partie moyenne de l'ovaire. L'acide périodique de Schiff (APS) a été utilisé pour colorer les coupes dans le but de déceler l'apparition des inclusions glucidiques dans les ovocytes (Martoja et Martoja, 1967 ; Le Duff, 1997 ; Kodama et *al.*, 2004). Dans cette étude, l'identification des stades microscopiques a été basée sur plusieurs critères comme la taille et la forme de l'ovocyte, celle du noyau et du cytoplasme, de son homogénéité. De même, il a été tenue compte de la nature des inclusions qu'il renferme (lipide, glucide ou protéine), leur origine (endogène ou exogène) ainsi que de leur quantité (Kodama et *al.*, 2004 et Rjeibi, 2012). Le diamètre d'une centaine d'ovocytes par stade a été mesuré et ceci afin de déterminer la gamme des diamètres des ovocytes aux différents stades de développement. Seuls les ovocytes, où la coupe histologique passe par le noyau, approximativement sur son plan équatorial, ont été mesurés.

Dans l'étude de la cinétique de l'ovogenèse, les follicules post-ovulatoires (FPO) et les ovocytes atrétiques ont été considérés comme des éléments caractéristiques de la structure ovarienne. En effet, les follicules post-ovulatoires et les ovocytes atrétiques ont été utilisés comme indicateurs d'une activité de ponte antérieure. Le cycle ovarien a été établi histologiquement en se basant sur les fréquences relatives des différents stades de développement ovocytaires et des follicules post-ovulatoires. Le nombre des ovocytes et des FPO comptés dans chaque ovaire par spécimen varie entre 243 à 654. Ce nombre dépendant de la phase de maturation de la gonade et de la surface sectionnée lors de la coupe histologique.

Pour l'étude de la fécondité chez cette espèce, les ovocytes ont été conservés dans le liquide de Gilson puis nettoyés et séparés du tissu conjonctif par décantation dans des bains successifs d'eau distillée. Chaque ovaire a été dilué dans un volume d'eau de 1000 ml. Après homogénéisation, 3 sous-échantillons de 1,5 ml chacun ont été prélevés. Le comptage et l'étude de la fréquence de distribution des diamètres ovocytaires des sous échantillons ont été réalisés en analyse d'image, à l'aide du logiciel "OPTIMAS". Pour chaque ovaire échantillonné, la distribution des diamètres ovocytaires, par classes de taille de 20 µm, a été établie en utilisant le logiciel Statistica de StatSoft. Les résultats obtenus ont été utilisés pour calculer la fécondité relative (nombre d'œufs par gramme de squilles) et la fécondité absolue (FA). Les fécondités absolues ont été corrélées à la longueur totale (Lt) par la relation (KODAMA *et al.*, 2004) :

$$FA = a\,(Lt)^b$$

L'ajustement des équations a été fait par la méthode des moindres carrés. Les 3 relations taille-fécondité ont été comparées après transformation logarithmique. L'analyse de la covariance a été effectuée pour comparer entre la fécondité moyenne des squilles issues des trois golfes.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Etude histologique des ovaires

L'étude histologique a concerné 380 individus. Les femelles étudiées ont des longueurs comprises entre 6,5 cm et 19 cm comme longueur totale. Les ovaires prélevés sont de couleurs variables (jaune, orangé) et de différents aspects (lisse, granuleux ayant les ovocytes visibles). Ces ovaires sont collectés durant toute l'année et à partir des 3 golfes (Tunis, Hammamet et Gabès). Au cours de l'ovogenèse, les ovocytes subissent de différents types de transformations et acquièrent des réserves pour le développement du futur fœtus. Ces transformations s'effectuent continuellement, mais pour mieux suivre l'évolution ovocytaire, il est primordial de déterminer les stades caractéristiques qui présentent des particularités. L'analyse des coupes histologiques des ovaires des femelles de la squille *Squilla mantis* a permis de diviser l'ovogenèse en 4 phases: pré-vitellogenèse, vitellogenèse, maturation et atrésie. Ainsi, 8 stades de développement ovocytaire ont pu être identifiés.

Stades de développement ovocytaire

Ovocyte primaire préliminaire (St1): Les ovocytes sont des petites cellules arrondies composés d'un cytoplasme homogène et basophile (Fig.1A). Le noyau occupe la quasi-totalité de la coupe de l'ovocyte avec de grands nucléoles sans position particulière. A ce stade, le diamètre des ovocytes varie de 10 à 22 µm.

Ovocyte primaire en accroissement (St2): Les ovocytes à ce stade sont dits prévitellogéniques en accroissement (Fig.1A). Le cytoplasme et le noyau augmentent de diamètre avec des nucléoles de petites tailles et de position périphérique. Le cytoplasme perd graduellement sa basophilie et il est légèrement coloré avec l'hématoxyline. Le diamètre des ovocytes oscille entre 22 et 60 µm.

Ovocyte en vitellogenèse primaire (St3): Les ovocytes en vitellogenèse primaire ont des enveloppes nucléaires plurilobées où se logent les nucléoles (Fig.1B). Ces ovocytes ont un cytoplasme plus acidophile que les ovocytes prévitellogéniques en accroissement. A ce stade les diamètres des noyaux et des ovocytes atteignent respectivement 48±5,2µm et 115± 12,4 µm avec un rapport nucléoplasmique élevé. Le développement ovocytaire au sein de ce stade est marqué par l'apparition successive de quatre composantes: le *Zona radiata* (enveloppe vitelline), les inclusions lipidiques, les alvéoles corticaux et les inclusions glucidiques. Le *zona radiata*, coloré par l'acide périodique de shift (APS), apparaît comme une bande mince avec une structure homogène. Les gouttelettes ou vacuoles lipidiques et les alvéoles corticaux (colorés avec l'hématoxyline) apparaissent simultanément à la périphérie du cytoplasme. Les inclusions glucidiques, colorées par l'APS, apparaissent dans la partie périphérique du cytoplasme et l'envahissent graduellement. Ces ovocytes en vitellogenèse primaire sont les premiers ovocytes vitellogéniques. Leur présence avec un grand nombre dans la coupe histologique signale la première phase de la maturation ovarienne.

Ovocyte au début de vitellogenèse secondaire (St4): Les ovocytes à ce stade sont de taille moyenne avec un *zona radiata* plus épais et dont le cytoplasme est envahi par des inclusions vitellines exogènes (Fig.1C). A ce stade, le diamètre ovocytaire est de l'ordre de 150±20,6 µm alors que celui du noyau est de 51±7,6 µm. Ces ovocytes sont caractérisés par l'accumulation de petites inclusions de réserve dans le cytoplasme périphérique sous les inclusions glucidiques. Ces inclusions de réserve s'étendent graduellement dans le cytoplasme. L'accumulation centrale de ces réserves déplace les alvéoles corticaux à la zone périphérique du cytoplasme. De plus, le cytoplasme est hétérogène et le taux d'inclusions vitellines représente 30 à 50 % du volume cytoplasmique. Les lobes des enveloppes nucléaires sont plus développés que les ovocytes en vitellogenèse primaire.

Ovocyte en fin de vitellogenèse secondaire (St5): Les ovocytes à ce stade sont de grande taille avec des enveloppes bien développées. Les diamètres moyens des noyaux et des ovocytes sont respectivement de 55±8,7 µm et de 385±82,6 µm avec un rapport nucléoplasmique faible (Fig.1D). Les inclusions vitellines envahissent la quasi-totalité du volume cellulaire. Chez ces ovocytes, la vitellogenèse exogène est dominante dans le cytoplasme. La présence de ces ovocytes dans la coupe histologique indique une proche période de ponte.

Ovocyte hyalin (St6): Ce stade est marqué par la migration du noyau vers le pôle animal et l'hydratation de l'ovocyte, c'est l'étape finale de la vitellogenèse. À ce stade, juste avant l'ovulation, le vitellus hyalin se forme suite à la coalescence des inclusions vitellines. Le cytoplasme est complètement occupé par de grandes vacuoles hydratées. L'augmentation brutale du diamètre ovocytaire provoque l'écrasement des couches de la *zona radiata* et la rupture de la *granulosa* ; l'ovocyte est libéré de son follicule. Après ovulation, ces deux éléments de l'ovocyte demeurent dans l'ovaire et subissent un processus de dégradation pour former une nouvelle structure : les follicules post-ovulatoires. Uniquement 4 ovocytes hyalins ont été observés dans les 380 coupes d'ovaires.

Follicule post-ovulatoire (FPO): La thèque conjonctive et les cellules de la *granulosa* qui restent dans l'ovaire après la ponte forment le follicule post-ovulatoire (Fig.1F). Les follicules jeunes ont une grande cavité centrale limitée par les cellules hypertrophiées de la *granulosa*. Avec le temps,

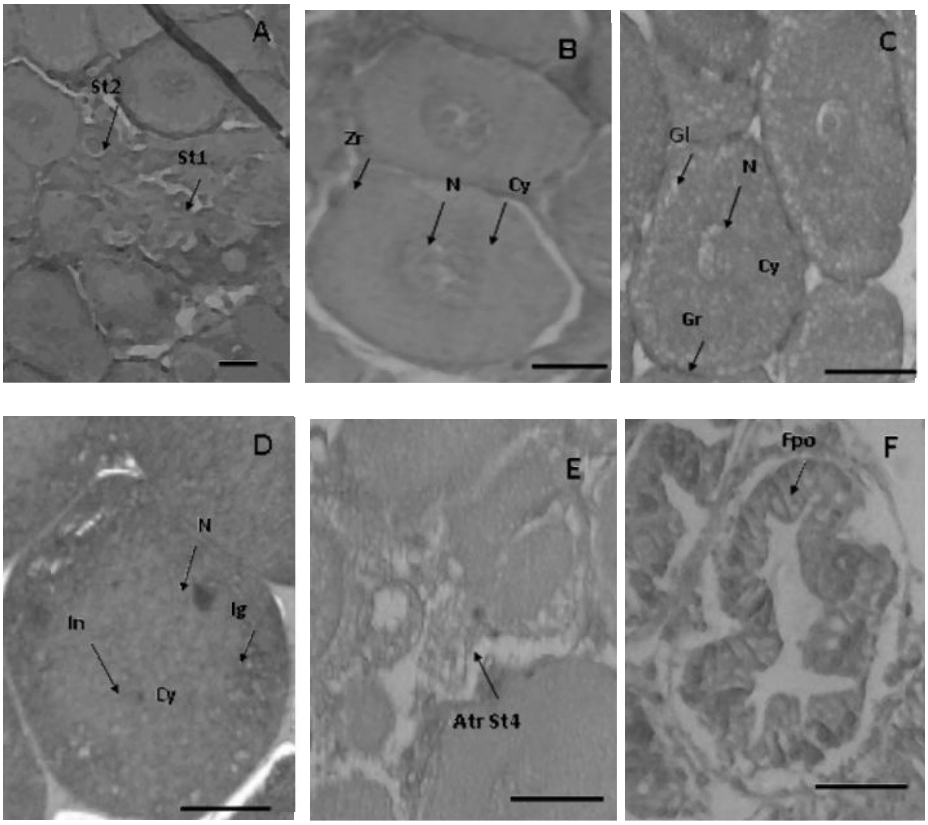


Figure 1 : Caractéristiques histologiques des stades de développement ovocytaires de *S. mantis*. A : Ovocyte primaire préliminaire St1 et Ovocyte primaire en accroissement St2 (barre d'échelle : 20µm), B : Ovocyte en vitellogenèse primaire St3 (barre d'échelle : 50µm), C : Ovocyte au début de vitellogenèse secondaire St4 (barre d'échelle : 100µm), D : Ovocyte en fin de vitellogenèse secondaire St5 (barre d'échelle : 200µm), E : Ovocyte atrétique Atr (barre d'échelle : 100µm), F : Follicules post-ovulatoire FPO (barre d'échelle : 200µm), Ig : Inclusions glucidiques, In : Inclusions, Gl : Gouttelettes lipidiques, Gr : *Granulosa*, Cy : Cytoplasme, N : Noyau, Zr : *Zona radiata*.

celles-ci envahissent progressivement cette cavité qui finit par dégénérer ; ce groupe de cellules est alors entouré de la thèque conjonctive qui est très épaisse. La présence de follicules post-ovulatoires dans les coupes d'ovaires est le signe d'une ponte antérieure.

Ovocyte atrétique (Atr): Après ovulation, les ovocytes vitellogéniques restant dans les ovaires prennent un aspect diffus et granulaire puis ils dégénèrent (Fig.1E). L'atrésie affecte en premier les St6 restants et par la suite les ovocytes St5, St4 et St3. Cependant, certains ovocytes vitéllogéniques peuvent dégénérer et deviennent atrétiques au cours de leurs développements. L'atrésie se manifeste par l'hypertrophie de la *granulosa* et la rupture du *zona radiata*. Les inclusions cytoplasmiques et vitellines perdent ensuite leur individualité et le noyau devient diffus et de forme irrégulière. L'atrésie est scindée en plusieurs stades selon l'état de l'ovocyte. Les derniers stades de dégénérescence peuvent être confondus avec les vieux follicules post-ovulatoires. Les ovocytes en début d'atrésie sont facilement reconnus

Structures ovariennes : composition en ovocytes et phase de maturité

Les coupes histologiques des ovaires montrent des ovocytes empilés et serrés les uns contre les autres laissant par endroit peu d'espace pour le stroma ovarien. Différentes structures et phases microscopiques ont pu être observées durant le cycle de développement ovarien chez les squilles des eaux tunisiennes. Chaque phase peut être caractérisée en se basant sur les fréquences relatives des différents stades ovocytaires et des follicules post-ovulatoires. L'examen de ces coupes a permis de déceler plusieurs observations (Fig. 2).

- Les ovogonies sont présentes chez toutes les femelles quelque soit leurs stades de développement et elles sont groupées à la périphérie de l'ovaire dans les lobules ovariens;

- Les ovocytes prévitellogéniques aux stades St1 et St2 sont présents dans tous les ovaires indépendamment de la période d'échantillonnage, donc de l'étape du cycle sexuel, avec des fréquences variables (Fig. 1A);

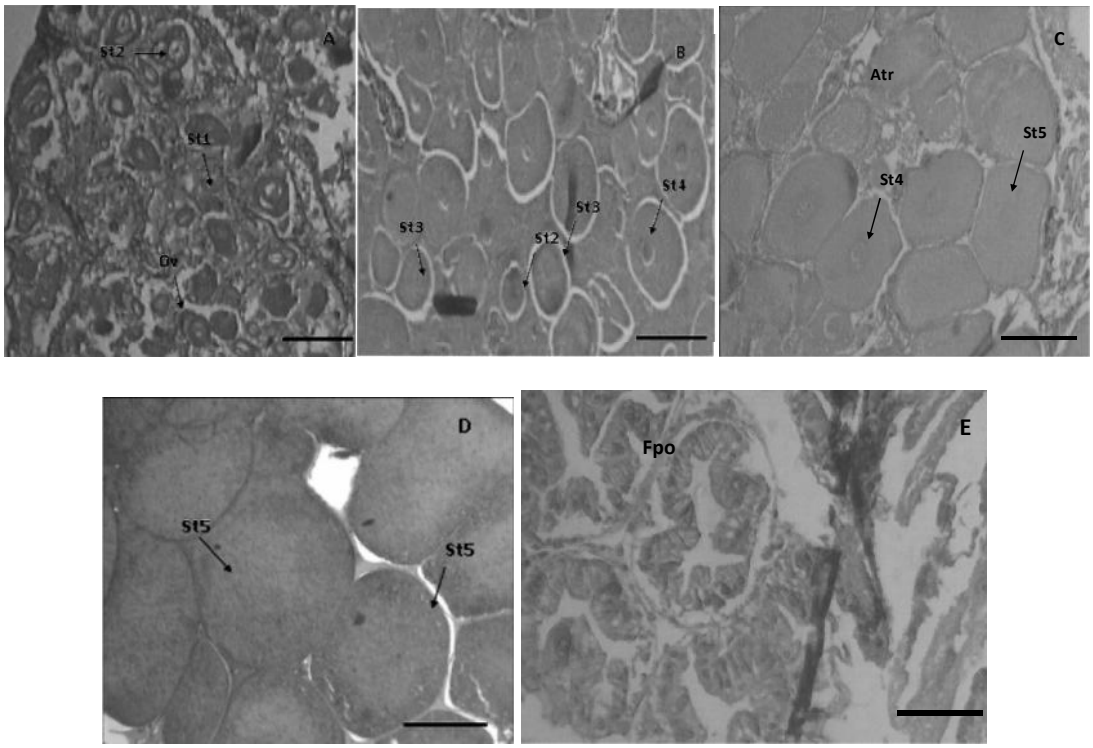


Figure 2: Caractéristiques histologiques des structures ovariennes en différentes phases du cycle sexuel chez *S. mantis*. A : Juvénile et repos sexuel, (barre d'échelle : 100µm), B : Début de vitellogenèse (barre d'échelle : 200µm), C : Vitellogenèse (barre d'échelle : 200µm), D : Ponte (barre d'échelle : 200µm), E : Post-ponte et récupération (barre d'échelle : 200µm). Atr = Ovocyte atrétique, Ov: Ovogonie, FPO: Follicule post-ovulatoire, St1, St2, St3, St4 et St5= Stades ovocytaires.

- Les ovocytes vitellogéniques aux stades St3, St4 et St5 font leurs apparitions dans les ovaires des femelles en maturation et en ponte. La distinction entre ces ovocytes dépend du degré d'hétérogénéité et de la nature du vitellus. A un stade avancé de l'ovogenèse, les ovocytes vitellogéniques avec leurs grandes tailles occupent la totalité de la coupe histologique laissant un tout petit espace pour les ovocytes prévitellogéniques (Fig. 1(B, C et D)). Malgré la diversité des tailles et des lieux d'échantillonnage, seuls 4 ovocytes au début du stade hyalin ont été observés dans les coupes histologiques.

- Les follicules post ovulatoires (FPO) sont présents chez les femelles en post ponte et récupération. La présence de ces structures ovariennes indique bien qu'une ponte antérieure a eu lieu (Fig. 1F). Ces FPO sont associées généralement à une augmentation spectaculaire de la fréquence des ovocytes atrétiques qui n'ont pas terminé leur développement et vont dégénérer. Les femelles au début de vitellogenèse ont une très faible fréquence d'ovocytes atrétiques. La fréquence relative des ovocytes atrétiques et le pourcentage des femelles ayant de l'atrésie augmentent progressivement d'une étape du cycle à la suivante (Fig. 1E).

L'analyse de l'histologie des ovaires permet de décomposer le cycle sexuel des femelles de squilles en 6 étapes, chacune d'elle est caractérisée par une structure bien définie. Les structures de développement ovariennes chez les femelles de *S. mantis* identifiées sont les suivantes : juvénile, repos sexuel, début de la vitellogenèse, vitellogenèse, ponte, post-ponte et récupération (Tableau I).

Les femelles au stade de début de vitellogenèse ont été observées entre novembre et décembre. Les individus avec des ovaires au stade de vitellogenèse sont présents entre janvier et février. Les ovaires au stade de ponte sont rencontrés durant les mois de mars et avril. Le stade de post-ponte et récupération a commencé à partir du mois de mai. Le stade du repos sexuel a pu être caractérisé suite à la capture des individus durant l'automne. Les juvéniles sont présents tout le long de l'année. Cette analyse histologique des ovaires des femelles des squilles confirme bien les phases et la durée des différentes étapes du cycle sexuel déterminé macroscopiquement (Mili, 2013).

Cinétique de l'ovogenèse chez une femelle type

L'analyse de la fréquence relative (%) des différents stades ovocytaires et des follicules post-ovulatoires des différentes coupes histologiques des ovaires des femelles de squille a permis d'établir la cinétique de l'ovogenèse chez une femelle type. Depuis le début de la vitellogenèse, deux groupes d'ovocytes ont pu être observés. Le premier groupe est homogène et

Tableau I : Structures microscopiques au cours de l'évolution de la maturité ovarienne chez *Squilla mantis.*

Phases de maturité	Caractéristiques microscopiques
Juvénile	Structure ovarienne homogène, composée essentiellement par le stroma ovarien, ovogonies et des ovocytaires aux stades St1 et St2. Chez les femelles immatures de grande taille, l'ovaire peut contenir quelques ovocytes au St3 qui vont dégénérer par atrésie (Fig. 2A).
Repos sexuel	Les ovaires ne contiennent que les ovocytes prévitellogéniques St1 et St2. L'ovaire contient plus d'ovocytes au St2 et moins de stroma ovarien que celui du stade juvénile (Fig. 2A).
Début de la vitellogenèse	Les ovocytes les plus avancés sont au stade de vitellogenèse primaire. Les ovocytes au stade St3 sont dominants dans la section ovarienne et représentent 50% du volume total de l'ovaire (Fig.2B).
Vitellogenèse	La coupe ovarienne est dominée par les ovocytes au début de vitellogenèse secondaire St4 (Fig. 2C) qui représente 60% du volume total. Ces St4 sont associés à des ovocytes prévitellogéniques et St3, qui comptent 23%.
Ponte	La structure histologique indique la présence des ovocytes en fin de vitellogenèse secondaire St5, avec un grand pourcentage (22,7%) ainsi que des ovocytes pré-vitellogéniques, St3 et St4 représentant ensemble 20% des ovocytes comptés (Fig. 2D).
Post-ponte et récupération	Les follicules post-ovulatoires indiquent qu'une ponte a eu lieu. Ces Fpo (Fig. 2E) représentent environ 8,1% des ovocytes dénombrés. Le reste des ovocytes atrétique est à différentes phases de dégénérescence. Chez la squille, l'intensification du phénomène de l'atrésie est le signe de la fin de la ponte et le début de la phase de récupération.

composé par des ovocytes de grandes tailles formant un lot qui se développe de façon synchrone et qui va être probablement émis durant la saison de ponte courante. Cependant, le deuxième groupe est hétérogène et composé de petits ovocytes à partir desquels le prochain lot va être recruté (Fig. 3). Ce dernier est composé d'ovocytes St3, qui ne participent pas à la saison de ponte courante et seront atrétiques durant le stade de post-ponte et de récupération, et des ovocytes pré-vitellogéniques qui devraient être pondus durant la nouvelle saison de ponte. L'ovulation synchrone observée durant cette étude suggère l'existence d'une pulsation rythmique de la maturation des ovocytes. Le lot homogène d'ovocytes qui sera pondu, est séparé des ovocytes pré-vitellogéniques dès le début du développement ovarien et depuis ces ovocytes suivent leur maturation de façon synchrone. Au total 7 types histologiques ovariens ont été isolés : les types 1 et 2 représentent les femelles juvéniles ou au repos sexuel ; les types 3 à 5 sont celles en vitellogenèse ; les types 6 et 7 sont celles en post ponte et récupération (Fig.3, Tableau II).

Femelles juvéniles et au repos sexuel : La plupart des femelles de petites tailles (inférieure à Lm50) échantillonnées ont des ovaires du type 1. Les ovaires des femelles matures pêchées entre le mois de septembre et novembre sont du type 2. Elles sont au repos sexuel et leurs ovaires ne présentent que des ovocytes prévitellogéniques des stades St1 et St2 (Fig. 3, Tableau II). L'augmentation de la fréquence relative des ovocytes au stade St2 indique la fin du repos sexuel (type 2).

Femelles en vitellogenèse : Le type 3 indiquant le début de la vitellogenèse est marqué par l'apparition des stades St3 et St4 avec une faible fréquence (Fig. 3, Tableau II). Ce type est observé chez les femelles capturées au mois de décembre. La distribution des fréquences ovocytaires est composée particulièrement par une population d'ovocytes dont le diamètre varie entre 100 µm et 170 µm et quelques St2 et St3 qui ne participeront pas durant la ponte courante (Fig.2). Cette phase correspond au recrutement du lot d'ovocytes qui sera émis durant la saison de ponte courante. Pour les femelles en vitellogenèse avancée, les ovaires des femelles du type 4 montrent des ovocytes de stade St5 avec une fréquence relativement faible. Ces derniers deviennent plus fréquents au cours de la vitellogenèse très avancée (type 5). En plus, les ovocytes hyalins font leur apparition. Les ovocytes présents peuvent être divisés en deux groupes. Un premier groupe formé par quelques ovocytes au St3 dont le diamètre ne dépasse pas 127 µm et un second groupe composé d'ovocytes de grande taille en début de vitellogenèse secondaire (St4) avec des diamètres de l'ordre de 170 µm (Fig. 3, Tableau II). Deux groupes d'ovocytes sont présents dans les ovaires des femelles en ponte associé au groupe des petits ovocytes au stade St3 et à ceux en fin de vitellogenèse secondaire (St5) dont leurs

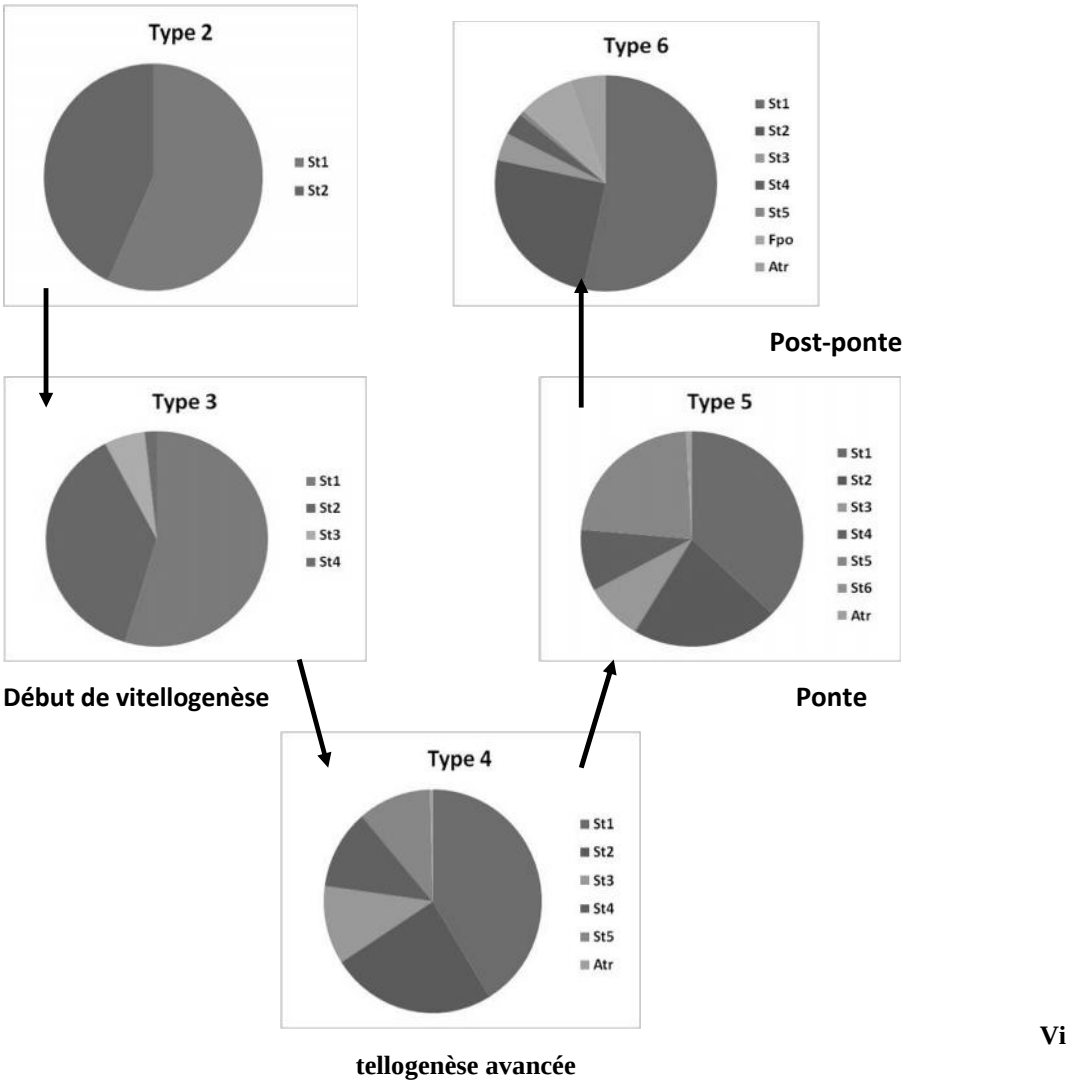


Figure 3 : Cinétique de l'ovogenèse chez une femelle type de squille. FPO : Follicules post-ovulatoires ; Atr : Ovocytes atrétiques.

Tableau II : Pourcentages des stades ovocytaires, des follicules post-ovulatoires (FPO) et des ovocytes atrétiques (Atr) par type histologique ovarien au cours d'un cycle sexuel d'une femelle type de *Squilla mantis*.

Etape du Cycle	**Repos sexuel**		**Vitellogenèse**		**Ponte**	**post-ponte et récupération**	
Type histologique	**Type 1**	**Type 2**	**Type 3**	**Type 4**	**Type 5**	**Type 6**	**Type 7**
St1	67,3	56,8	54,6	41,3	37,2	53,3	61,2
St2	32,7	43,2	37,7	24,5	21,4	25,2	28,3
St3			5,9	11,4	8,5	4,1	
St4			1,8	11,6	9,3	3,4	
St5				10,8	22,7	0,7	
St6					0,2		
Fpo						8,1	0,4
Atr				0,4	0,7	5,2	10,1
Effectif	34	45	62	52	89	57	41

diamètres sont de l'ordre de 512±64,5 µm (Fig. 2). Cette structure ovarienne supporte l'hypothèse de la présence d'un seul lot d'ovocytes qui a évolué de façon homogène et synchrone durant le développement ovarien.

Femelles en post-ponte et récupération : La phase de post-ponte est caractérisée par la présence des follicules post-ovulatoires témoins d'une ponte antérieure. Cette phase est marquée par une fréquence relative importante des ovocytes atrétiques. Les ovaires en post-ponte et récupération sont observés chez les femelles échantillonnées aux mois de juin, de juillet et d'août. Au mois de juin et de juillet, seules les femelles âgées ont fini leurs pontes. A la fin de la période de ponte (type 6), la fréquence relative des ovocytes des stades St4 et St5 deviennent très faibles. Le type 7 caractérise les femelles en récupération. Dans les ovaires ayant ce type histologique, on ne rencontre que des ovocytes aux stades St1 et St2 et des ovocytes atrétiques avec une faible fréquence (Fig. 3, Tableau II).

En conclusion, l'augmentation de la fréquence des ovocytes atrétiques et la diminution de celle au stade St5 annoncent la fin de l'émission des gamètes. La fin de la période de ponte est caractérisée par l'augmentation de la fréquence des ovocytes atrétiques et la diminution de celle des stades St3, St4 et St5. Pendant la période de ponte, un seul lot d'ovocytes est émis et la fréquence relative des ovocytes au stade St5 chute juste après la ponte. La présence des follicules post ovulatoires et une faible fréquence des ovocytes à différents stades de développement qui tendent à être atrétiques permet d'affirmer que les squilles des eaux tunisiennes sont des espèces à ponte unique.

Distributions des diamètres ovocytaires et stratégie de ponte

L'examen des diamètres ovocytaires de 380 ovaires échantillonnés a permis de distinguer 4 types de distributions. Le premier type de distribution est formé d'un seul mode (type A). Il est observable chez les femelles immatures et au repos sexuel. Le seul lot présent est composé d'ovocytes dont le diamètre est inférieur à 0,5µm (Fig. 4). Le deuxième type de distribution est bimodal (type B). Il est rencontré chez les femelles dont les ovaires sont en développement. Cette distribution est caractérisée par la présence d'un deuxième lot qui se détache du premier. Ce mode est composé d'ovocytes dont les diamètres s'étalent entre 50 µm et 250 µm (Fig. 4). Le troisième type de distribution (type C) peut être rencontré chez les femelles en ponte. Cette distribution se caractérise par la présence de deux lots d'ovocytes. Le lot le plus évolué est composé par des ovocytes ayant un diamètre qui varie de 200µm à 550µm (Fig. 4). Le lot le moins évolué est formé par des ovocytes prévitellogéniques et de quelques ovocytes en vitellogenèse primaire et secondaire. Un hiatus apparaît entre les deux lots d'ovocytes, ce qui témoigne que *Squilla mantis* est une espèce à ponte unique par année. Le recrutement des ovocytes vitellogéniques est donc discontinu. Le quatrième type de distribution est observé chez les femelles en post-ponte et en récupération (type D). Le lot le plus avancé est pondu, il ne reste dans l'ovaire que les ovocytes prévitellogéniques et quelques ovocytes en vitellogenèse dont les diamètres ne dépassent pas 250 µm (Fig.4). Chez certaines femelles, on peut rencontrer des ovocytes ayant des diamètres supérieurs à 100 µm à la fin de la vitellogenèse secondaire qui vont devenir atrétiques. Le phénomène d'atrésie empêche les ovocytes restant dans les ovaires d'accomplir leur développement. En résumé, au cours d'un cycle sexuel, les distributions des diamètres ovocytaires chez les squilles tunisiennes passent successivement par les types A, B, C et D. Chez toutes les femelles en pré-ponte et en ponte, un seul lot d'ovocytes vitellogéniques est isolé du reste des ovocytes. On peut donc classer *Squilla mantis* parmi les espèces à ponte unique et par la suite à fécondité annuelle déterminée.

Fécondité

L'évaluation de la fécondité individuelle chez cette espèce à ponte unique peut être exprimée par la fécondité annuelle qui correspond au nombre d'ovocytes vitellogéniques chez les femelles en vitellogenèse avancée et en ponte (MILI, 2013). Les femelles sont rangées dans un intervalle de longueur totale de 83 à 198 mm englobant presque toute la gamme de taille des femelles adultes participant à la ponte. La plus petite femelle ayant une longueur totale de 83 mm présente une fécondité de l'ordre de 12.250, alors que la plus grande femelle productive (91.620 œufs) a mesuré 198 mm (Fig. 5). Pour toutes les femelles ayant un lot d'ovocytes individualisé, soit 203, les relations reliant la fécondité absolue à la longueur totale ont été déterminées (Fig. 5). Pour toutes les régions, *S. mantis* se caractérise par une grande variabilité de la fécondité absolue, la variation peut atteindre 2.000 ovocytes au sein d'une même classe de taille (Fig. 5). La fécondité absolue évolue proportionnellement moins vite que le cube de la longueur totale dans les trois golfes de cette étude. Toutes les corrélations sont hautement significatives et les coefficients de corrélation sont tous peu différents de 0,9 (Fig. 5).

En utilisant le test de Bartlett, la comparaison entre les fécondités absolues des squilles pêchées dans les golfes de Tunis, de Hammamet et de Gabès a montré une homogénéité des variances ($Bcorr=2,353>X^2=3,84$) à un intervalle de confiance de 95%. De ce fait, on a poursuivi la comparaison en analysant la covariance. La comparaison des pentes des droites logarithmiques de la fécondité en fonction

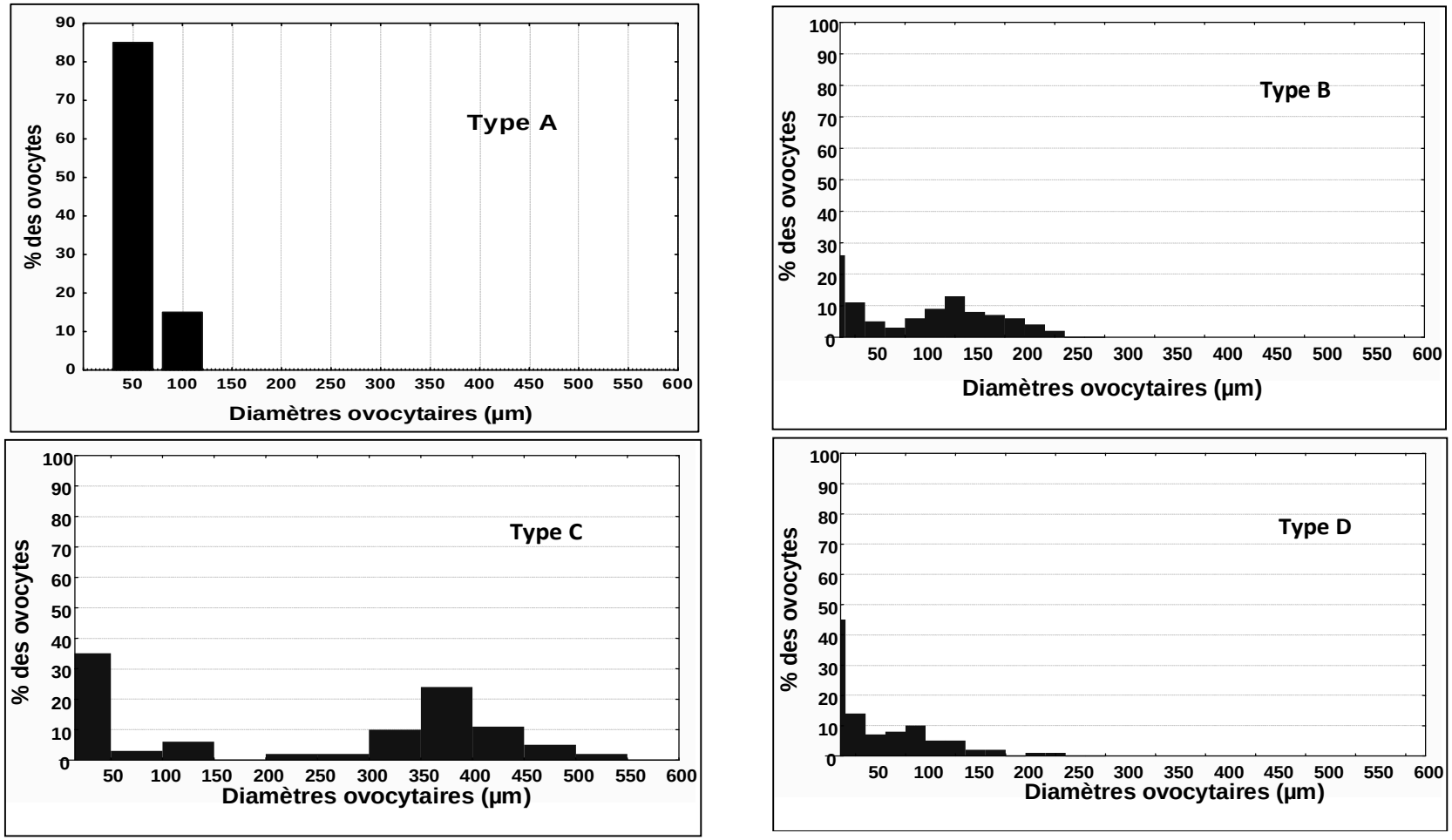


Figure 4 : Distribution des diamètres ovocytaires chez *Squilla mantis* durant les principales étapes du cycle sexuel. Type A : repos sexuel ; Type B : développement ovarien ; Type C : ponte ; Type D : post-ponte et récupération.

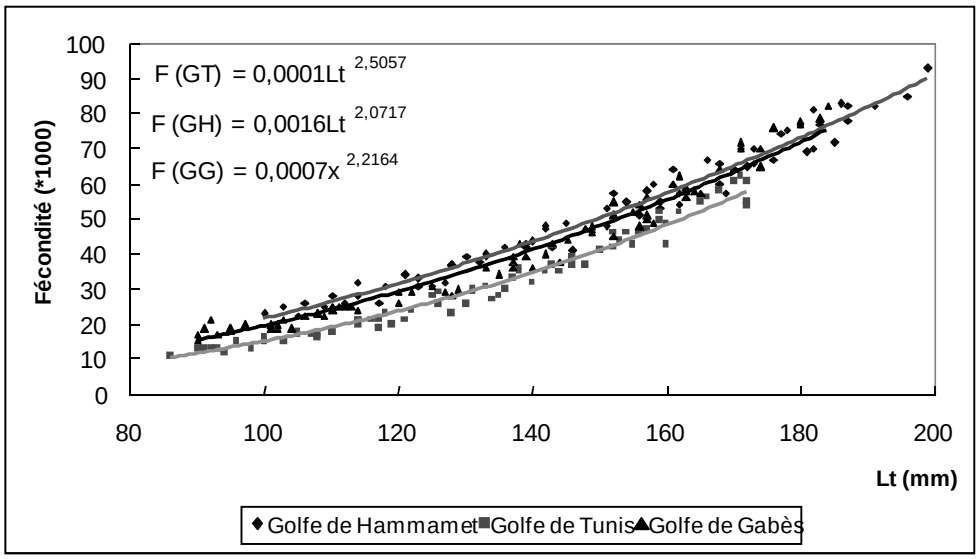


Figure 5 : Relations taille-fécondité absolue chez la femelle de *S. mantis* pêchées dans les golfes de Tunis, de Hammamet et de Gabès.

de la longueur des squilles a montré qu'au moins deux pentes différentes significativement entre elles (F obs=20,118>F thor=3,84) à un intervalle de confiance de 95%. Donc, les squilles tunisiennes ont des fécondités absolues significativement différentes entre les trois golfes. Dans l'intervalle de la classe de taille 83-198 mm de Lt qui couvre la plupart des classes de taille des femelles matures dans la population des squilles tunisiennes, la fécondité relative calculée se range entre 1165 œufs/g et 2181 œufs/g de squilles avec une moyenne de 1618±632 d'œufs/g de squilles.

DISCUSSION

L'étude de la biologie des Stomatopodes de la Méditerranée a débuté dés 1910 avec les travaux de Giesbrecht. Et depuis, les investigations se sont multipliées et elles ont presque touchées à tout les aspects relatifs à l'écobiologie de cette espèce (Abelló et Martín (1993); Abelló et Sardá (1989); Do Chi, (1975, 1978); Ferrero et *al.*, (1988). Giovanardi et Piccinetti-Manfrin (1983); Maynou et *al.*, (2005); Piccinetti et Piccinetti-Manfrin (1970); Ragonese et *al.*, (2012)). Cependant, aucune étude ciblant l'histologie des ovaires des femelles de squille *Squilla mantis* n'a été réalisée auparavant en Méditerranée. Donc, ce travail est le premier qui s'intéresse à cet aspect de la reproduction et qui permet de vérifier les résultats obtenus suite à l'étude des aspects macroscopiques de la reproduction. Il est à noter que nos résultats sont comparables à ceux obtenus par Kodama et *al.*, (2004) qui a étudié la reproduction chez une autre espèce de squille (*Ortosquilla oratoria*) au Japon. Ces auteurs ont divisé le cycle de développement ovocytaire au cours de l'ovogénèse en 8 stades en plus des follicules post ovulatoires et des ovocytes atrétiques pour vérifier les différentes phases du cycle sexuel de cette espèce et qui sont déjà déterminées macroscopiquement. Cependant, ces auteurs ont identifié 6 structures ovariennes tout le long du cycle sexuel de cette espèce. De plus, Froglia (1996) affirme qu'au centre de l'Adriatique, le pic de la maturité ovarienne est observé en février et mars où plus que 80% des femelles ont des ovaires matures. Ainsi, les femelles en post ponte sont rencontrées essentiellement entre avril et septembre dans cette région. L'utilisation des marqueurs biochimiques pour le suivi de la vitellogenèse a montré que la saison de ponte des squilles italiennes s'étale entre le mois de mai et le mois d'août pour entrer ensuite en phase de repos sexuel en septembre, alors que le début de la maturation est observé en hiver (Ferrero et *al.*, 1988). Ces auteurs signalent l'existence d'un léger décalage dans la détermination de la période de la maturation sexuelle en utilisant tous les indicateurs tel que le développement des glandes cémentaires, les stades macroscopiques de maturité ovarienne et les marqueurs biochimiques (Ferrero et *al.*, 1988). Ceci peut être expliqué par le fait que le cycle sexuel peut être influencé par les facteurs environnementaux (essentiellement la température), les facteurs tropiques qui peuvent agir sur l'ovogénèse, ainsi que le taux de croissance et le recrutement des juvéniles.

La fécondité de *S. mantis* a été estimée pour la première fois par GIESBRECHT (1910) et depuis

aucune étude ne s'est intéressée à ce paramètre biologique. Cet auteur signale que l'amas des œufs pondus peut dépasser 14 cm de long avec une fécondité de l'ordre de 50000 œufs par femelle. En revanche, *Ortosquilla oratoria* des eaux japonaises se reproduit une seule fois par an et sa fécondité est variable selon la longueur de l'individu (moyenne de 55700 œufs/an) (KODAMA *et al.*, 2004).

CONCLUSION

En conclusion, l'étude microscopique de la reproduction des squilles femelles des eaux tunisiennes confirme bien les résultats trouvés lors de l'étude macroscopique. Le cycle reproducteur de *Squilla mantis* s'étale de décembre à août avec une seule ponte par femelle et par an. Les squilles des eaux tunisiennes possèdent donc une seule période de reproduction au cours de l'année, située entre avril et septembre dans les trois régions de cette étude. Durant toute l'année, les femelles immatures sont plus représentées dans les captures issues du golfe de Gabès plus que des autres régions. Donc, les trois golfes (Tunis, Hammamet et Gabès) représentent des zones de frayères et de nurseries pour la squille *Squilla mantis.*

BIBLIOGRAPHIE

Abelló P. and Martín P., 1993. - Fishery dynamics of the mantis shrimp *Squilla mantis* (Crustacea: Decapoda) population off the Ebro Delta (northwestern Mediterranean). *Fish. Res.*, 16: 131-145.

Abelló P. and Sardá F., 1989. - Some observations on the biology and fishery of *Squilla mantis* L. in the Catalan area (NW Mediterranean). In: E. A. Ferrero (Mucchi Ed., Modena), *Biology of Stomatopods*, 229 -239.

Carson F. L., 1990. - Histology, A Self-Instructional Text pp. 142-144, and Plate 8-4.

Deecaraman M. and Subramoniam T., 1983. - Synchronious developpement of the ovary and the femele accesory sex glands of a crustacean, *Squilla holoschista.Proc Indian Acad. Sci. Anim Sci.*, 92: 179-184.

Do Chi T., 1975. - Biométrie de la reproduction de *Squilla mantis* (L.) (Crustacé Stomatopode) dans le golfe d'Aigues-Mortes (Méditerranée noroccidentale). *Pubbl. Staz. Zool. Napoli.*, 39: 114-139.

Do chi T., 1978 - Modèles cinétiques et structuraux en dynamique des populations exploitées. Application aux squilles, *Squilla mantis* (L.) (Crustacé Stomatopode) du golfe de Lion. *Thèse de Doctorat d'Etat de l'Université de Montpelier*.

Ferrero E. A., Marzari R., Mosco A. and Riggio D., (1988). - Dynamics of morphometric and biochemical parameters of the reproductive conditions of *Squilla mantis* fished by creels in the Gulf of Trieste. Use of VTGs as biochemical markers. *Boll. Soc. Adriatica Sci*., 70: 47-59.

Froglia C., 1996. - Grouth and behaviour of *Squilla mantis* (mantis shrimp) in the Adriatic Sea. *Final Report. EU Study* DG XIV/MED/93/016.

Gaamour A. 1999. - La sardinelle ronde *Sardinella aurita* dans les eaux tunisiennes : Reproduction, Croissance et Pêche dans la région du Cap Bon. *Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale*, 246 pp.

Giesbrecht W., 1910. - « Stomatopoda » Fauna und Flora des Golfes von Neapel. *Friedländer & So. Verlag, Berlin. Monographie*, 33: 1-239

Giovanardi C . and Piccinetti-Manfrin G., 1983. - Summary of biological parameters of *Squilla mantis* L. in the Adriatic Sea . *FAO Fish. Rep*. 290:131-134.

Kodama K., Shimizu T., Yamakawa T. and Aoki I., 2004. - Reproductive biology of the female Japanese mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* (Stomatopoda) in relation to changes in the seasonal pattern of larval occurrence in Tokyo Bay, Japan. *Fisheries Science*, 70: 734-745.

Le Duff M., 1997. - Cinétique de l'ovogenèse et stratégies de ponte chez les poissons Téléostéens en milieu tempéré. *Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale. France*, 170 pp.

Martoja R. & Martoja M., 1967. - Initiation aux techniques de l'histologie animale. *ed Masson*, Paris.

Maynou F., Abelló P. and Sartor P., 2005. - A review of the fisheries biology of the mantis shrimp, *Squilla mantis* (L., 1758) (Stomatopoda, Squillidae) in the Mediterranean. *Crustaceana*, 77: 1081-1099.

Mili S., 2013. - La squille *Squilla mantis* des eaux tunisiennes : Eco-biologie, pêche et opportunités de valorisation. *Thèse de Doctorat de l'Institut National Agronomique de Tunisie*, 195pp.

Piccinetti C. and Piccinetti-Manfrin G., 1970. - Osservazioni su alcuni aspetti della biologia di *Squilla mantis* L. *Pubbl. Staz. Zool. Napoli*, 38: 119-124.

Ragonese S., Morara U., Canali E., Pagliarino E. and Bianchini M.L., 2012. - Abundance and biological traits of the spot-tail mantis shrimp, *Squilla mantis* (L., 1758) (Crustacea: Stomatopoda), off the southern coast of Sicily. *Cah. Biol. Mar.*, 53: 485-493.

Rjeibi O., 2012. - Biologie et Dynamique des Populations de la langouste rouge *Palinurus elephas* pêchée sur les côtes Nord de la Tunisie. *Thèse de Doctorat de l'Institut National Agronomique de Tunis*, 277 pp.

Wortham-Neal J. L., 2002. - Reproductive morphology and biology of male and female mantis shrimp (Stomatopoda: Squillidae). *Jour. of crust. Biol.*, 22(4) : 728-741.

Age and Growth estimation of forkbeard *Phycis phycis* (Linnaeus, 1766) [Actinopterygii, Gadiform, Phycidae] from the Gulf of Tunis

Ahlem ROMDHANI*, K. MAHE, J.L. DUFOUR** and M.H. KTARI***

*Laboratoire de biologie et biodiversité des populations, Faculté des sciences Tunis, Campus Universitaire El Manar II, 2092, Tunis, Tunisie. romdhani.ahlem@gmail.com

**Institut Français de Recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER), Pôle de Sclérochronologie, 150 Quai Gambetta, B.P. 699, 62321 Boulogne-sur-Mer, France.

ملخص

دراسة العمر و النمو عندسمك البقالو (مزداية) فى خليج تونس : يهدف هذا العمل إلى تقدير العمر و تحليل نسق النمو عند الأسمك من نوع البقالو (مزداية). تضم العينات التى تم جمعها بصفة شهرية،272سمكة في الفترة الممتدة بين سبتمبر 2007 و جوان2010 .

بينت دراسة العلاقة بين الطول و الوزن أن الوزن ينمو أكثر من الطول الكامل لدى البقالو. هذا و قد أفضى تحليل العلاقة بين طول السمكة و وزن حصاة الأذن إلى وجود تناظر بين حصاتي الأذنين اليسرى و اليمنى.

و قد تبين من خلال دراسة العلاقة بين وزن و قطر حصاة الأذن اعتمادا على عمر السمكة، أنه لا توجد فروق بين الذكور والإناث. هذا و أن دراسة العلاقة بين الطول و العمر بينت أن الإناث تبلغ43، 73صم أقصى طولا بينما لا تبلغ الذكور إلا 68 صم. أما مؤشر النمو فهو أحسن عند الإناث (Φ= 2،929) مقارنة بالذكور (Φ =2,883).

الكلمات المفاتيح: البقالو، خليج تونس، العمر، حصاة الأذن، العلاقة بين الطول و الوزن.

ABSTRACT

The age and growth of *Phycis phycis* (Linnaeus, 1766) were studied from a sample of 272 specimens collected in the Gulf of Tunis landings of the small-scale artisanal fisheries between September 2007 and June 2010.Length-weight relationships were allometrically positive for the females ($TW = 0.0083*TL^{3.0703}$), males ($TW= 0.0063*TL^{3.1471}$), and both sexes ($TW= 0.0082*TL^{3.0759}$).No significant differences were found between males and females (ANCOVA, p = 0.426). Symmetry between the right and left otolith was compared. The relation between the total length (TL) of fish and the weight of the otolith (Wo) did not show a significant difference between the right (Wo = 0.12 TL – 0.163) and left otolith (Wo = 0.11 TL – 0.124) (ANCOVA, p>0.05). The relationships between otolith radius and otolith weight with age, showed that there are no significant differences between males and females (ANCOVA, p>0.05). The growth parameters for females ($TL = 73.43 (1 - e^{-0.158 (t+1.709)})$), males ($TL = 67.51 (1 - e^{-0.168 (t+1.993)})$) and all sample ($TL = 65.73 (1 - e^{-0.135 (t+2.025)})$) were estimated. The females, with L∞ = 73.43 cm, grew faster than the males, which L∞ did not exceed 68 cm. Consequently, the index of growth performance (Φ: cm/an) of the females (Φ=2.929) was higher than that of the males (Φ=2.883).

***Keywords**: Phycis phycis*, Gulf of Tunis, age, otolith, growth.

RESUME

Age et croissance chez la mostelle de roche *Phycis phycis* (Linnaeus, 1766) [Actinoptérygiens, Gadiformes, Phycidae] dans le Golfe de Tunis : L'objectif de ce travail est l'estimation de l'âge et du rythme de croissance de *Phycis phycis* (Linnaeus, 1766) ; 272 spécimens ont été collectés à partir de la pêche commerciale dans le golfe de Tunis entre septembre 2007 et juin 2010. L'étude de la relation taille-masse indique une croissance pondérale majorante chez les mâles, les femelles ainsi que tout l'échantillon avec les sexes groupés. Cette étude ne montre pas de différence significative entre les deux sexes (ANCOVA, p = 0,426). Chez *Phycis phycis*, la relation entre la taille du poisson (Lt) et le poids de l'otolithe (Wo) ne montre pas de différence significative entre les otolithes droit (Wo = 0,12 Lt – 0,163) et gauche (Wo = 0,11 Lt – 0,124) (ANCOVA, p>0,05). Aussi, nous avons pu identifier une symétrie entre les deux otolithes sagittaux d'un même individu. Le suivi de l'évolution du poids de l'otolithe (Wo) et de son rayon (Ro) en fonction de l'âge du poisson, montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les mâles et les femelles (ANCOVA, p>0,05). La relation taille-âge a été étudiée pour les femelles ($Lt = 73,43 (1 – e^{-0,158 (t+1,709)})$), pour les mâles ($Lt = 67,51 (1 - e^{-0,168 (t+1,993)})$) et pour l'ensemble des individus ($Lt = 65,73 (1 - e^{-0,135 (t+2,025)})$). La longueur maximale théorique (L∞) indique que les femelles peuvent atteindre une taille de 73,43 cm alors que celle des mâles n'excède pas 68 cm. L'indice de performance de croissance (Φ) (cm/an) indique une meilleure croissance chez les femelles (Φ=2,929) que chez les mâles (Φ=2,883).

***Mots clés** : Phycis phycis*, golfe de Tunis, âge, otolithe, croissance pondérale.

INTRODUCTION

The forkbeard, *Phycis phycis* (Linnaeus, 1766), is a common fish with a wide distribution, extending in the Northeast Atlantic coast from Bay of Biscay to Mauritania, Azores, Madeira Islands and Canary Islands (Cohen *and al*., 1990 ; Whitehead *and al*.,1986 ; Fisher *and al*., 1987), the species is also known throughout the Mediterranean Sea, the Black Sea and the Adriatic.

In Tunisia, *P. phycis* is present on the northern and eastern coasts, but absent in the Gulf of Gabes (Bouhlel, 1979). *P.phycis* is a benthopelagic species, living in the hard and sandy-muddy bottoms near rocks at 100 to 650 m, but sometimes it is present at greater depths (Cohen *and al*., 1990); it is common in inshore waters between 100 m and 200 m depth (Quéro *and al*., 2003; Whitehead *and al*., 1986). Information on the age and growth of the *P.phycis* are very scarce.

Despite its wide distribution, most data on biology of this species, such as feeding, reproduction and age and growth are limited to the Atlantic Ocean, namely the Azores Islands (Morato *and al*., 1999; Costa Abecasis *and al.*, 2009), the Portuguese coasts (Mendes *and al*., 2004; Vieira *and al*., 2013), and to the Adriatic Sea (Dulčić and Kraljević, 1996; Matić-Skoko *and al*., 2011;) and the Mediterranean Sea (Morey *and al.*, 2003; Karakulak *and al.*, 2006; Valero *and al*., 2006).

In the Eastern Tunisian coasts, only one study has examined a single study focused the anisakid nematode parasites of *P. phycis* (Farjallah *and al*., 2006). Little is known on about the biology of this economically exploited species along off the Tunisian coast. Basic and biological information are required for the sustainable management of the stock. This paper aims to determine the age and growth of forkbeard from samples collected in the Gulf of Tunis (north Tunisian coasts) and to compare the present results on age and growth parameters with those reported from other geographic areas.

MATERIEL AND METHODS

A total of 272 individuals were collected monthly between September 2007 and June 2010 from the contribution of commercial fishing in the Gulf of Tunis. In the laboratory, total length (TL in cm) and total weight (TW in grams) were measured for each specimen.

The length-weight relationship was performed by the equation: $TW = a.TL^b$ (Ricker, 1975), Then, the fish otoliths are cleaned, dried, weighed (Wo, precision 0.001 mg) and are stored in paper envelopes until the date of their setting out resin.

Otoliths of *Phycis phycis* are opaque and too thick, thus the rings of growth are not clearly identifiable by simple direct lecture. So, it is necessary to carry out mean cross sections, passing through the core (*nucleus*) of the otoliths.

The right otolith were immersed in black polyester resin and cut in thin slices with a high speed cutting automatic Slicer brilliant 250® of Escil. Whole sections were viewed under a binocular magnifying glass connected to a numeric camera coupled to a computer equipped with image processing software TNPC (Digital Processing of the Calcified parts, software developed by IFREMER). The observation of annuli is carried out under reflected light. During the reading, alternations of opaque and translucent zones were checked by two readers. It was assumed that annulus formation began 1st January corresponding to the peak of the species spawning. The periodicity of ring formation in otoliths was checked by calculating increase between the last and the before last ring or marginal increment:

$$MI = R-r_n / r_n-r_{n-1}$$

Where R is otolith radius, r_n is the distance between the edge and the last growth ring and r_{n-1} is the distance between the edge and the second last growth ring.

The monthly evolution of marginal increment allows to fix the season of the annuli appearance and to know its periodicity.

Many mathematical models translating the length growth according to their ages; we propose the most used one: the model of von Bertalanffy (1938):

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t - t_0)})$$

$$W_t = W_\infty (1 - e^{-k(t - t_0)})^3 \text{ with } W_\infty = a L_\infty^b$$

(Ricker, 1975)

With k: the growth constant, Lt: length-at-age, L_∞: the predicted asymptotic length, W_∞: the predicted asymptotic weight, t_0: the age at zero length and W_t: the weight at age.

Moreover, indexes were developed to analyse the growth such as: Index of performance of growth Φ (in cm.year^{-1}) (Pauly and Munro, 1984) that allows the comparisons of the growth between different populations from the same species and between several species: Φ=log (K) +2log (L∞), where k and L_∞ are the parameters of von Bertalanffy equation.

The determination of the parameters of the model (L_∞, k and to) and all the statistical analyses were conducted using the open-source statistical package "R" (http://www.r-project.org/) and the text editor chock R (http://sourceforge.net/projects/tinn-r/).2007

RESULTS

The total sample of272 individuals is composed of 38males (14%) and 205 were females (75.34%). The sex of the remaining 29 individuals could not be macroscopically determined because they had immature gonads (10.66%). Females ranged in size from 14.5 to 51.5 cm TL and males ranged from 20.9 to 55.5 cm TL (Fig.1). The mean total length of females (TL =28.95 ± 1.7 cm) was not significantly different (Mann-Witney U test; n= 243; p = 0.38) from that of males (TL =32.5 ± 2.5 cm). Immature individuals were found at TL between 19.2 and 26.6 cm (TL =23.5 ± 1.2 cm). The total weight of fish was between 45 and 1473 g (TW = 308.61 ± 7.8 g) for females, between 90 and 1779 g (TW = 431.7 ± 8.6 g) for males and between 71 and 207 g (TW = 126.35 ± 3.5 g) for undetermined sex. Mean total weight was not significantly different between sexes (Mann-Witney U test; n= 243; p = 0.51).

Length-weight relationship:

Length-weight regression parameters estimated for males, females and the whole sample are presented in table I. The statistical analysis indicate a major allometry for females ($TW= 83.10^{-4}*TL^{3.070}$), males ($TW = 63.10^{-4}*TL^{3.147}$) and for the total sample ($TW = 82.10^{-4}*TL^{3.075}$). The length-weight relationship, showed that there is no significant difference between males and females (ANCOVA, p = 0.426) and consequently the total sample showed an isometry between length and weight.

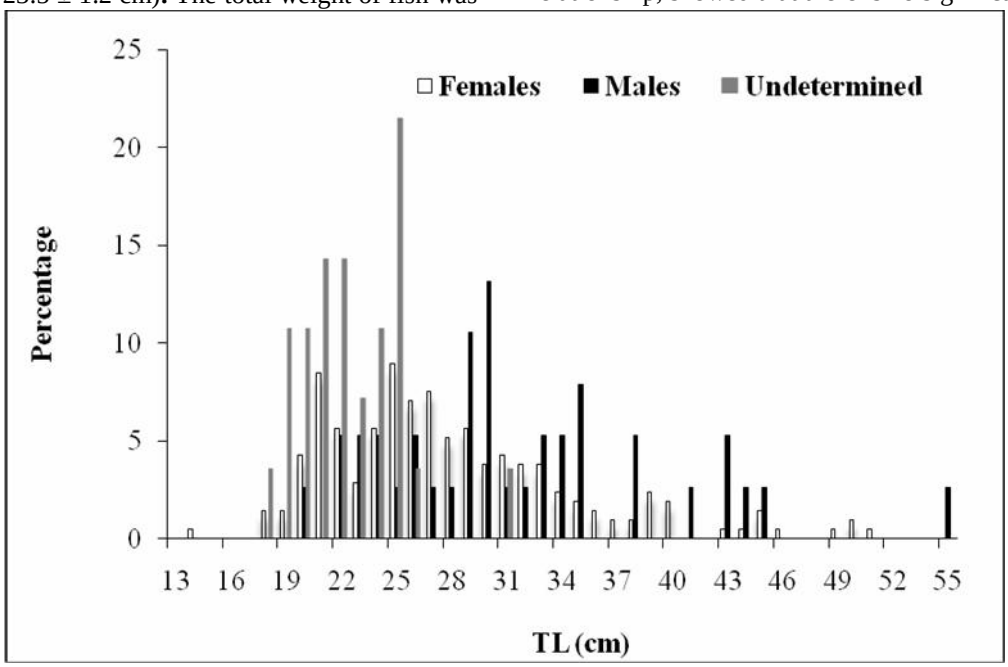


Fig 1. : Length-frequency distribution of undetermined, males and females of *Phycis phycis* from the Gulf of Tunis.

Table I. Parameters of the length-weight relationships for females, males and all individuals of *Phycis phycis* in the Gulf of Tunis.

Sex	a	b	Se (b)	n	r²	p	Growth type
Males	63.10^{-4}	3.147	0.077	38	0.978	0.00	A+
Females	83.10^{-4}	3.070	0.038	205	0.968	0.00	A+
Total	82.10^{-4}	3.075	0.034	243	0.970	0.00	A+

a: intercept, b: slope, s.e (b): standard error of b, n:sample size, r²:coefficient of determination.

Symmetry of otoliths and fish size relationships

Symmetry between the right and left otolith was compared. Fish total length (TL) and weight of the otolith (Wo) were closely correlated (r^2=0.913) (Fig.2). The relation between total length of fish versus weight of the right (Wo = 0.12 TL - 0.163) and left (Wo = 0.11 TL - 0.124) otolith did not show a significant difference (ANCOVA, p > 0.05).

A power relationship was estimated between total length versus otolith radius. The linear regression between the log-radius of the otolith and the log-total length of the fish indicate a good correlation between the two variables (r = 0.932) (Fig.3).

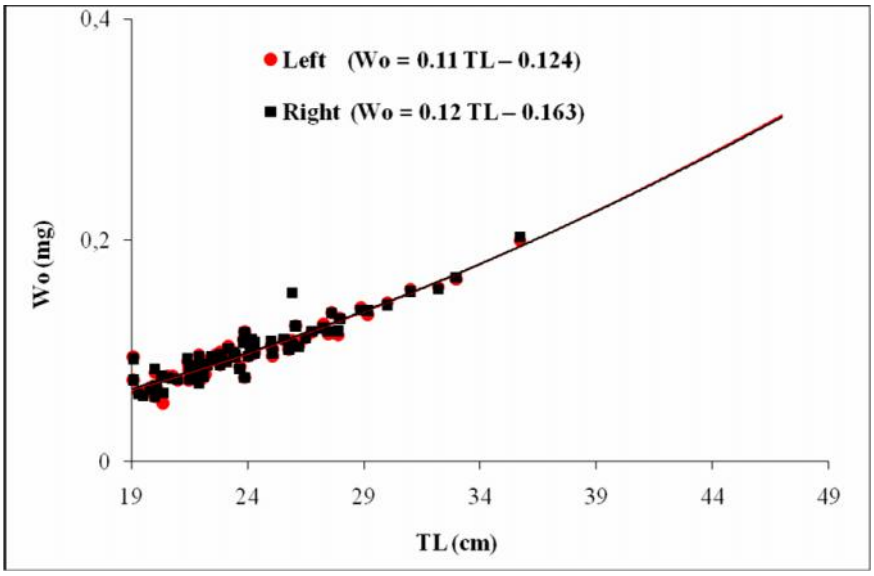


Fig 2. : Linear regression between TL/Wo of *Phycis phycis*.

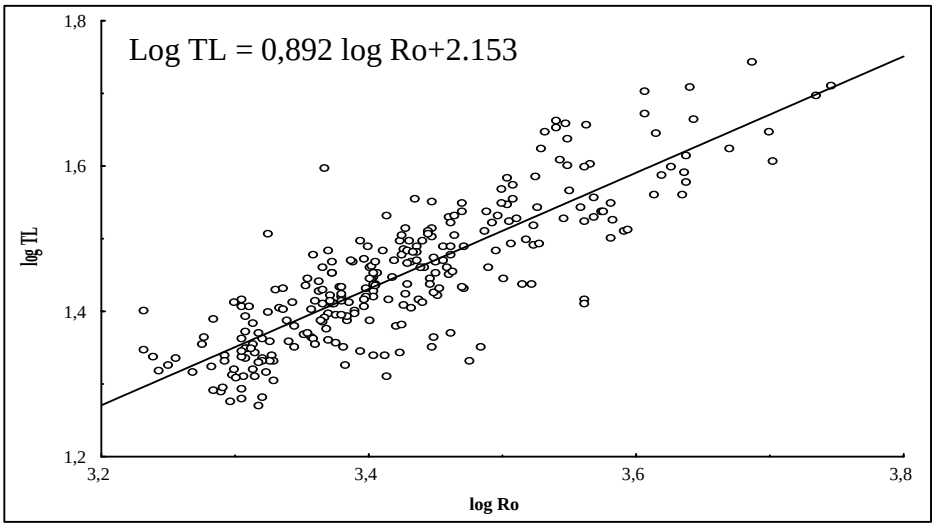


Fig 3. : Relationships between otolith radius (Ro) and total length (TL) in cm of *Phycis phycis* of the Gulf of Tunis.

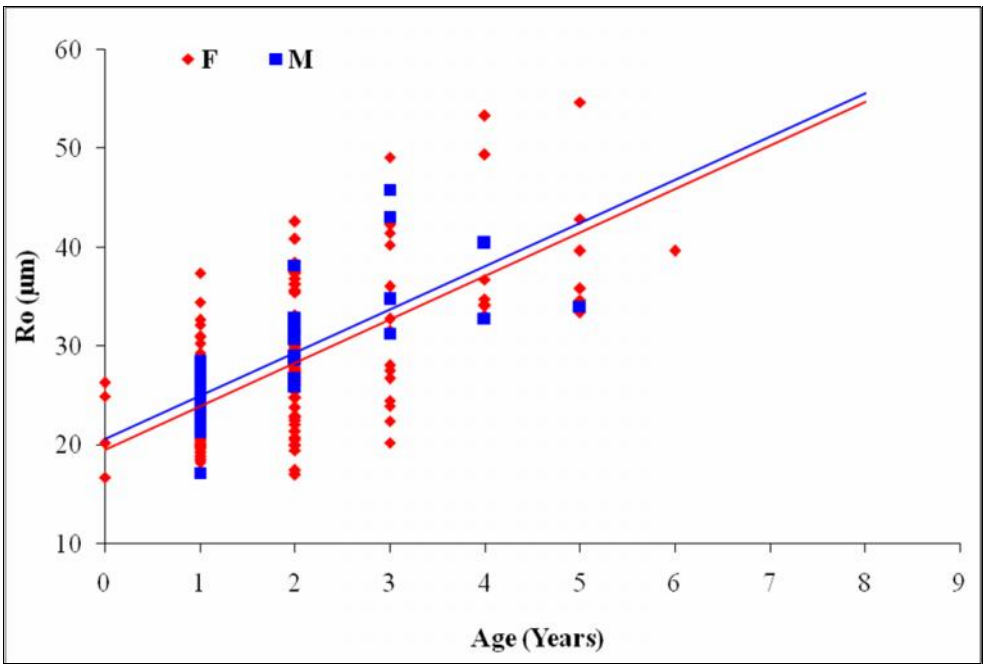
Relation Age-Ro

The relationship between otolith *radius* and age showed that there are no significant differences between males, females and all individuals (Fig.4.A). Moreover, the comparison of the relation Age-Ro for males and females didn't show a significant differences between slopes and intercept (ANCOVA, p = 0.512).

Relation Age-Wo

The gender analyse for relationship between otolith weight (Wo) with age, did not show a significant differences between males, females and all individuals. However, the weight of the male otolith grew faster than females ones (Fig.4.B). On the other hand, the differences were statistically significant between slopes and intercepts for males and females (ANCOVA, p =0.0084).

A



B

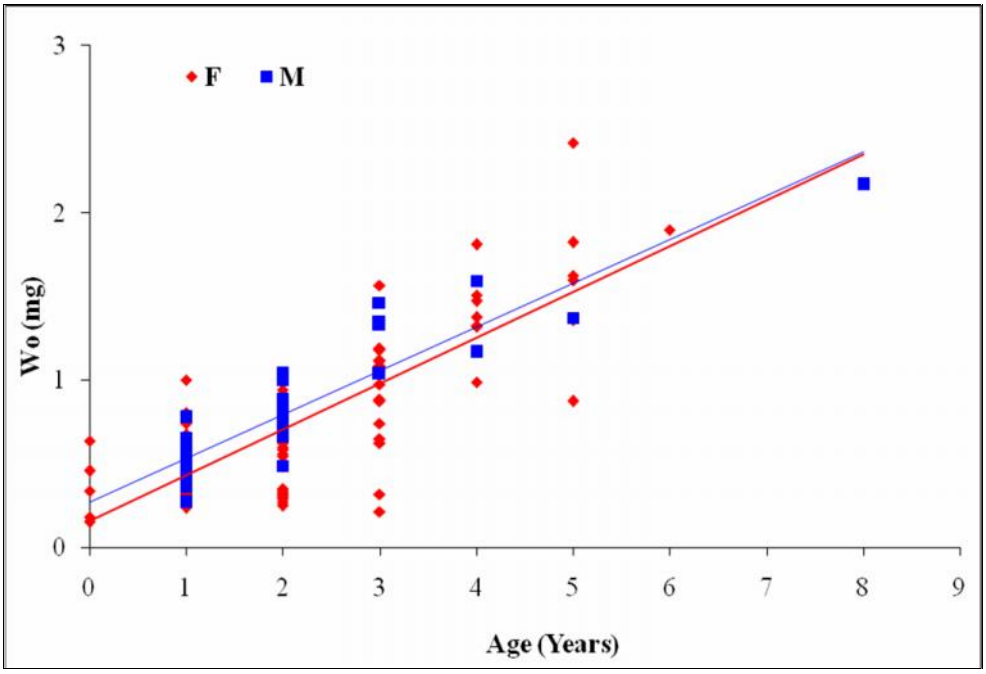


Fig 4. : Relationship between radius Ro (**A**) and weight Wo (**B**) otolith to age for *Phycis phycis* of the Gulf of Tunis.

Age and growth

All sectioned otoliths had opaque and translucent zones. These zones appeared on all axes, but were clearest in the dorsal area of the otolith. Most otoliths showed several check rings and double bands in the ventral area. The *nucleus* itself was usually delimited by a distinct translucent growth increment.This first ring considered as "demersal" check, was characteristically more distinct and less broader than subsequent translucent zones was interpreted as a transition (demersal) zone, formed as a result of a change in diet/environment from a pelagic to a demersal habit. But, we have no information to confirm this interpretation.

Marginal increments were measured for males and females. The active period of marginal increment is located between October and January. The lowest monthly mean marginal increments were recorded in May-June (Kruskal-Wallis test, p=0.39). A single *annulus* was formed per year (Fig.5).

The age-length relationship was studied from the age-length key (Table II). Estimated Ages were ranged between 0 and 8 years; the minimum observed length, corresponding to age 0 was 23 cm. The growth function indicated that the males and females grow rapidly during the first 2 years and reached a size (TL) of about 32 cm for males and 31 cm for females. The von Bertalanffy growth equations fitted to fish length and age data were: TL = 67.51 $(1 - e^{-0.168 (t+1.993)})$ for males and TL = 73.43 $(1 - e^{-0.158 (t+1.709)})$ for females.The *P. phycis* growth curves were similar for the two sexes till the3 years old (Fig.6). Consequently, the index of performance for females (Φ=2.9 cm/year) is identical with that of males (Φ=2.8 cm/year).

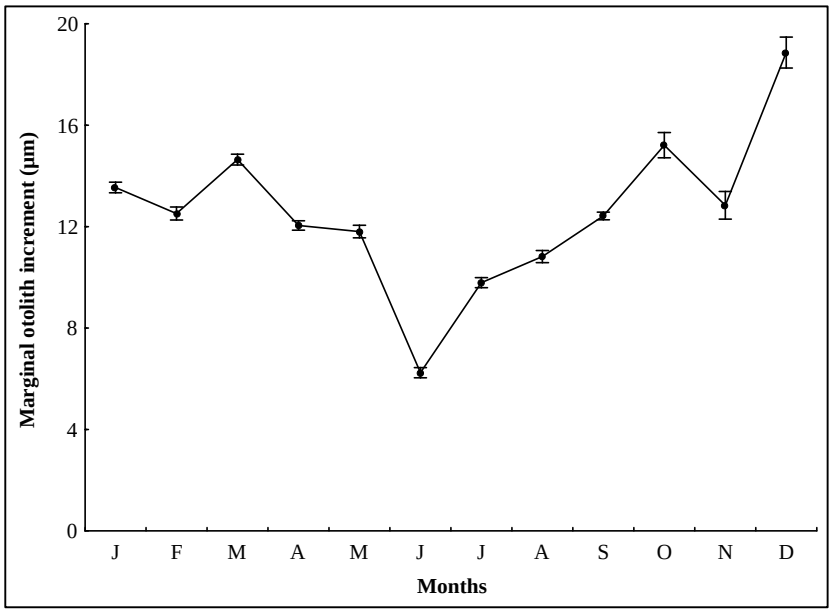


Fig 5. : Mean monthly marginal increments of otoliths for *Phycis phycis* of the Gulf of Tunis.

DISCUSION

In spite of the sampling effort, samples were not representative for the entire population size structure with small individuals (<14.9 cm TL) as well as individuals larger than 55.5 cm TL being scare, as a result of the long line size selectivity and the natural scarceness of larger individuals in the populations.

The weight-length relationships parameters for *P.phycis* from different areas are given in table III. The slope coefficient varied between 3.001 and 3.500 showing that the type of growth is a positive allometry for both males and females. The weight-length relationship is a practical index of the condition of fish (Mouine *and al.*, 2010). Changes in fish shape, physiological changes, hydrological environmental conditions, different food availability during life and biological span, growth increment or break in growth can all influence the growth exponent b (Torcu-Koc *and al.*, 2004).

Age estimation in fishes is complicated by the phenomenon of “stacking” of growth zones towards the otolith margin, particularly in older fish; in many cases age determination is difficult because whole otoliths are so thick that light does not pass through (Buxton and Clarke, 1991). The otoliths of *P. phycis* have a ring pattern common to teleost fishes. Marginal increment analysis demonstrated that one *annulus*, consisting of one opaque zone and one hyaline zone, is formed annually. These rings are believed to be deposited during periods of fast and slow growth, respectively. Seasonal growth cycles might be related to physiological changes produced by the influence of temperature, feeding habits and reproductive cycle (Morales-Nin and Ralston, 1990). The von Bertalanffy growth model reveals the reduction of somatic growth and the formation of the hyaline zone during May and June. The high correlation found between TL and otolith *radius* indicates that otoliths are a useful structure for estimating the age and for indicating the past growth history of Forkbeard. The use of the von Bertallanfy

Table II. Age-length key for females and males of *Phycis phycis* of the Gulf of Tunis.

Age	1		2		3		4		5		6		8	
Sex	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M
Length (cm)														
15														
19	4													
20	3													
21	7	1	2											
22	15		3		1									
23	8	2	3		1									
24	4	1	2	1										
25	10	2	2											
26	17	1	2											
27	12	2	3											
28	15	1												
29	7	1	4											
30	3	2	6	2	3									
31	3	3	5	2										
32	2		7	1										
33			6	1	2									
34	1		7	2										
35			4	2			1							
36	1		1	3	2									
37	1				2									
38					2									
39			1		1	1		1						
40	1		1		2		1							
41			1				2							
42						1	1							
44					1	1		1						
45									1	1				
46						1	1		2					
47									1					
50							1							
51									1		1			
52									1					
56														1
Mean (cm)	25.63	27.01	30.13	32.47	34.41	42.6	41.98	41.45	47.61	45	50.5			55.5
s.e	0.35	0.80	0.60	0.87	1.45	1.60	1.85	2.85	1.24	-	-			-
N	114	16	60	14	17	4	7	2	6	1	1			1

model to describe growth has been criticized for several reasons (Booth, 1997). These include the use of parameters that have a little biological meaning (Schnute, 1981) and the absence of parameters that take into account seasonal changes in growth rate (Pauly, 1980; Moreau, 1987). Nevertheless, the von Bertallanfy growth model has been used extensively to describe the growth of Forkberad. The growth model provides a simple description of growth which can be compared between species and group of species (Booth, 1997).

The von Bertalanffy parameters estimated for the Forkbeard showed that it has a relatively slow growth reaching 8 years old. Although the maximum TL

Table III. Parameters of the length-weight relationship of *Phycis phycis* by authors and study area.

Authors	Localities		N	min	max	a. (10^{-4})	b	s.e. (b)	r^2
Papaconstantinou *and al.* (1989)	Kastellorizo area		270	18	52	0.01	3.001	-	-
Dulčić and Kraljević (1996)	Eastern Adriatic (Croatian waters)		58	26.2	56.4	0.002	3.5	0.108	0.97
Morato *and al.* (2001)	Azores, north-eastern Atlantic		42	11.1	59.5	69	3.13	0.044	0.99
Morey *and al.* (2003)	Western Mediterranean		96	10.6	48.4	45	3.26	0.098	0.98
Mendes *and al.* (2004)	Portuguese west coast		45	17.2	50.5	64	3.14	-	0.97
Karakulak *and al.* (2006)	North Aegean Sea (Turkey)		59	13.7	44.5	52	3.18	0.045	0.98
Vieira *and al.* (2013)	Portuguese continental waters	Males	317	-	-	42	3.25	-	0.99
		Females	368	-	-	49	3.22	-	0.98
Present study	Gulf of Tunis	Males	38	20.9	55.5	63	3.147	0.077	0.97
		Females	205	14.5	51.5	83	3.070	0.038	0.96
		All sample	243	14.5	55.5	82	3.075	0.034	0.97

n: simple size; min and max: minimum and maximum total length (TL); a and b: parameters of the relationship; s.e (b): standard error of the slope b; r^2: coefficient of determination.

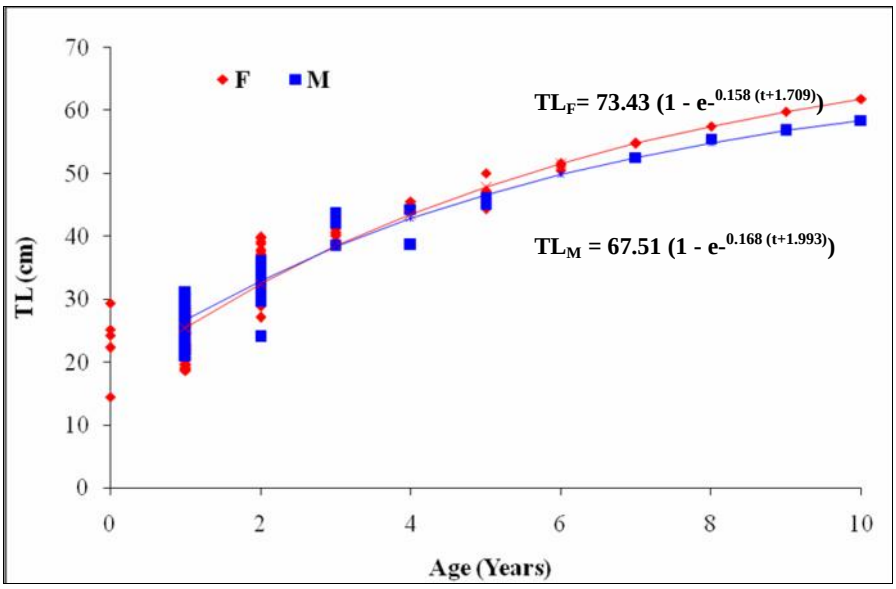


Fig 6. : The von Bertalanffy curve estimated for the males (M) and females (F) of *Phycis phycis* of the Gulf of Tunis.

recorded in the present study was 55.5 cm, the historical record of 74 cm TL (Pinho, 2003) is close to the estimated L_∞ of 65.73 cm. The Forkbeard did not show dimorphism in growth, even though differences in growth between sexes are a common feature among related gadidae such as *Phycis blennoides* (Casas and Piñeiro, 2000). In addition, when we compare the parameters obtained by this study with those of literature in different geographic areas, we become aware of large differences in L_∞,k and t_0(Table IV). The historical records prior to this study were: 79.6 cm (Costa Abecassis *and al.*, 2009) and 74.14 cm (Vieira *and al.*, 2013). They were different to the L_∞ estimated for combined sexes (65.73 cm). The maximum age observed in this study is very different from that reported for the Portuguese continental waters, where the maximum age reported was 18 years old.

Table IV. Biogeographic comparison of von Bertalanffy growth function parameters and growth performance index (Φ) of *Phycis phycis*.

Authors	Localities	Sex	TL_∞ (cm)	k ($year^{-1}$)	t_0 (year)	N
Costa Abecassis *and al.* (2009)	Azorean archipelago, North Atlantic	All sample	79.60	0.09	1.88	477
		Males	85.30	0.08	2.31	241
		Females	80.50	0.09	1.53	227
Mati´c-Skoko *and al.* (2011)	South-eastern Adriatic Sea (Elafiti Islands)	Males	75.18	0.15	0.70	254
		Females	59.08	0.24	0.33	385
Vieira *and al.* (2013)	Portuguese continental waters	All sample	74.14	0.10	2.09	687
		Males	74.84	0.10	2.00	318
		Females	75.56	0.10	2.19	369
Present study	Gulf of Tunis	All sample	65.73	0.135	2.02	272
		Males	67.51	0.168	1.99	38
		Females	73.43	0.158	1.71	205

TL∞: asymptotic length; k: growth coefficient; t_0: theoretical age at zero length; N: sample size.

BIBLIOGRAPHY

Bouhlel M., 1979 - Les Gadidés des côtes Tunisiennes : Systématique, Répartitionet associations écologiques. *Bull. Inst. Natn. Scient. Tech. Océanogr. Pêche Salammbô*., 6: 5-40.

Booth A. J., 1997 – On the life history of the lesser gurnard (Scorpaeni-formes : Triglidae) inhabiting the Agulhas Bank, South Africa. *J. Fish. Biol*., 51: 1155-1173.

Buxton C. D. & Clarke J. R., 1991 – The biology of the white mussel cracker *Sparadon durbanensis* (Pisces: Sparidae) on the Eastern Cape Coast, South Africa. S. Afr. *J. Mar. Sci*., 10: 285-296.

Casas J.M & Piñeiro C., 2000 - Growth and age estimation of greater fork-beard (Phycis blennoides Brünnich, 1768) in the north and northwest of the Iberian Peninsula (Ices Division VIIIc and IXa). *Fish. Res*., 47: 19-25.

Cohen D.M., Inada T., Iwamoto T., & Scialabba N., 1990 - FAO species catalogue. Vol. 10. Gadiform fishes of the world (Order Gadiformes). An annotated and illustrated catalogue of cods, hakes, grenadiers and other gadiform fishes known to date. FAO Fish. Synop., 10 (125), 442 pp.

Costa Abecasis A.R., Canha A., Reis D., Ruio Pinho M., & Gil-Pereira J., 2009 - Age and growth of the forkbeard *Phycis phycis* (Gadidae) from the Azorean archipelago, North Atlantic. *J. Mar. Biol. Ass. U. K*., 89 (3): 629–633.

Dulčić J., & Kraljević M., 1996 - Weight–length relationships for 40 fish species in the eastern Adriatic (Croatian waters). *Fish. Res*., 28: 243-251.

Farjallah S., Ben Salimane B., Bilel H., Amor N., & Khaled S., 2006 - Anisakid parasites of two forkbeards (*Phycis blennoides* and *Phycis phycis*) from the eastern Mediterranean coasts in Tunisia. *Parasitol. Res*., 100: 11–17.

Fisher W., Schneider M., & Bauchot M.L., 1987 - Fiches FAO d'Identification des espèces pour les besoins de la pêche (Révision 1). Méditerranée et mer Noire. Zone de pêche 37. Vol. II. Vertébrés, FAO, Rome, pp.1530.

Karakulak F.S., Erk H., & Bilgin B., 2006 - Length–weight relationships for 47 coastal fish species from the northen Aegean Sea, Turkey. *J. Appl. Ichtyol*., 22: 274-278.

Matić-Skoko S., Ferri J., Škeljo F., Bartulović V., Glavić K., & Glamuzina B., 2011 - Age, growth and validation of otolith morphometrics as predictors of age in the forkbeard, *phycis phycis* (Gadidae). *Fish. Res*., 112: 52-58.

Mendes B., Fonseca P., & Campos A., 2004 - Weight–length relationships for 46 fish species of the Portuguese west coast. *Journal of Applied Ichtyology*. 20, 355-361.

Morales-Nin B., & Ralston S., 1990. – Age and growth of *Lutjanus kasmira* (Forskal) [sci] in Hawaiian waters. *J. Fish. Biol*., 36: 191-203.

Morato T., Solà E., Grós M.P., & Menezez G., 1999 - Diets of forkbeard (*Phycis phycis*) and conger eel (*Conger conger*) off the Azores during spring of 1996 and 1997. *Arquipélago. Life and Marine Scienc*G. *es*., 17A: 51-64.

Morato T., Afonso P., Lourinho P., Barreiros J.P., Santos R.S.,& Nash R.D.M., 2001- Length–weight relationships for 47 coastal fish species of the Azores, north-eastern Atlantic. *Fish. Res*., 50: 297-302 pp.

Morey G., Moranto J., Massuti E., Grau A., Linde M., Riera F., & Morales-Nin B., 2003 - Weight–length relationships of littoral to lower slope fishes from the western Mediterranean. *Fish. Res.*,62: 89-96.

Moreau J., 1987 – Mathematical and biological expression of growth in fishes: recent trends and further developments. *In* Age and growth of fish (R. C. Summerfelt and G. E. Hall, eds.), p. 81-113. Iowa State Univ. Press, Ames, IA.

Mouine N., Ktari M.H.,& Chakroun-Marzouk N., 2010 - Age and growth of *Diplodus vulgaris* (Sparidae) in the Gulf of Tunis. *Cybium*., 34 (1): 37-45.

Papaconstantinou C.,& Caragistou E., 1989- Feeding interaction between two sympatric species *Pagrus pagrus* and *Phycis phycis* around Kastellorizo Island (Dodecanese, Greece). *Fish. Res*., 7: 329-342.

Pauly D., 1980 – on the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean enviromental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. Int. Explor. Mer*., 39: 175-195.

Pauly D., & Munro J.L., 1984 - Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. *ICLARM Fishbyte*., 2 (1): 21.

Pinho M. R., 2003 – Abundance estimation and management of Azorean demersal species. PhD thesis. Department of Oceanography and Fisheries, University of the Azores, Horta, Portugal.

Quéro J.C., Porché P., & Vayne J.J., 2003 - Guide des poissons de l'Atlantique européen, Delachaux and Nieslé. 465 p.

R Development Core Team, 2007. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URLhttp://www.R-project.org.

Ricker W.E., 1975 - Computation and interpretation of the biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board. Canada*., 191: 1-382.

Schnute J., 1981 – A versalite growth model with statistically stable parameters. Canadian J. *Fsh. Aqua. Scien*.. 38: 1128-1140.

TNPC 5.0 : Traitement Numérique des Pièces Calcifiées, URL http://www.tnpc.fr.

Torcu-Koc H., Türker-Cakir D.,& Dulčić J., 2004 - Age, Growth and mortality of the Comber, Serranus Cabrilla (Serranidae) in the Edremit Bay (New Aegean Sea, Turkey). *Cybium*., 28 (1): 19-25.

Valero A., Paniagua M.I., HierroI., Díaz V., Valderrama M.J., Benítez R., & Adroher F.J., 2006 -Anisakid parasites of two forkbeards (*Phycis blennoides* and *Phycis phycis*) from the Mediterranean coasts of A ndalucía (Southern Spain). *Parasitol. Inter*., 55: 1-5.

Vieira A. R., Neves A., Sequeira V., Paiva R. B. & Gordo L. S., 2013 – Age and growth of forkbeard, *Phycis phycis* in Portuguese continental waters. *J. Mar. Biol. Ass. U. K*., 94: 623-630.

Von Bertalanffy., 1938 -A quantitative theory of organic growth (inquires on growth Laws II). *Hum. Biol*., 10(2): 181-213.

Whitehead P.J.P., Bauchot M.L., Hureau J.C., Nielson J., & Tortonese T., 1986 -Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean. UNESCO, Paris., Vol.I-III: 1473 p.

L'analyse technico-économique des unités d'exploitation de la langouste rouge dans le port de pêche de Bizerte

Sabri JAZIRI[1,]*, S. BEN SALEM[1] et A. GAAMOUR[1]
[1] *Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, Centre La Goulette, Tunisie*
*Correspondance : Tél. : (+216) 71-735-848; Télécopie : (+216) 71-735-848.
sabrijaziri@gmail.com

ملخص

تحليل فني وإقتصادي لوحدات إستغلال جراد البحر الأحمر بميناء بنزرت : تتميز مصائد جراد البحر "**اللقوبط**" في البلاد التونسية بكونها في ذروة الاستغلال أو في حالة استغلال مفرط. و من هذا المنطلق نتقدم من خلال هذا العمل بدراسة أسطول الصيد البحري المتمركز بميناء بنزرت من النواحي الإقتصادية والإجتماعية. أثبت هذا البحث أن الأسطول الذي يستغل جراد البحر ليس في حالة توازن إقتصادي إذ يمكن تجزئته إلى قسمين. يتميز القسم الأول بمردودية إقتصادية ومالية مرتفعة مقارنة بالقسم الثاني الذي يمثل 74,5 % من الوحدات المسجلة بميناء بنزرت والتي تعتبر ذات مردودية ضعيفة تكاد تكون سلبية.

كلمات مفاتيح: جراد البحر، ميناء الصيد البحري ببنزرت، النواحي الإقتصادية والإجتماعية،

RESUME

En Tunisie, la pêcherie de la langouste rouge *Palinurus elepha*s est mentionnée comme étant à son optimum d'exploitation ou en état de surexploitation biologique. De ce fait, nous nous proposons dans ce travail d'étudier socio économiquement la flottille qui l'exploite. Notre étude montre que la flottille qui exploite la langouste n'est pas en équilibre et elle peut être divisée en deux catégories. La première catégorie possède une rentabilité économique et financière plus élevées que celle de la 2ème catégorie, qui représente 74,5 % des unités inscrites à la pêche aux langoustes et qui possèdent des rentabilités faibles voire négative.

Mots clés : Langouste rouge ; *Palinurus elephas* ; Port de pêche de Bizerte ; Aspects socio-économique.

ABSTRACT

Technical and economic analysis of the spiny lobster operating units in the fishing port of Bizerte : In Tunisia, the fishery of the spiny lobster *Palinurus elephas* is mentioned as being in its optimum of exploitation or in state of biologic overexploitation. Therefore we suggest in this work studying socio economically the flotilla which exploits it. Our study shows that the flotilla which exploits the lobster is not in balance and it can be divided into two categories. The first category possesses an economic and financial profitability more raised than the 2nd one, which represents 74.5 % of units registered on the fishing in lobsters and which possesses weak profitability even negative.

Keywords: Spiny lobster *Palinurus elephas*; Fishing port of Bizerte; Aspects socioeconomic.

INTRODUCTION

La production des langoustes au cours de l'année 2006 a été de l'ordre de 52 tonnes pour une valeur de 2 340 000 DT. Cependant, sa pêcherie est mentionnée comme étant à son optimum d'exploitation ou en état de surexploitation biologique (Gaamour *et al.*, 2005). Ceci pourra entraîner des problèmes économiques et sociaux pour la flotte qui l'exploite.

De ce fait, une étude socioéconomique de la flotte des langoustiers est nécessaire, elle permettra d'identifier les performances économiques et la stratégie adoptée par les pêcheurs pour combler l'éventuelle diminution des débarquements de cette espèce. Il est à noter que très peu ou pas d'études ont été réalisées dans ce sens dans la région Nord de la Tunisie.

MATERIELS ET METHODES

1. Données

L'étude économique et sociale des langoustiers est essentiellement basée sur les données obtenues par des entretiens avec les armateurs et les pêcheurs actifs à bord des langoustiers. Il était nécessaire d'exploiter les données des statistiques de l'arrondissement de pêche de Bizerte (Anonyme, 2007), notamment celles concernant le débarquement de langoustes par barque, afin d'ajuster les données issues des enquêtes.

2. Segmentation

La segmentation des langoustiers dans le port de pêche de Bizerte est une étape préalable à l'étude des performances économiques de ces unités de pêche spécifiques. Elle est basée sur le critère d'agrégation de (Ward, 1963 ; Benzecri, 1982). Les données collectées ont été gérées par le tableur Excel et les

analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel STATISTICA 6.

La classification des unités est faite en deux étapes.

Première étape : méthode de l'arbre de classification hiérarchique

Il s'agit de regrouper les unités en fonction de leurs caractéristiques techniques (Longueur Hors Tout : LHT, Tonnage jauge brute : TJB et la puissance du moteur principal : CV), des engins de pêche utilisés (filets trémails 70mm : Destinés à la pêche aux langoustes, filets trémails 30mm : Destinés à la pêche aux poissons, sèches…, et aux palangres de fond qui cible généralement les poissons benthiques), et de leurs productions en langouste durant la campagne 2006.

Cette méthode est utilisée afin de formuler une hypothèse concernant le nombre de classes de bateaux les plus distincts.

Deuxième étape : méthode k-means

Avec cette méthode on tente de trouver la meilleure séparation des unités, dont le nombre de classes souhaitable est l'une des données fournie dès le début (d'après la classification hiérarchique). Alors le logiciel, et en tenant compte des variables d'entrée, génère exactement ces classes qui sont hétérogènes entre elles mais les variables assurent une certaine homogénéité au sein de chaque classe. Cette étape fourni les résultats statistiques permettant de confirmer la différence entre les classes ainsi que les statistiques descriptives relatives aux variables choisies pour la segmentation et ceci pour chaque classe.

3. Etude économique

Le chiffre d'affaire (CA)

Le chiffre d'affaire correspond à la valeur de la production. Il est fonction des prix, de la qualité de la production et de sa quantité (Zoghlami, 1998). Il s'agit de déterminer les espèces débarquées par chaque unité et selon ces espèces sera calculé le chiffre d'affaire.

$$CA = \sum_i P_i \times Q_i$$

Avec Pi : le prix moyen unitaire de l'espèce i ; et Qi : quantité totale débarquée de l'espèce i.

Les charges d'exploitation

Les charges de l'exploitation peuvent être scindées en charges variables et charges fixes selon qu'elles soient fonction ou non du niveau d'activité du bateau de pêche.

Les langoustiers font partie des bateaux de la pêche côtière dont la gestion se fait encore au jour le jour. En plus, vu le caractère aléatoire de l'exploitation de ce type de bateaux, il est une tradition que le risque soit partagé entre l'armateur et les membres de l'équipage. Ainsi, les frais à la masse, représentant les dépenses afférentes aux opérations de pêche proprement dite, sont partagés à part égale entre le propriétaire du bateau et son équipage, et c'est avant la division des gains. Compte tenu que le volume de ces dépenses est proportionnel au chiffre d'affaires, les frais à la masse sont donc considérés comme charges variables. Ces frais sont souvent calculés par sortie et ils sont constitués principalement par :

- Le carburant : c'est la valeur du gasoil consommée par l'unité durant une sortie en mer.
- Les lubrifiants : c'est la valeur du lubrifiant consommé par l'unité durant une sortie en mer.
- La glace : ce poste représente la valeur de la quantité de glace utilisée pour la conservation des poissons à bord du bateau pendant une sortie.
- Le vivre : c'est la valeur des besoins alimentaires des membres de l'équipage pendant une sortie en mer.
- Les taxes de vente : ces taxes sont prélevées à la source. Elles diffèrent d'un port à un autre et elles correspondent à 7,5 % de la valeur de la production.
- La cotisation sociale au profit de la CNSS : cette charge est payée 9 mois par an (3 trimestres). Ce qui correspond à la saison effective de l'exercice de la pêche côtière. Dans notre étude nous l'avons calculée pour chaque unité sur une base annuelle puis on l'a déterminé par sortie.
- Autres : frais divers (graisse, chiffons, papier pour sondeur, etc.), ils sont estimés à 10DT par sortie pour chaque unité.

De même, la rémunération ou la part de l'équipage, bien qu'elle soit une charge supportée par l'armateur, dépend aussi du niveau d'activité du bateau et par conséquent du chiffre d'affaire réalisé. La part de l'équipage est ainsi considérée comme charge variable. En effet, après défalcation des frais à la masse, le reliquat du chiffre d'affaires est selon la tradition partagé 50 % pour l'armateur et 50 % pour l'équipage.

Les autres coûts qui sont à la charge exclusive de l'armateur concernent les réparations périodiques de la coque et du moteur, le renouvellement des engins de pêche, l'assurance corps, les frais financiers, les dotations aux amortissements, les impôts et taxes ainsi que d'autres frais divers (loyer du magasin au port, opérations radio, etc.). Parmi ces dépenses, nous estimons que les frais de réparation et ceux de renouvellement des engins de pêche dépendent largement de l'effort de pêche et par conséquent du niveau d'exploitation du bateau. De ce fait, nous les classerons parmi les charges variables. Le reste des charges supportées par l'armateur sont fixes puisqu'elles ne dépendent pas du niveau d'exploitation du bateau. Les charges fixes sont calculées sur une base annuelle. Les postes les plus importants sont l'amortissement des moyens de production et les frais financiers.

Les charges liées à l'amortissement des moyens de production, comprennent l'amortissement du bateau

et du moteur, et l'amortissement des équipements de pêche. Par exemple, pour l'amortissement du bateau, la base de calcul est relative à la valeur de son remplacement effectif, qui est égale au coût de la construction d'un langoustier neuf. Donc, le coût d'amortissement annuel est calculé comme suit :

Coût annuel d'amortissement du bateau = Valeur de remplacement / durée de vie économique

De la même manière est calculé l'amortissement lié aux équipements du bateau de pêche. La durée de vie économique estimée des moyens de production s'est basée sur l'analyse des données collectées auprès des professionnels et de l'administration des pêches. Elle se présente comme suit (Westland, 2004) :
- Durée de vie du bateau et du moteur : 20 ans
- Durée de vie des équipements de pêche : 10 ans

Les frais financiers concernent principalement les intérêts des emprunts contractés par les armateurs auprès des organismes bancaires. Le taux d'intérêt moyen considéré dans cette étude est de 10 % pour les crédits à long terme et de 12 % pour les crédits à moyen et à court terme.

Les indicateurs des résultats économiques

Après construction du compte d'exploitation moyen de chacune des classes des langoustiers, la comparaison des performances économiques se basera sur des indicateurs des résultats économiques qui sont les suivants :
- Profit Brut d'Exploitation (PBE) : Il exprime les revenues après la déduction des coûts opérationnels variables et fixes (frais à la masse, part de l'équipage, frais à la charge exclusive de l'armateur) du chiffre d'affaire.

PBE = Chiffre d'affaires – frais à la masse – part de l'équipage – frais à la charge exclusive de l'armateur

- Profit Net d'Exploitation (PNE) : Il exprime le revenu net après la déduction de l'amortissement et des frais financiers.

PNE= PBE- Amortissement – Frais Financiers

Les données précédentes permettront d'élaborer deux indicateurs de rentabilité qui permettent de comparer les performances économique et financière entre les différents groupes de langoustiers (Lery et *al.*, 1999). Il s'agit de :
- L'indice de rentabilité économique (Profit Net d'Exploitation/Chiffre d'Affaires) qui indique le niveau de viabilité économique des entreprises
- L'indice de rentabilité financière (Profit Net d'Exploitation/Investissement) qui indique le niveau de production du capital investit.

Ces deux indicateurs, caractérisent le groupe de bateaux les plus performants (que nous pourrons considérer comme des langoustiers types du port de pêche de Bizerte) et de déceler les paramètres qui diminuent la rentabilité des groupes des bateaux les moins performants.

4. Etude Sociale

L'étude sociale concernera la population des pêcheurs actifs à bord des langoustiers échantillonnés. Les paramètres sociométriques à analyser sont la structure d'âge, la situation familiale, l'origine, le niveau d'instruction, l'affiliation à la CNSS et l'ancienneté dans le secteur. Un autre indicateur socioéconomique, qui découlent de l'analyse économique des langoustiers, est aussi analysé ; il s'agit du salaire moyen des marins (Ben Salem *et al*., 2002).

RESULTATS

Les enquêtes ont été effectuées au cours de la période Avril-Août 2007 et ont concerné un échantillon de 19 barques inscrites à la pêche aux langoustes, représentant 37,25 % de la flotte totale.

1. Classification hiérarchique des langoustiers

L'arbre de classification hiérarchique montre qu'il existe deux grandes catégories au niveau le plus haut. Mais pour détailler plus l'analyse, on a proposé un deuxième niveau de coupure de l'arbre : le niveau N1. Ce niveau ainsi proposé répond aux conditions suivantes :
- Minimiser la dispersion intra classe et maximiser la dispersion interclasse.
- Obtenir le plus faible nombre des classes pour mieux définir chaque classe.

Le niveau N1 met en évidence quatre groupes distincts, qui correspondent aux points d'intersection de l'arbre et de la droite N1. A ce stade, on estime que la flottille des langoustiers dans le port de pêche de Bizerte peut être répartie en quatre groupes (Fig. 1).

Les quatre groupes de langoustiers isolés précédemment par la méthode de l'arbre de classification hiérarchique sont les suivants (Fig 2 ; Tab I) :
- Le groupe 1, qui représente 11,8 % des langoustiers inscrits, se compose d'unité avec une longueur moyenne de 18m, un tonnage moyen de 42,9 TJB et une puissance motrice moyenne de 360 CV. En plus ils possèdent la quantité la plus élevée de filet trémail 70 mm soit 120 pièces. Leur production moyenne annuelle en langouste est de 573,1 kg/barque/an.

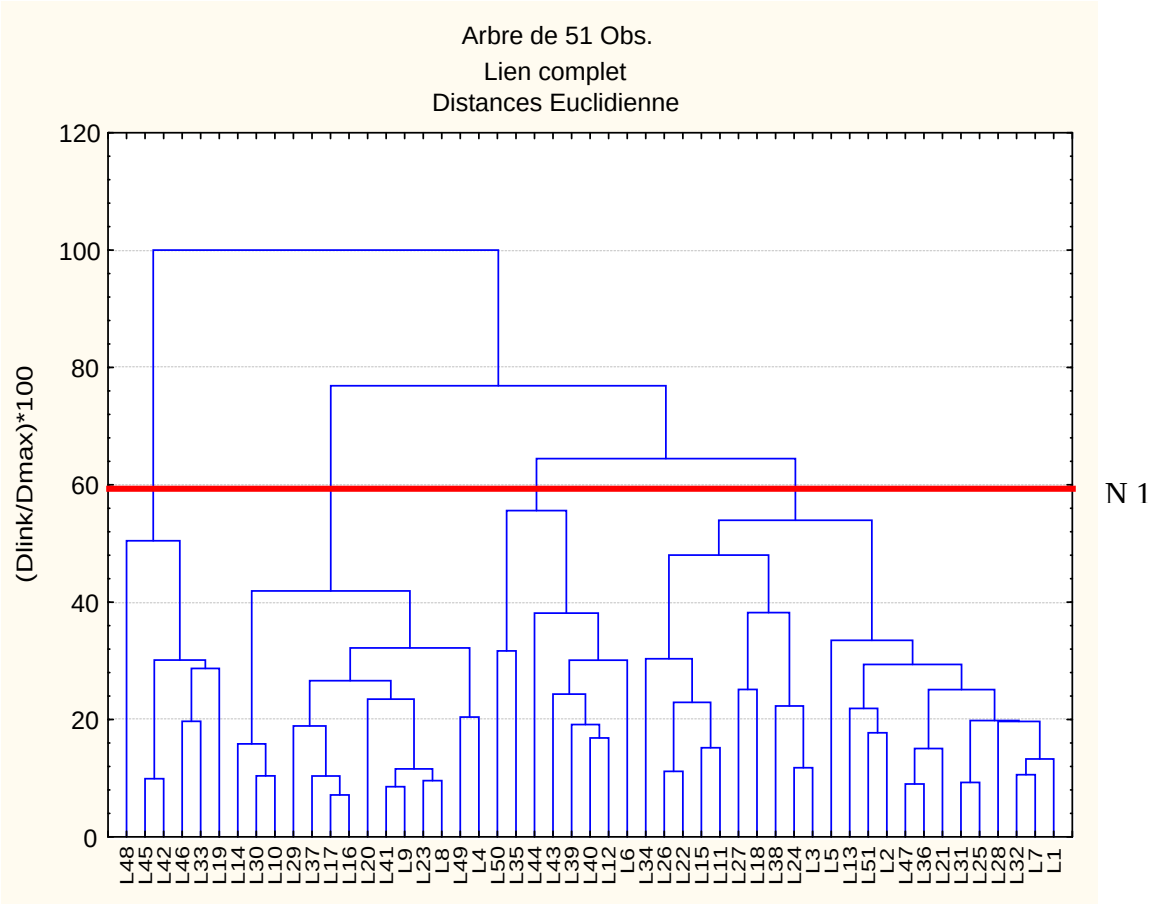


Figure 1. Arbre de classification hiérarchique des langoustiers en fonction de leurs caractéristiques techniques.

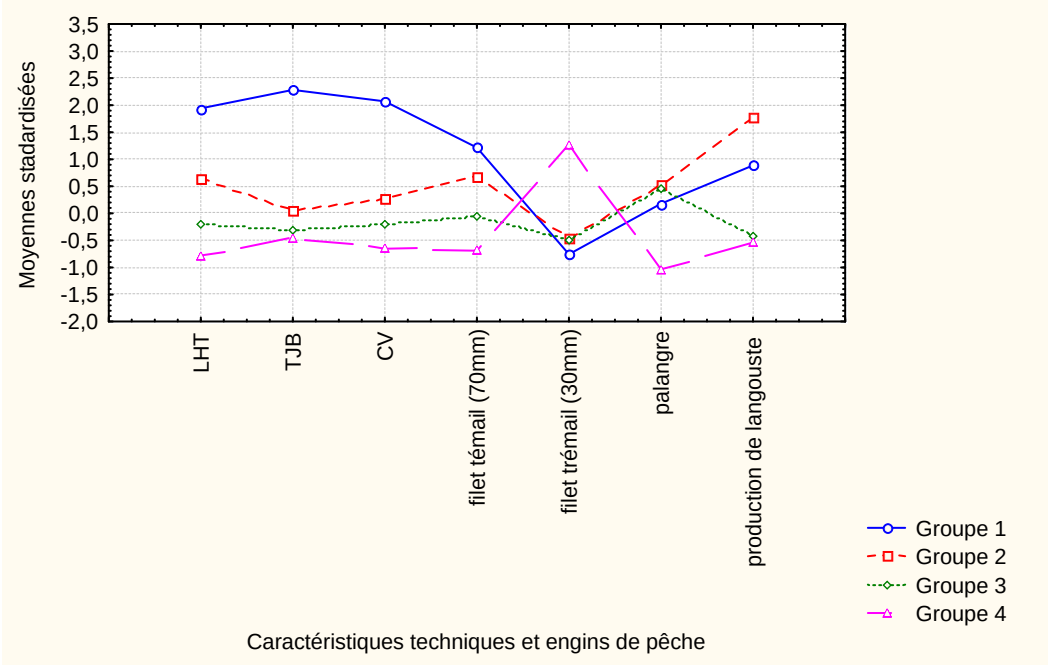


Figure 2. Résultats de la méthode de classification K-means des langoustiers en fonction des caractéristiques techniques et des engins de pêche

Tableau I. Moyennes des caractéristiques techniques des différents groupes des langoustiers. Avec N : nombre de barque.

	LHT (Longueur hors tout)	TJB (Tonnage brut)	CV (Puissance)	Filet trémail (70 mm) (En pièce)	Filet trémail (30 mm) (En pièce)	Palangre (Nombre d'hameçons)	Production annuelle de langouste en Kg
groupe 1 N=6	18	42,9	360	120	2,5	2500	573,1
groupe 2 N=7	15,5	21,1	213,4	106,6	11,7	3178,6	836,5
groupe 3 N=23	13,8	17,2	172,1	88,3	12,9	3062,2	182,1
groupe 4 N=15	12,6	15,9	134,1	73,1	84,7	133,3	145,8

- Le groupe 2, qui représente 13,7 % des unités, regroupe les barques qui ont une longueur de 15,5m, un tonnage de 21,1 TJB et une puissance motrice de 213,4 cv. Elles utilisent une quantité de filet trémail 70mm moins importante que le premier groupe soit 107 pièces. En revanche elles débarquent en moyenne la plus grande quantité de langouste avec 836,5 kg/barque/an.
- Le groupe 3, qui représente 45 % des langoustiers, correspond aux unités qui se caractérisent en moyenne par une longueur de 13,8 m, un tonnage de 17,2 TJB, une puissance motrice de 172,1 cv. Ce groupe se caractérise, entre autres, par l'utilisation de 88 pièces de filets trémail 70 mm, mais il se trouve plus orienté vers la pêche avec les palangres de fond (3062 hameçons/barque). Cette dernière technique a pour objectif de combler la faible production de langouste qui n'est que de 182,1 kg/an/barque. Ils utilisent en fait plus de palangres que les autres classes.
- La groupe 4, qui représente 29,4 % de la flotte, représente les langoustiers qui ont en moyenne une longueur de 12,6 m, un tonnage de 15,9 TJB, une puissance motrice de 134,1 CV et utilisent 73 pièces de filet trémail 70 mm. Les bateaux de cette classe se caractérisent par rapport aux autres par l'utilisation du filet trémail 30 mm pour compenser leur faible production de langouste rouge qui n'est que de 145,8 kg/barque/an.

La différence entre les quatre classes est hautement significative (P<0,01) au niveau des différentes variables utilisées (Longueur hors tout« LTH », tonnage brut « TJB », puissance« CV », et production de langouste) (Tab II).

Tableau II. Résultats de l'analyse de variance inter-groupes des caractéristiques techniques des langoustiers.

	SS	ddl	MS	*F*	*P*
Longueur hors tout « LHT »	145,144	3	48,381	43,226	1,4666E-13
Tonnage brut « TJB »	3596,51	3	1198,84	44,4817	8,9706E-14
Puissance « CV »	231408	3	77136	33,5086	9,8067E-12
production de langouste	3136204	3	1045401	36,3020	2,7085E-12

2. Analyse des comptes d'exploitation des différents groupes

Frais à la masse

Indépendamment du groupe, le Gasoil est la rubrique où il y a le plus de dépenses. En effet, il représente 53,5 % du total des frais à la masse par an pour le premier groupe, 36 % pour le deuxième, 40,2 % pour le troisième et 45,2 % pour le 4ème groupe. En terme de valeur, la rubrique Gasoil diminue d'un groupe à un autre du fait que les caractéristiques techniques des langoustiers diminuent et la puissance motrice diminue, il y a donc moins de consommation de carburant.

En second lieu, la rubrique des frais commerciaux caractérise le 1^{ier} et le 4ème groupe avec une part de 17,8 % du total annuel des frais à la masse. Alors que, la rubrique Appât est bien représentée pour le2^{ème} et le 3ème groupe, avec respectivement 22 % et 19 % (Tab III et Fig 3). En effet, les bateaux de ces deux groupes utilisent plus de palangres que les autres groupes de langoustiers avec une moyenne de

Tableau III. Montant moyen en DT et pourcentage des frais à la masse par an et par groupe de langoustiers.

	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3		Groupe 4	
FRAIS A LA MASSE	valeur	%	valeur	%	valeur	%	valeur	%
Gasoil	17490	53,6	11580	35,9	11482	40,3	11158	45,2
Frais commerciaux	5837	17,9	5981	18,6	4348	15,3	4373	17,7
Appât	3850	11,8	7139	22,2	5357	18,8	1322	5,4
Vivres	2420	7,4	3479	10,8	3415	12,0	5475	22,2
Glace	1430	4,4	1739	5,4	1939	6,8	1888	7,6
CNSS	1408	4,3	1966	6,1	1671	5,9	0	0,0
Autres	220	0,7	340	1,1	294	1,0	472	1,9
Total	**32655**		**32224**		**28505**		**24687**	

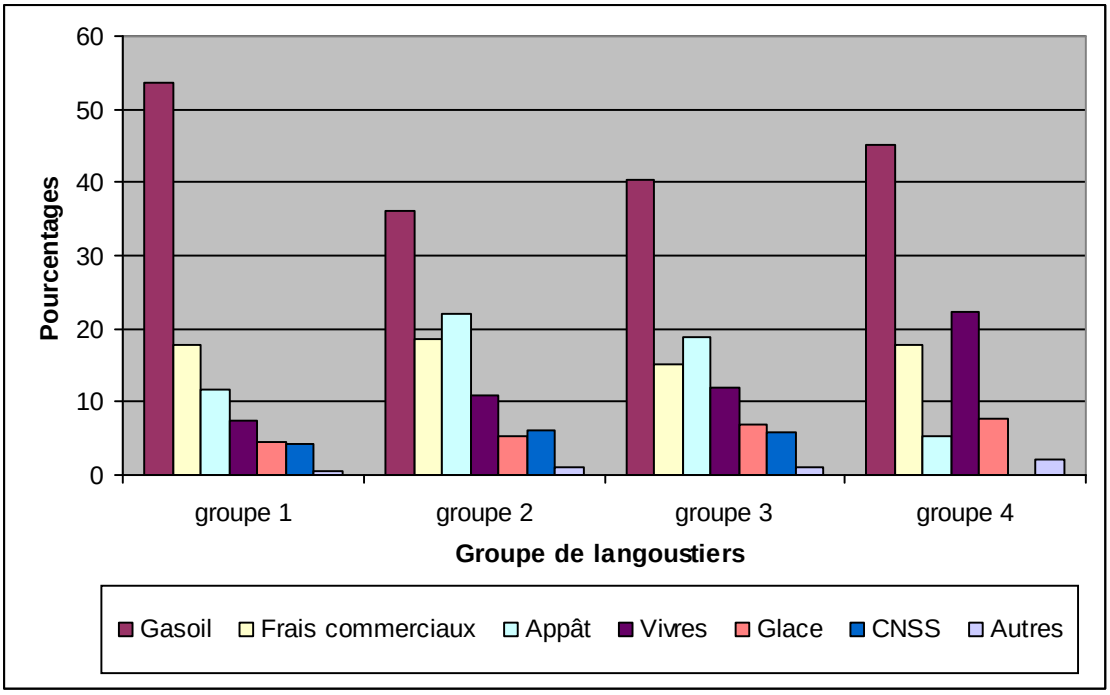


Figure 3. Pourcentages de frais à la masse par an et par groupe de langoustiers.

3120 hameçons par unité. Alors que, pour le premier et le dernier groupe les dépenses de la rubrique Appât est plus faible. Elles sont respectivement de l'ordre de 11 % et 5,3 % du total annuel des frais à la masse. Le dernier groupe est caractérisé par la faible utilisation de palangres (133 hameçons par barque).

Charges supportées exclusivement par l'armateur

La réparation des engins est la rubrique qui a nécessité le plus de dépenses pour les 4 groupes des langoustiers. La part de cette rubrique du total des charges supportées par l'armateur est de 76 % pour le 4ème groupe, 52,1 % pour le 3ème, 49,7 % pour le 2ème et 44,5 % pour le premier groupe (Tab 4 et Fig 4). La variation intergroupe des frais de réparation des engins nous donne également une idée sur la stratégie de pêche des langoustiers dans le port de pêche de Bizerte. Ainsi, ceux du 4ème groupe se focalisent sur l'utilisation du filet trémail 30 mm (158 pièces par barque) qui est un engin couteux, dont la réparation peut dépasser le coût d'achat. La réparation du filet pour ce groupe représente plus de 3 fois celle des autres groupes.

On n'a pas pris en compte les frais financiers parce que les armateurs enquêtés étaient réticents pour répondre aux questions relatives aux montants des crédits contractés auprès des organismes financiers. Dans ce sens, il est à signaler que plusieurs armateurs endettés envers les banques ne sont pas solvables.

Performance économique et financière des différents groupes

La figure 5 illustre les résultats des performances économiques des différents groupes. Nous constatons que le chiffre d'affaires annuel diminue progressivement du 1^{ier} au 4ème groupe.

Tableau IV. Montants moyens (M) en DT et pourcentages des charges fixes par an et par groupe de langoustiers.

	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3		Groupe 4	
CHARGES ARMATEUR/AN	M	%	M	%	M	%	M	%
Réparation engins	3000	44,5	3800	49,7	3388	52,1	9550	76,1
Carénage	2000	29,7	1745	22,8	1369	21,1	1280	10,2
Vidange moteur	1000	14,8	1400	18,3	1078	16,6	1160	9,2
Autres frais	650	9,6	550	7,2	525	8,1	500	4,0
Frais Administratifs (licence, visite, etc.)	94	1,4	145	1,9	138	2,1	62	0,%
TOTAL CHARGE ARMATEUR	**6744**		**7640**		**6497**		**12552**	

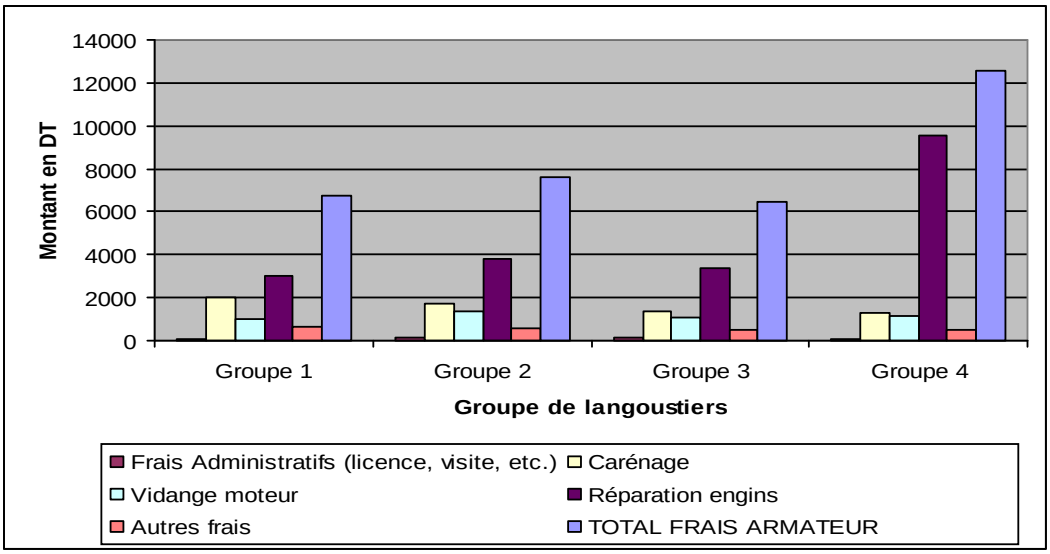


Figure 4. Montants moyens en DT des frais fixes par an et par classe de langoustiers.

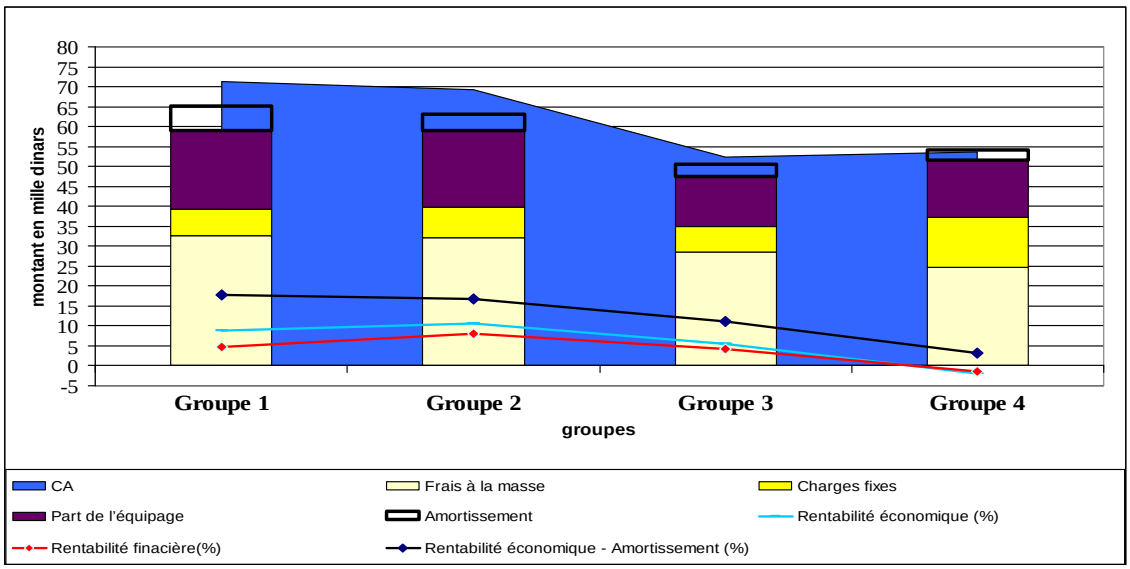


Figure 5. Coûts, revenus et indicateurs de rentabilité des différents groupes de langoustiers.

En effet, il passe de 71 milles DT pour le [1ier] groupe à environ 53 milles DT pour le groupe 4. Concernant les rentabilités économique et financière, ce sont les unités du groupe 2 qui sont les plus performants puisqu'ils ont enregistré les valeurs moyennes les

plus élevées soit respectivement 10,7 % et 9 %. Pour le groupe 4 ces valeurs sont de -1,5 % et -1,9 % ce qui démontre que ce groupe possède une rentabilité financière et économique négative. Ainsi, il importe de se demander Comment les langoustiers de ce groupe se maintiennent ils en activité ?

C'est vrai que le chiffre d'affaire moyen de cette classe couvre à peine les charges d'exploitation dominées par des frais très importants de réparations des engins de pêche (filets trémails 30mm). Mais les unités de pêche ne prennent pas en compte l'amortissement dans le développement de leurs activités. En fait, le montant que nous avons alloué à l'amortissement et qui devrait être considéré comme provisions pour des futurs investissements dans l'activité, est consommé par les propriétaires des bateaux de cette catégorie pour faire face aux charges nécessaires à la réalisation des sorties (charges variables) ce qui leur permet de rester actifs dans la pêche. En effet, en excluant l'amortissement du compte d'exploitation du 4ème groupe, les rentabilités économique et financière deviennent positives de l'ordre de 3 % (Fig 5).

De toute façon, ces chiffres expriment l'incapacité des armateurs à récupérer à moyen terme l'investissement dont ils disposent maintenant. Plusieurs unités du groupe 4 pourront à long terme abandonner l'activité. Les unités du 2ème groupe sont les plus efficaces, elles possèdent les mêmes charges que ceux du premier groupe mais elles diffèrent par une valeur d'amortissement moins importante. On peut conclure que les langoustiers les plus performants ne sont pas nécessairement les plus volumineux et les plus puissants.

En conclusion, compte tenu de l'effectif important des unités de pêche à la langouste des groupes 3 et 4 (74,5 % de l'effectif total) ayant des rentabilités faibles voir négative, l'activité de pêche à la langouste rouge dans le port de pêche de Bizerte se trouve dans une situation de déséquilibre économique. Cette dernière situation n'est pas nouvelle puisque Ben Salem et Franquesa. ont aboutit à des résultats économiques négatifs pour la flotte langoustière active dans le port de pêche de Bizerte en 2004 (rentabilité financière de l'ordre de -1 %)

3. Caractéristiques sociales de la main d'œuvre

Structure d'âge

Les données sociales de l'enquête permettent de dire que la population maritime dans le port de Bizerte est mature. En effet, l'âge minimal enregistré est de 20 ans, et 49 % des pêcheurs enquêtés ont un âge compris entre 31 et 50 ans. Les pêcheurs qui ont dépassé 50 ans ne représentent que 8 % (Fig 6). Néanmoins, on remarque que la distribution des pourcentages d'âge des marins tend à diminuer d'une classe à une autre. Cette tendance peut être liée au fait que ce secteur demande une bonne condition physique. Plus on avance dans l'âge plus on devient incapable d'exercer cette activité.

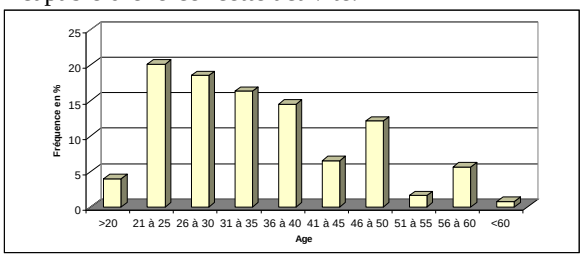


Figure 6. Structure d'âge de la main d'œuvre.

Si on s'intéresse aux différents postes occupés par les marins, on remarque qu'il y a un équilibre d'âge entre les marins et les mécaniciens alors que les patrons de pêche sont plus âgés de 9 ans (Fig 7). Ce résultat est tout à fait normal car un patron doit être plus expérimenté qu'un marin ou un mécanicien, ces derniers qui ne sont présent à bord des langoustiers que par obligation administrative.

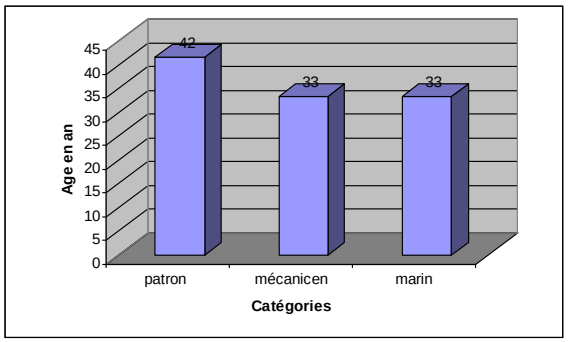


Figure 7. Moyenne d'âge par catégorie de marin.

Situation familiale

Le nombre de pêcheurs mariés représentent 44 % du nombre total interrogé, sachant que 29 % d'entre eux sont des patrons ou des mécaniciens alors ils tiennent à améliorer leur statut pour pouvoir être plus payés.

Origine

L'enquête a révélé que 62 % des pêcheurs dans le port de pêche de Bizerte sont autochtone, alors que les allochtones y représentent 38 %. Ces derniers sont originaires essentiellement du Gouvernorat d'Ariana (Kalaat el Andalouss). On a remarqué que dans certains cas l'équipage est de la même région que l'armateur, et on note également que parmi l'équipage de chaque unité existe plusieurs membres de la famille du patron. Ce dernier est généralement l'armateur ou bien son fils. Dans 5.26 % des cas, la totalité de l'équipage sont de la même famille.

Niveau d'instruction

Parmi les enquêtés 27 % sont analphabète, 37 % sont de niveau primaire, 35 % sont de niveau secondaire et 1 % de niveau universitaire (Fig 8). Ces données permettent de confirmer que le travail dans le secteur de la pêche est encore considéré comme un emploi de dernier recours. Par ailleurs 95 % des pêcheurs on eu une formation sur le tas. Les 5 % restant

correspondent à des marins qui ont eu une formation spécialisée (patron de pêche ou mécanicien) dans une école de formation professionnelle. On peut dire que la pêche dans la région nord est une pêche artisanale qui ne nécessite pas de grandes connaissances et tous les engins utilisés sont bien maîtrisés puisqu'ils datent depuis plus ou moins 20 ans.

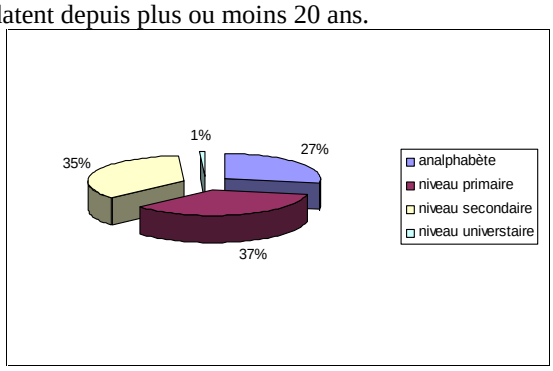


Figure 8. Niveau d'instruction de l'équipage des langoustiers.

L'affiliation à la Caisse Nationale de Sécurité Sociale (CNSS)

Parmi les pêcheurs de langouste 71 % sont affiliés à la Caisse Nationale de Sécurité Sociale (CNSS) et 29 % ne le sont pas. D'après l'enquête réalisée, les marins préfèrent ne pas s'affiler à la CNSS car ils pensent que la cotisation sociale limite leur activité et par la suite leur revenu en les obligeant de travailler sur une seule barque.

Ancienneté dans le secteur

Concernant le nombre d'années d'expérience des équipages dans l'activité de pêche de langoustes, on remarque que 56 % des équipages ont plus de 10 ans et seulement 1 % ont une ancienneté inférieure à 2 ans. On signale que plusieurs jeunes marins enquêtés considèrent que leur activité dans le secteur de la pêche n'est qu'une solution temporaire en attente d'une activité plus rémunérée et moins pénible (Fig 9).

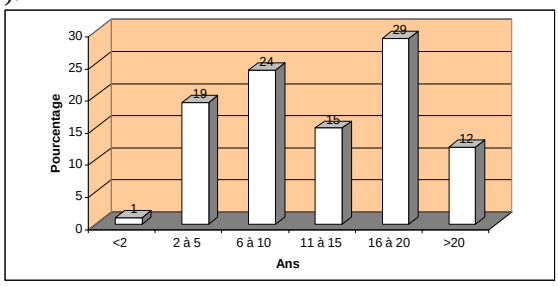


Figure 9. Nombre d'années d'expérience des marins.

Estimation des salaires moyens des marins

Les salaires moyens mensuels des pêcheurs qui ont pratiqué la pêche aux langoustes dans le port de pêche de Bizerte durant l'année 2006 sont compris entre 118,6 et 487,4 DT/marin (Tab V). Ces montants augmentent en fonction des parts à recevoir pour chaque membre de l'équipage au sein d'une même unité, et diminue en allant du premier groupe vers le 4ème. Si on compare ces valeurs aux salaires des pêcheurs des chalutiers benthiques (de l'ordre de 645 DT/marin) et des senneurs (de l'ordre 460 DT/marin) de la région de Bizerte (Ben Salem et Franquesa, 2004), on constate que l'activité de pêche aux langoustes est moins rémunératrice. En revanche si on compare le salaire des pêcheurs de langouste avec celui des pêcheurs de l'espadon en Méditerrané marocaine qui varient entre 119 et 238 DT/marin (Mallouli Idrissi, 2006), et avec le niveau de revenus aux dépenses par personne et par an d'un ouvrier agricole, qui est de 731 DT (INS, 2002), on conclu que l'activité de pêche aux langoustes est une activité plus rémunératrice. Toutefois, les pêcheurs aux langoustes se plaignent de la dureté de leur activité.

Tableau V. Salaires des marins (en DT) en fonction de leurs qualifications par groupe de langoustiers.

	Part marin	Part marin expérimenté	Mécanicien	Part marin spécialisé	Patron hauturier
Groupe1	162,5	203,1	243,7	324,9	487,4
Groupe2	160	200	239,9	319,9	479,9
Groupe3	103,3	129,1	154,9	206,5	309,8
Groupe4	118,6	148,3	177,9	237,2	355,9

CONCLUSION

Les unités de pêche de la langouste rouge dans le port de pêche de Bizerte peuvent être subdivisées, selon leurs caractéristiques techniques, les engins de pêche utilisés et la production totale de langouste en quatre groupes. Le premier groupe représente 11,8 % des langoustiers inscrits et regroupe les unités les plus volumineuses et les plus puissantes avec une production annuelle de langouste rouge de l'ordre de 574 Kg/barque. Le deuxième groupe représente 13,7 % des unités. Elles utilisent une quantité de filet trémail 70mm moins importante que celles du premier groupe. En revanche, elles débarquent la plus grande quantité de langouste rouge par an avec 836,5 kg/barque. Le troisième groupe, qui représente 45 % des langoustiers, se caractérise, entre autres, par l'emploi d'une faible quantité de filets trémail 70mm par rapport aux deux groupes précédents et se trouve plus orienté vers la pêche avec les palangres de fond. Cette dernière technique à pour objectif de combler la faible production de langouste qui n'est que de 182 kg/barque/an. Le quatrième groupe qui représente 29,4 % de la flotte langoustière se caractérise par rapport aux autres par l'utilisation du filet trémail 30mm pour compenser leur faible production de langouste qui n'est que de 146 kg/an/barque.

Du point de vue rentabilité économique, l'ensemble des groupes peuvent être classés en deux catégories :

- La première catégorie ayant une rentabilité économique et financière relativement meilleure est représentée par les unités des 1^{ier} et 2ème groupes dont

l'effectif avoisine 25,5 % des unités inscrites à la pêche aux langoustes. Ces unités ont enregistré une production moyenne de 705 kg par unité et par an.

- La deuxième catégorie, caractérisée par une rentabilité faible voir négative, est formée par les unités des 3ème et 4ème groupes, représentant 74,5 % des unités inscrites à la pêche aux langoustes. La production moyenne de langouste rouge pour cette catégorie avoisine 164 kg par unité et par an.

On peut alors conclure que la première catégorie cible en majeure partie la langouste rouge, ce qui nous permet d'appeler ces unités des « Langoustiers ». Ces unités possèdent des rentabilités économique et financière plus élevées que celle de la 2ème catégorie, qui suivent d'autres stratégies d'exploitation caractérisées par l'utilisation de la palangre pour le 3ème groupe et les filets trémail 30mm pour le 4ème groupe. Le grand effectif des unités de la deuxième catégorie, à rentabilité faible voire négative, permet de dire que la situation économique de la flotte langoustière du port de pêche de Bizerte n'est pas en équilibre. On préconise alors de mettre en place un mécanisme de spécialisation des unités de pêche : les unités de la première catégorie sont des unités type, car elles ciblent en premier lieu la langouste rouge et bénéficient de rentabilité financière positive. Alors pour tout investissement futur dans ce secteur, on conseille que les nouvelles acquisitions soient similaires et suivent une stratégie proche que celle de la première catégorie.

Pour améliorer la rentabilité au sein des langoustiers, on conseille de mettre en place des mécanismes de formation professionnelle et de recyclage ciblés pour les marins et les patrons des langoustiers dans les domaines de gestion des unités de pêche, l'utilisation efficiente des engins de pêche et la gestion des stocks. Ceci est nécessaire et pressant puisque 95 % de la population active à bord des langoustiers n'est pas formée et a reçue une formation empirique.

BIBLIOGRAPHIE

Anonyme, 2007. Commissariat Régional de Développement Agricole (CRDA) de Bizerte, données sur la pêche dans la région Nord de la Tunisie.

Ben Salem, S., Franquesa, R., & El Abed, A., 2002. Indicateurs socioéconomiques pour la pêche dans le Golf de Gabès. Etude de cas. INSTM. FAO-COPMED, 34p.

Ben Salem, S., & Franquesa, R., 2004. Indicateurs socioéconomiques pour la pêche dans les régions Nord et Est de la Tunisie. Etude de cas. INSTM. FAO-COPMED, 36p.

Benzecri, J.P., 1982. Construction d'une classification ascendante hiérarchique par la recherche en chaîne des voisins réciproques. *Les Cahiers de l'analyse des données*, 2(7), 209-218.

Gaamour, A., Rjeibi, O., Bdioui, M., Missaoui, H., Zaraa, Y., & Jaziri, S., 2005. Rapport final du projet: Les pêcheries de la langouste rouge *Palinurus elephas* de la région nord de la Tunisie: Engin de pêche, élements biologiques et gestion. FAO-COPEMED, Tunisie. 24p.

INS. 2002, 14/06/2006. INS. http://www.ins.nat.tn/publication/Tunisie_chiffre_2004.pdf, Tunisie.

Lery, J.M., Prado, J., & Tietze, U., 1999. Viabilité économique des pêches maritimes. Résultats d'une étude globale et d'un atelier interrégional. FAO document technique sur les pêches. No. 377. Rome, FAO. 1999. 135p.

Malouli Idrissi, M., 2006. Pêcherie de l'espadon en méditerranée marocaine : Exploitation, analyse socioéconomique et commercialisation. Master en science économique et gestion de l'activité de pêche, Universtat de Barcelona, 73p.

Ward, J.H., 1963. Hierarchical grouping to optimize and objective function. *Journal of the American Statistical Association, Volume* 58, 236-244.

Westland L., 2004. Guide pour l'identification, l'évaluation et la notification des subventions dans le secteur des pêches. FAO Document technique sur les pêches, 438, 85p.

Zoghlami, O., 1998. Etude technico-économique préliminaire de la pêche côtière au nord de la Tunisie : facteurs, coût de production et seuil de rentabilité des barques côtières motorisées. Mémoire de fin d'études de formation continue pour l'accès au grade d'ingénieur principal (Halieutique). Institut National Agronomique de Tunis, Tunisie, 53p.

EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DU STOCK DU GASTEROPODE TROCHIDE *PHORCUS ARTICULATUS (LAMARCK, 1822)* LE LONG DU LITTORAL DES ILES KERKENNAH (GOLFE DE GABES, TUNISIE)

Mohamed Karim CHEOUR[1,2,]*, M. CHERIF[1], R. BEN MESSAOUD[1]. N. ALOUI-BEJAOUI[2] et A. AFLI[1]

[1] Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, 28 rue du 2 mars 1934, 2025 Salammbô - Tunisie
[2] Institut National Agronomique de Tunisie, 43 Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis - Tunisie
* medkarimcheour@yahoo.fr

ملخص

تقييم مخزون نهيد البحر من نوع *Phorcus articulatus* وتوزيعه على امتداد ساحل جزر قرقنة (خليج قابس، تونس): تعتبر هذه الدراسة أول مساهمة علمية في تقييم مخزون نهيد البحر من نوع *Phorcus articulatus* (حلزون البحر) وتوزيعه على امتداد ساحل جزر قرقنة. لقد تم أخذ العينات باستعمال إطار حديدي مربع الشكل لتحديد المساحة واعتمادا على خطوط شعاعية عمودية على الخط الساحلي. إجماليا تمت معاينة 48 محطة ممتدة على 27 خط شعاعي حول جزيرتي الغربي والشرقي موسميا خلال سنة 2009. وتظهر النتائج أن التوزيع الجغرافي لكثافة هذا النوع من نهيد البحر وكتلته الحيوية لا يختلفان كثيرا على امتداد شواطئ جزر قرقنة، ويبدو أنهما يتأثران بعدة عوامل بيئية وأنشطة بشرية. على سبيل المثال، تم تسجيل أعلى الكثافات في المناطق التي تتميز طبيعيا بوفرة الموارد الغذائية. كما يبدو أن حركية المياه تلعب أيضا دورا هاما في توزيع هذا النوع حسب الحجم، فالأفراد البالغين يسيطرون على المنطقة الصخرية في الشمال الشرقي المتميزة بحركية مياه عالية نسبيا.

كلمات مفاتيح : ساحل قرقنة، نهيد البحر، كتلة حيوية، كثافة، توزيع جغرافي

RESUME

La présente étude constitue une première contribution à l'évaluation et la cartographie du stock de *Phorcus articulatus* (Gastéropode, trochidé) le long du littoral des îles Kerkennah. Les prélèvements des échantillons ont été réalisés à l'aide d'un quadra et selon des radiales perpendiculaires à la côte. Au total, 48 stations réparties sur 27 radiales autour des îles Gharbi et Chergui on été échantillonnées saisonnièrement durant l'année 2009. Les résultats obtenus montrent que la répartition géographique de l'abondance et de la biomasse de *Phorcus articulatus* n'est pas uniforme sur toute la zone estran des îles Kerkennah, elle semble être influencée par plusieurs facteurs environnementaux et anthropiques. A titre d'exemple, les fortes abondances ont été enregistrées dans les zones naturellement plus riches en ressources trophiques, et l'hydrodynamisme semble jouer également un rôle important dans la distribution des classes de taille, puisque les adultes dominent dans la zone rocheuse du nord-est où les courants marins sont plus forts.

***Mots clés* :** littoral de Kerkennah, *Phorcus articulatus*, biomasse, abondance, cartographie

ABSTRACT

Evolution and cartography of the gastropod Trochidae *Phorcus articulatus* (Lamarck, 1822) along the coast of Kerkennah islands (Gulf of Gabes, Tunisia): This study is a first contribution to the assessment and cartography of the stock of *Phorcus articulatus* (Gastropod, Trochidae) along the coast of the Kerkennah Islands. Samples were collected using a quadrat and depending on radials perpendicular to the coastline. In total, 48 stations spread over 27 radials around the islands Gharbi and Chergui were seasonally sampled during 2009. Results show that the spatial distribution of the abundance and biomass of *Phorcus articulatus* is not uniform along the coast; it seems to be influenced by several environmental and anthropogenic factors. For example, the high abundances were recorded in areas naturally rich in trophic resources, and hydrodynamics also appears to play an important role in the distribution of size classes, since adults dominate the rocky area in the North-East where marine currents are stronger.

Keywords : coast of Kerkennah, *Phorcus articulatus*, biomass, abundance, cartography

INTRODUCTION

Parmi les mollusques qui ne font pas l'objet d'une vraie exploitation en Tunisie, on peut citer la famille des trochidés. En effet, les travaux consacrés à la biologie et à l'écologie de ces gastéropodes sont assez rares, souvent anciens et dans la majorité des cas, se rapportent à des observations réalisées dans des milieux géographiquement différents (Williams, 1965 ; Desai, 1966 ; Underwood, 1972 ; Bailey, 1981 ; Enée *et al.*, 1982 ; Lasiak, 1987 ; Garwood & Kendall, 1985 ; Gomot & Griffond, 1993).

Malgré l'importance écologique et la diversité de cette classe des gastéropodes, l'état de leurs stocks ainsi que leurs distributions géographiques sur les côtes tunisiennes restent mal connus. En effet, à ce jour, ces stocks de coquillages n'ont pas été étudiés et évalués d'une façon convenable et complète, et le peu d'études réalisées a été consacré à la systématique et aux quelques travaux d'inventaire de certains coquillages des côtes tunisiennes (Dautzenberg, 1883 ; Pallary, 1914 ; Ben Othmen, 1971 ; Zaouali, 1978, 1979 et 1993 ; Ghodhbane, 2002 ; Belkhodja, 2003 ; Chakroun, 2004 ; Gharsallah-Haouas *et al.*, 2004 ; Hajjej, 2004 ; Zamouri-Langar *et al.*, 2004).

En revanche, quelques travaux se sont intéressés à étudier l'abondance et la répartition géographique de certaines espèces de coquillages au niveau des côtes tunisiennes, tels que ceux de Soufi-Kechaou (2004), Hajjej (2004), Gueddich (2006), El Hasni (2005), Ben Abdallah *et al.* (2006) ; Ouannes-Ghorbel *et al.* (2009). Toutefois, la revue de ces travaux pose une grande difficulté quand il s'agit d'étudier une espèce bien précise, car les noms scientifiques synonymes sont parfois très nombreux (Donald *et al.*, 2012). Ce problème ne se limite pas à un ou quelques groupes taxonomiques, mais concerne tous les groupes pratiquement à des degrés différents. Ce qui soulève le problème de la classification systématique du vivant tant évoquée et remise en question par la communauté scientifique (Gros & Dercourt, 2000). En fait, la classification classique (classification linnéenne) basée sur les ressemblances les plus visibles entre les espèces fut, malgré toutes ses défaillances, la seule classification possible. Toutefois et avec le développement technologique, une nouvelle classification, la classification phylogénétique, basée sur le degré de parenté des espèces exprimé par les caractères moléculaires et les données embryologiques et paléontologiques a été proposée par Henning (1950). Ce qui a permis déjà de réviser une bonne partie de la systématique. A titre d'exemple, des révisions successives des synonymes des espèces du genre *Osilinus*, ont permis de réduire le nombre d'espèces collectées au nord-est Atlantique et en Méditerranée de 16 à seulement 6 espèces (Donald *et al.*, 2012). Ainsi, l'espèce étudiée dans ce travail, *Phorcus articulatus* (Lamarck, 1822), comporte, en tout, 22 synonymes, principalement les genres *Monodonta*, *Osilinus*, *Trochocochlea* et *Trochus* (Tableau I).

Ce travail est consacré essentiellement à la cartographie de l'abondance et la biomasse du trochidé prosobranche *Phorcus articulatus* le long du littoral des îles Kerkennah (Figure 1). La maturité sexuelle de cette espèce est atteinte vers l'âge de 2 ans et la période de reproduction a lieu généralement au printemps et jusqu'en plein été ; la période de ponte des femelles se déroule à la fin de juin, tandis que les mâles émettent leurs gamètes en avril (Cheour *et al.*, 2014). Sur le plan trophique, *Phorcus articulatus* est herbivore se nourrissant plutôt la nuit des algues microscopiques et des détritus d'algues sur les rochers. Elle est, à son tour, la proie d'oiseaux de mer et de crabes (Lindner & Weber, 2005).

Le site étudié, l'archipel de Kerkennah, est composé de 2 îles principales, île Gharbi (ou Mellita) d'environ 49 km² et île Chergui (ou grande Kerkennah) d'environ 110 km² et de 12 îlots (Figure 2). Il se situe à environ 20 km au large de la ville de Sfax, et plus du tiers de sa surface est occupé par des Sebkhas (Amari, 1984). L'archipel de Kerkennah est connu par la richesse de son couvert végétal, formé essentiellement des phanérogames *Posidonia oceanica* et *Cymodocea nodosa* associés à l'algue verte *Caulerpa prolifera* (Ben Brahim *et al.*, 2013). Les côtes de Kerkennah, avec seulement quelques sources potentielles de nuisance, sont généralement moins soumises aux activités anthropiques par rapport aux côtes ouest du golfe de Gabès (Aloui-Bejaoui & Afli, 2012). Les seules sources de nuisances notables sont liées aux activités urbaines d'une population permanente d'environ 14400 habitants en 2004 selon le recensement de l'Institut National de la Statistique, mais qui s'élève en été à plus de 150000 habitants avec le retour saisonnier des émigrés et l'arrivée des vacanciers. En général, l'accroissement des activités industrielles et maritimes, et le développement urbain le long du littoral ouest du golfe de Gabès ont conduit à une augmentation de la pollution induisant des modifications de la structure et de l'organisation des communautés benthiques (Hamza *et al.*, 2000 ; Mabrouk *et al.*, 2014). Mais ces perturbations ne semblent pas induire un impact direct sur les communautés benthiques autour des îles Kerkennah, sauf peut être des nuisances limitées induites par des activités anthropiques locales (Aloui-Bejaoui & Afli, 2012).

Dans cette étude, on envisage réaliser une première contribution à l'estimation du stock du trochidé *Phorcus articulatus* et la cartographie de sa distribution spatio-temporelle (abondance et biomasse) tout au long du littoral des îles Kerkennah.

Tableau I : Classification systématique et synonymes du Trochidé *Phorcus articulatus* (Lamarck, 1822)

Classification systématique		Parent	Synonymes	
Phylum	Mollusque	*Phorcus* Risso, 1826	- *Monodonta articulata* Lamarck, 1822	Original
Classe	Gastéropode		*Monodonta draparnaudii* Payraudeau, 1826	Synonyme
Sous-classe	Vétigastéropode		*Monodonta ulvae* Risso, 1826	Synonyme
Super-famille	Trochoidea		- *Osilinus articulatus* (Lamarck, 1822)	-
Famille	Trochidae		*Osilinus articulatus flammoides* Nordsieck, 1974	Synonyme
Sous-famille	Cantharidinae		*Trochocochlea arenosa* Monterosato, 1917	Synonyme
Genre	*Phorcus*		- *Trochocochlea articulata* (Lamarck, 1822)	-
			Trochocochlea articulata var. constricta Monterosato, 1888	Synonyme
			Trochocochlea articulata var. depauperata Monterosato, 1888	Synonyme
			Trochocochlea articulata var. fulminea Monterosato, 1888	Synonyme
			Trochocochlea articulata var. minor Monterosato, 1888	Synonyme
			Trochocochlea articulata var. trivialis Monterosato, 1888	Synonyme
			Trochocochlea articulata var. undata Monterosato, 1888	Synonyme
			- *Trochocochlea turbiformis* (von Salis, 1793)	-
			Trochocochlea turbiformis var. minor Pallary, 1900	Synonyme
			Trochocochlea turbiformis var. undata Pallary, 1938	Synonyme
			Trochus (Monodonta) sitis Récluz, 1843	Synonyme
			- *Trochus articulatus* (Lamarck, 1822)	-
			Trochus articulatus var. lineolata Bucquoy, Dautzenberg & Dollfus, 1884	Synonyme
			Trochus articulatus var. major Bucquoy, Dautzenberg & Dollfus, 1884	Synonyme
			Trochus corcyrensis Stossich, 1865	Synonyme
			- *Trochus turbiformis* Salis Marschlins, 1793	-

Source: Donald *et al.* (2012) *in* World Register of Marine Species (WoRMS)

Figure 1 : Photographie de *Phorcus articulatus* (Lamarck, 1822) (faces ventrale et dorsale)

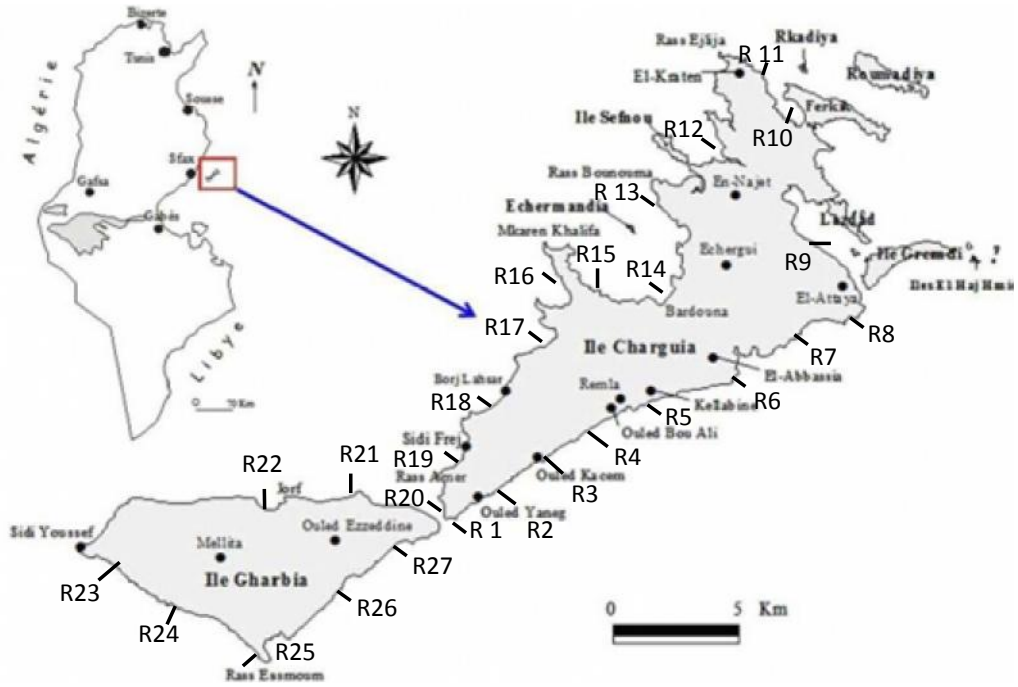


Figure 2 : Site de l'étude et emplacement des radiales d'échantillonnage

Il permettra d'avoir une idée plus claire sur la répartition de ces gastéropodes et de déceler les zones de concentrations et de biomasses importantes.

MATERIEL ET METHODES

Les opérations de prospection et de prélèvement des échantillons ont été menées durant les quatre saisons de l'année 2009 (janvier, avril, juillet et octobre) et le long du littoral de l'archipel des îles Kerkennah (île Chargui et île Gharbi) qui s'étend sur environ 160 km, à l'exception des petits îlots. Les stations ont été placées selon des radiales perpendiculaires à la ligne de côte qui forme un cercle clôt partant d'El-Kantra (R1) et revenant à Ouled Ezzeddine (R27) (Figure 2). Les 27 radiales choisies sont séparées entre-elles d'une distance de 3 km environ, et le nombre de stations par radiale (1 ou 2) dépend étroitement de l'action de la marée et de la distribution des ressources et sont séparées d'environ 50 m (Tableau II). Au total, 48 stations ont été échantillonnées à raison de 2 prélèvements par station à l'aide d'un quadra (50cm x 50cm) et sur une profondeur de 30 cm.

Au laboratoire, les échantillons recueillis ont été triés pour récupérer les animaux vivants qui ont été, ensuite, identifiés systématiquement. Le nombre d'individus et le poids total humide de *Phorcus*

Tableau II : Coordonnées et caractéristiques des stations d'échantillonnage

Radiales	Sites	Coordonnées des stations	Caractéristiques générales
R1	El-Kantra (Ouled Yaneg)	34° 39' 465 N 11° 07' 407 E 34° 39' 474 N 11° 07' 424 E	Fond vaseux Présence d'herbier à *Cymodocea nodosa* et *Posidonia oceanica* et quelques spécimens de *Pinctada radiata*
R2	El-Kantra/Ouled Kacem	34° 40' 300 N 11° 09' 065 E 34° 40' 309 N 11° 09' 088 E	Fond vaseux Présence de *Cymodocea nodosa* et *Posidonia oceanica*
R 3	Ouled Kacem	34° 41' 063 N 11° 10' 155 E 34° 41' 081 N 11° 10' 172 E	Fond vaseux Présence de *Cymodocea nodosa* et *Posidonia oceanica*
R4	Ouled Bou Ali	34° 41' 518 N 11° 11' 338 E 34° 41' 521 N 11° 11' 366 E	Fond vaso-sableux nu, avec présence de touffes et prairie de *Cymodocea nodosa*
R5	El-Kallabine (Sidi Amor)	34° 42' 171 N 11° 12' 598 E 34° 42' 189 N 11° 12' 406 E	Fond vaso-sableux
R6	El-Abbassia	34° 42' 421 N 11° 14' 558 E 34° 42' 452 N 11° 14' 589 E	Fond vaso-rocheux Présence d'herbier à *Cymodocea nodosa* et *Posidonia oceanica*
R7	El-Abbassia/El-Attaya	34° 43' 305 N 11° 16' 289 E 34° 43' 327 N 11° 16' 300 E	Fond vaseux Prairies de *Cymodocea nodosa* éparses
R8	El-Attaya	34° 43' 595 N 11° 18' 102 E 34° 44' 402 N 11° 18' 146 E	Fond vaseux
R9	El-Attaya/Sidi Massoud	34° 45' 417 N 11° 17' 002 E 34° 45' 026 N 11° 17' 077 E	Zone rocheuse Fond vaseux sur une couche rocheuse
R10	El-Attaya/El-Kraten	34° 46' 502 N 11° 15' 348 E 34° 46' 547 N 11° 15' 332 E	Fond sablo-vaseux Présence de touffes de *Cymodocea nodosa* et *Posidonia oceanica*
R11	El-Kraten	34° 47' 195 N 11° 14' 544 E 34° 47' 189 N 11° 14' 572 E	Fond vaseux sur une couche rocheuse avec prairie dense de *Cymodocea nodosa*
R12	Ennajet/El-Kraten	34° 46' 539 N 11° 14' 286 E	Côte rocheuse à la quelle est superposée une mince couche de vase et de sable, présence de *Pinctada radiata*, Trochidés
R13	Chargui	34° 46' 388 N 11° 13' 087 E 34° 46' 433 N 11° 13' 064 E	Fond sablo-vaseux
R14	Chargui (kortine)	34° 44' 512 N 11° 13' 265 E 34° 45' 476 N	Côte rocheuse avec fond rocheux Présence de Trochidés

		11° 13’ 297 E	
R15	Chargui/Kalabine	34° 44’ 407 N 11° 11’ 386 E	Fond rocheux avec présence de Trochidés
R16	Sidi Founkhal	34° 44’ 435 N 11° 10’ 440 E	Fond sableux Présence d’herbier dense de *Cymodocea nodosa* et *Posidonia oceanica*
		34° 44’ 403 N 11° 10’ 483 E	
R17	El-Branka	34° 42’ 557 N 11° 09’ 283 E	Fond sablo-vaseux
		34° 42’ 534 N 11° 09’ 206 E	
R18	Borj El-Hsar	34° 42’ 041 N 11° 08’ 187 E	Fond sableux
		34° 42’ 023 N 11° 08’ 225 E	
R19	Sidi Fredj	34° 41’ 286 N 11° 08’ 066 E	Fond sableux, touffes éparses de *Cymodocea nodosa* et *Posidonia oceanica*
		34° 41’ 263 N 11° 08’ 083 E	
R20	Nord d’El-kantra	34° 39’ 560 N 11° 07’ 309 E	Fond sablo-argileux avec présence d’herbier à *Cymodocea nodosa* et *Posidonia oceanica*
		34° 39’ 578 N 11° 07’ 337 E	
R21	Est d’El-Djorf	34° 40’ 231 N 11° 05’137 E	Fond sablo-vaseux avec présence d’herbier à *Cymodocea nodosa*
R22	Ouest d’El-Djorf	34° 40’ 056 N 11° 02’559 E	Côte rocheuse avec présence de *Pinctada radiata* et de Trochidés
		34° 40’ 052 N 11° 03’035 E	
R23	Sidi Youssef	34° 39’063 N 10° 58’ 357 E	Fond argilo-sableux avec présence d’herbier à *Cymodocea nodosa* dense
		34° 39’040 N 10° 58’ 379 E	
R24	Marsa Essandoug	34° 37’ 534 N 11° 00’ 407 E	Fond sablo-rocheux
R25	Rass Essmoum	34° 36’ 536 N 11° 02’ 351 E	Fond sableux
		34° 36’ 550 N 11° 02’ 340 E	
R26	El-Gdaya (Mellita)	34° 38’ 239 N 11° 04’ 561 E	Fond sablo-rocheux Présence d’herbiers à *Cymodocea nodosa* et *Posidonia oceanica*
R27	Ouled Ezzeddine (Es’Sabkha)	34° 39’ 241 N 11° 06’ 548 E	Fond sablo-vaseux Présence d’herbiers à *Cymodocea nodosa* et *Posidonia oceanica*

articulatus ont été déterminés à chaque station, puis moyennés par radiale. Le pesage a été effectué, après nettoyage de la coquille à l’eau de mer, à l’aide d’une balance électronique de 0,01 g près de précision. Pour l’évaluation du stock du trochidé étudié, nous avons fait recours à la méthode d’évaluation directe basée sur l’aire balayée (Gulland, 1969). Le principe général de cette méthode repose sur la réalisation, dans le site en question, d’une série d'opérations de prospection et de prélèvement. Pour une espèce donnée (e) et un site (ou strate) donné (i), l’estimation de la biomasse (Bi) du stock (en nombre ou en poids) s’effectue selon la formule suivante :

$$B_i = N_i \frac{A_i}{a_i} \times \frac{1}{X_e}$$

B_i : Biomasse du stock (en nombre ou en poids)

N_i : Indice d'abondance déterminé à partir des échantillons collectés et exprimé en ind./m² pour l'abondance et en g/m² pour la biomasse
A_i : Surface totale du site
a_i : Surface de prélèvement des échantillons (surface de la somme des quadras par site)
X_e : Facteur d'échappement de l'espèce considérée

Ensuite, toutes les informations recueillies ont été enregistrées sous forme numérique sur un support informatique avec les coordonnées des stations de prélèvement. Le logiciel "Arc/View 3.2" a été utilisé pour gérer les données saisies et faire des interpolations afin d'établir des cartes géo-référencées (Serbaji, 2000). Ainsi, des cartes d'abondance et de biomasse du trochidé *Phorcus articulatus* ont été élaborées pour les quatre saisons de l'année 2009.

RESULTATS

Les observations réalisées montrent que les fonds de la zone estran des îles Kerkennah présentent globalement une alternance de 3 principaux types sédimentaires. Les vases dominent au sud de l'île Chergui (R1 à R8), les rochers au nord-est (R9 à R15) et les sables à l'ouest de cette île et autour de l'île Gharbi (R16 à R27). Ces fonds sont le plus souvent couverts de végétaux marins, essentiellement des phanérogames marines *Posidonia oceanica* et *Cymodocea nodosa* accompagnées de temps en temps d'algues marines telles que *Caulerpa prolifera*. Alors que la liste des espèces animales rencontrées est dominée par les coquillages tels que les bivalves *Phorcus articulatus*, *Cerastoderma glaucum*, *Loripes lacteus*, *Mactra corallina*, *Mytillus galloprovincialis* et *Pinctada radiata*, et les gastéropodes *Natica josephinia*, *Conus mediterraenneus*, *Cerithium vulgatum*, *Hexaplex trunculus*, *Gibbula ardens* et *Bolinus brandaris*. Des ascidies, des bryozoaires et des annélides ont été également observés tout au long des zones prospectées.
La répartition saisonnière de l'abondance de *Phorcus articulatus* n'est pas uniforme tout au long de l'estran des îles Kerkennah (Figure 3). L'espèce étudiée est présente à toutes les stations échantillonnées, et les valeurs enregistrées sont comprises entre 8 ind./m² à El-Branka (R17) en hiver et 128 ind./m² à l'ouest d'El-Jorf (R22) en été (Figure 4). Sur l'année, les valeurs les plus élevées de l'abondance ont été observées à l'ouest d'El-Jorf ; 128 ind./m² en été, 124 ind./m² en automne et 109 ind./m² au printemps, et également à Ouled Kacem (R3) ; 114 ind./m² en été et 106 ind./m² en automne et en hiver. Alors que les valeurs annuelles moyennes les plus faibles ont été observées aux alentours de l'île Chergui ; à El-Kantra/Ouled Kacem (R2), El-Attaya/Sidi Massoud (R9), El-Kraten (R11), Chargui (R13), Chargui/Kalabine (R15) et au nord d'El-kantra (R20), où elles sont comprises entre 15 et 19 ind./m². Toutefois, les abondances moyennées sur toutes les radiales sont plus élevées au printemps (56 ind./m²) et en été (55 ind./m²), suivies de celle enregistrée en automne (48 ind./m²), alors que la valeur la plus faible a été enregistrée en hiver (39 ind./m²).
La biomasse montre des fluctuations saisonnières nettement plus importantes que pour l'abondance. Les valeurs enregistrées oscillent entre 41 et 242 g/m² (Figure 5). Les fortes valeurs ont été observées à Ouled Kacem (R3) ; 242 g/m² en été et 211 g/m² au printemps, et à El-Jorf (R22) ; 237 g/m² en été, 236 g/m² en automne et 222 g/m² au printemps. Des biomasses moins élevées mais au dessus de 200 g/m² ont été également enregistrées, essentiellement au printemps et en automne, à Ennajet/Kraten (R12), Ouled Ezzeddine (27), El-Abbassia (R6), El-Kantra/Ouled Kacem (R2), au nord d'El-Kantra (R20) et à El-Abbassia/El-Attaya (R7). Par contre, à El-Kantra (R1) et Sidi Youssef (R23), la biomasse est la plus faible, elle n'a pas dépassé les 86 g/m² sur l'année. Les biomasses moyennées sur toutes les stations montrent des valeurs relativement élevées au printemps (143 g/m²), moyennes en automne (125 g/m²) et en été (122 g/m²) et relativement faibles en hiver (91 g/m²).
Le poids individuel moyen montre des fluctuations spatio-temporelles importantes. Il varie de 1 à 14 g/ind. Les valeurs les plus élevées (10-14 g/ind.) ont été enregistrées à El-Kantra/Ouled Kacem (R2), El-Kraten (R11), Chargui (R13) et Chargui/Kalabine (R15), et les valeurs les plus faibles (0,9-1,4 g/ind.) à El-Attaya/El-Kraten (R10) et Sidi Fredj (R19) à différentes saisons.
L'analyse de la variance (ANOVA) montre une différence hautement significative entre les radiales aussi bien pour l'abondance que pour la biomasse (Tableau III). Tandis que pour les saisons, elle est hautement significative pour la biomasse et non significative pour l'abondance.

DISCUSSION

L'objectif essentiel de ce travail consiste à cartographier la distribution saisonnière de l'abondance et la biomasse du trochidé *Phorcus articulatus* dans la zone estran des îles Kerkennah. Le manque de données fiables sur les principaux paramètres environnementaux et anthropiques de la zone nous empêche de donner des explications certaines aux faits observés, et la discussion se limite donc à avancer des hypothèses plausibles. Le trochidé *Phorcus articulatus* a été signalé à toutes les stations échantillonnées avec des abondances relativement élevées. A première vue, il semble qu'il n'est pas, ou peu, conditionné par la nature des fonds marins dans

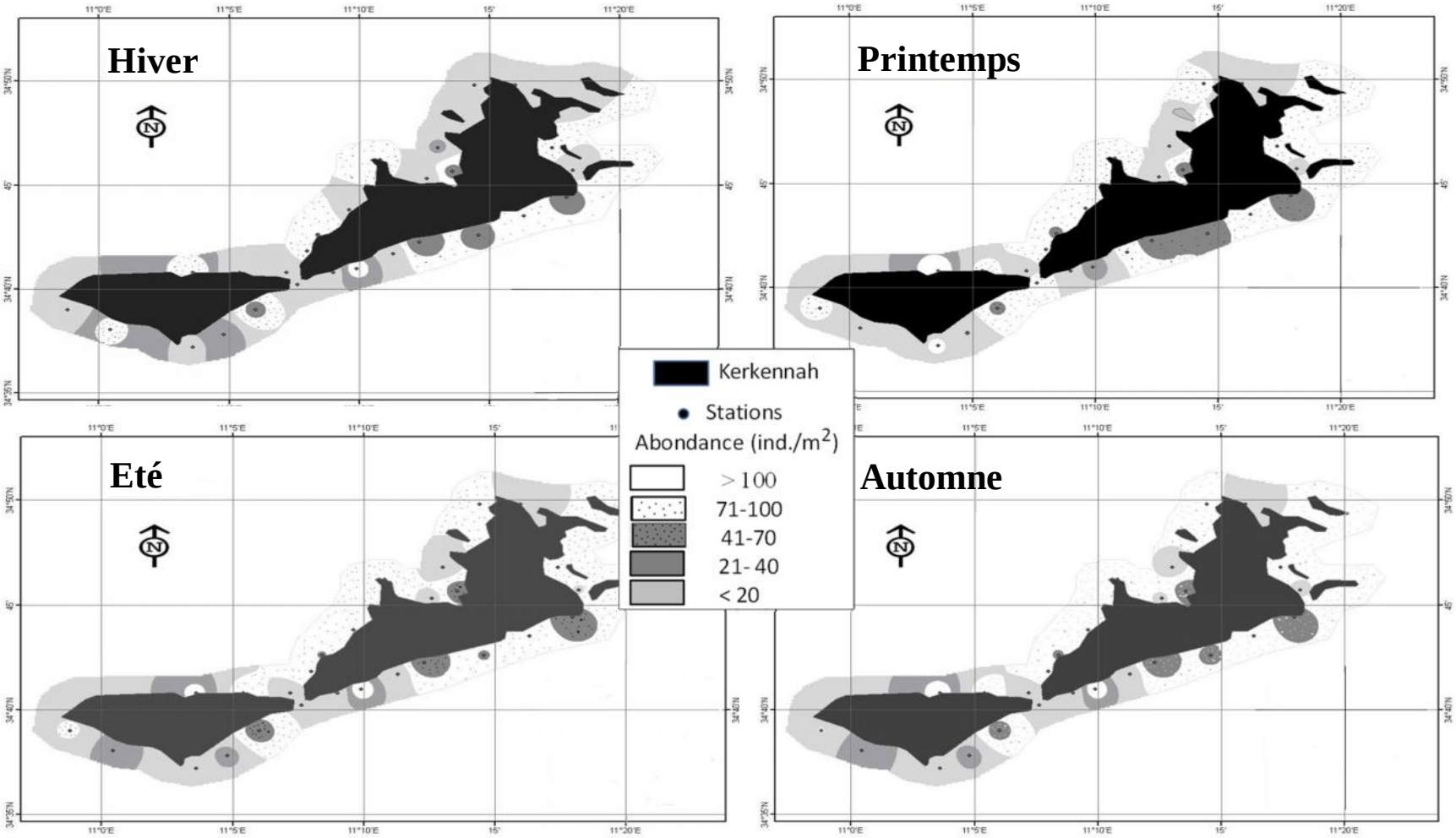


Figure 3 : Répartition géographique de l'abondance de *Phorcus articulatus* aux alentours de l'archipel de Kerkennah

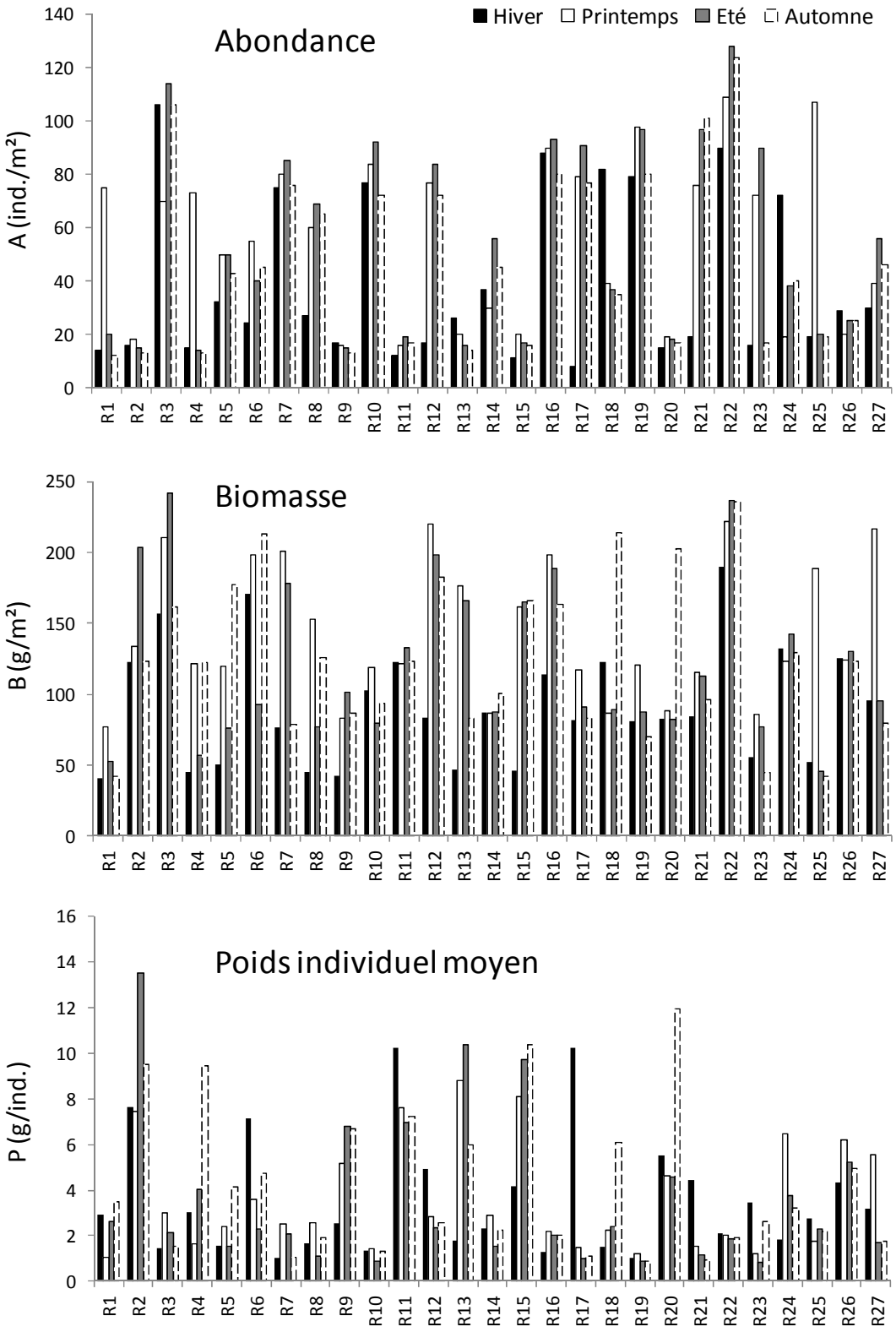


Figure 4 : Variation spatio-temporelle de l'abondance, de la biomasse et du poids individuel moyen (poids humide) de *Phorcus articulatus* aux alentours de l'archipel de Kerkennah

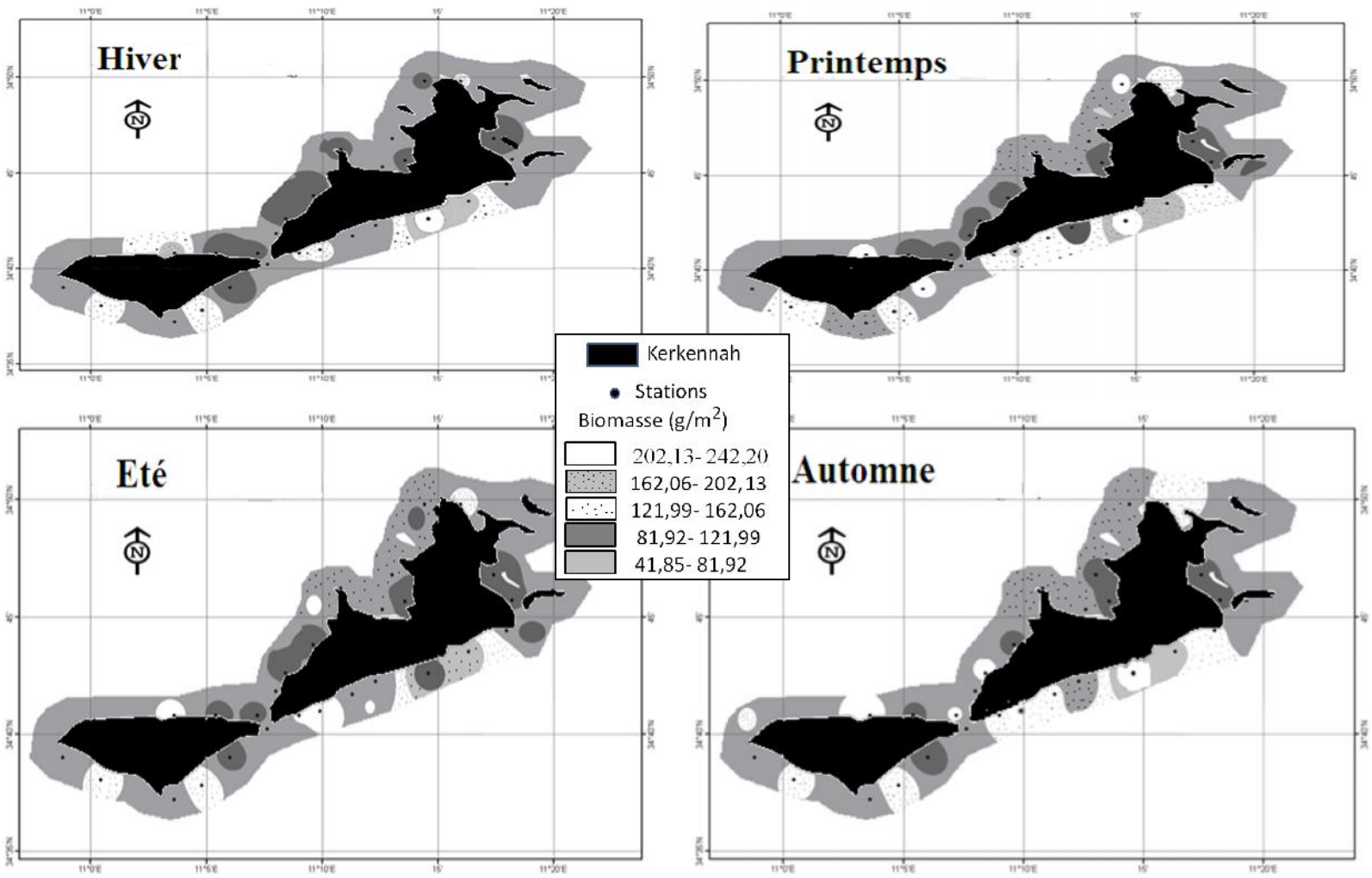


Figure 5 : Répartition géographique de la biomasse (poids humide) de *Phorcus articulatus* aux alentours de l'archipel de Kerkennah

Tableau III : Analyse de la variance (ANOVA) ; les valeurs calculées (*F*) et leur degré de signification (*P*) pour la variabilité spatio-temporelle de l'abondance et la biomasse. ddl : degré de liberté.

Facteurs	ddl-1	ddl-2	Intervalle de confiance	Abondance		Biomasse	
				F	*P*	*F*	*P*
Radiale	26	81	0,95	7,261	< 0,001	3,334	< 0,001
Saison	3	104	0,95	1,589	0,197	4,925	0,003

la zone estran des îles Kerkennah, puisque son abondance et sa biomasse ne montrent pas de grande différence entre les 3 types sédimentaires observés (vases, rochers et sables). Plusieurs facteurs environnementaux, à l'instar de l'hydrodynamisme et la disponibilité des ressources trophiques, et éventuellement des facteurs anthropiques agissent certainement en concomitance sur la distribution géographique de cette espèce. L'abondance semble être, tout de même, légèrement plus faible dans l'estran rocheux (R9 à R15) au nord-ouest de l'île Chargui, essentiellement à El-Ataya/Sidi Mansour (R9), El-Kraten (R11), Chargui (R13) et Chargui/Kalabine (R15). Toutefois, le poids individuel moyen est nettement plus élevé dans ces fonds rocheux, ce qui signifie que ce sont essentiellement de gros spécimens qui habitent ces milieux. Il est certain que les rochers représentent un substrat de fixation pour ces espèces sessiles, et qui permettent aux adultes de résister à la force des courants marins créés par les vagues et les houles dans ces zones. En fait, les œufs émis par *Phorcus articulatus* donnent à la fin du printemps-début de l'été des larves planctoniques qui s'échouent après quelques jours sur le fond. Puis, les jeunes gastéropodes âgés de quelques semaines et qui mesurent de 1 à 3 mm migrent vers le haut de l'estran pour se fixer sur un substrat dur (Lindner & Weber, 2005). De ce fait, les courants marins forts du nord et la houle du nord et du nord-est de l'île Chergui gênent le déroulement normal de ces phases de développement de *Phorcus articulatus*, puisqu'ils entrainent ses œufs et larves et les emportent plus loin, et seules les adultes peuvent se fixer sur les rochers et résister aux houles et vagues qui se heurtent souvent violemment sur les rochers. Dans l'estran des îles Kerkennah, les concentrations de *Phorcus articulatus*, essentiellement adultes, ont été plus fortes dans les zones rocheuses, les pêcheries et les herbiers des phanérogames *Posidonia oceanica* et *Cymodocea nodosa*. Il semble que ces milieux offrent plus de substrats variés sur lesquels cette espèce peut se fixer et capturer sa nourriture (Gueddich, 2006).

En général, les côtes tunisiennes et notamment celles des îles Kerkennah sont caractérisées par la richesse de leur faune malacologique, essentiellement les gastéropodes et plus particulièrement les trochidés (Gueddich, 2006). A ce jour, les espèces de ce groupe n'ont pas fait l'objet d'une vraie exploitation malgré leurs fortes abondances. De ce fait, elles ne sont pas bien étudiées, et plusieurs aspects écobiologiques restent mal connus (Cheour *et al.*, 2014). Les quelques travaux scientifiques effectués à ce jour sur le genre *Monodonta* (synonyme de *Phorcus*) considèrent que cette espèce est un bioindicateur efficace et fiable de la pollution (Saliba & Vella, 1977 ; Axiak & Schembri,1982 ; Bargagli *et al.*, 1985 ; Nicolaidou & Nott, 1990 ; Cubadda *et al.*, 2001). Sa répartition dans la zone estran des îles Kerkennah semble confirmer ces constatations puisqu'elle est plus abondante dans les secteurs potentiellement riches en matière organique d'origine urbaine, à l'instar des régions d'Ouled Kacem (R3), d'El-Attaya (R10), de Sidi Fredj (R19) et de Sidi Youssef (R23) (Gueddich, 2006). D'autant qu'elle est moins présente dans les zones non habitées ou à très faible taux d'urbanisme, à l'instar des côtes nord et est de l'île Chargui, notamment les régions d'El-Attaya/Sidi Massoud (R9), El-Kraten (R11), Chargui (R13), Chargui/Kalabine (R15), Rass Essmoum (R25), El-Gdaya (R26) et au nord d'El-kantra (R20). Toutefois, la pollution et l'hydrodynamisme ne sont certainement pas les seuls facteurs qui régissent le développement et la distribution géographique de *Phorcus articulatus* aux îles Kerkennah, mais également d'autres facteurs abiotiques comme la température et la salinité, ainsi que des facteurs biotiques comme la disponibilité des ressources trophiques et les interactions avec d'autres populations ont certainement des rôles plus ou moins intéressants à jouer (El Hasni, 2005). A titre d'exemple, les spécimens de *Phorcus articulatus* collectés dans les zones d'El-Kantra (R1 et R20), de Chargui-Kalabine (R15) et de Sidi Youssef (R23) portent des coquilles le plus souvent perforées, ce qui signifie que l'espèce subit l'action des prédateurs, comme les crabes et les oiseaux.

En conclusion, ce travail a permis de cartographier l'abondance et la biomasse du gastéropode trochidé *Phorcus articulatus* le long de l'estran des îles Kerkennah. Faute de données fiables sur les caractéristiques biotiques et abiotiques du milieu, les principaux facteurs potentiels qui semblent régir le développement et la répartition géographique de cette espèce ont été discutés. Les résultats obtenus montrent que *Phorcus articulatus* est très abondant aux alentours des îles Kerkennah, et que sa répartition

spatiale présente des différences liées semble t-il aux facteurs hydrobiologiques et anthropiques. Bien que ces mollusques gastéropodes présentent un intérêt économique secondaire, leur rôle demeure primordial dans l'équilibre écologique de l'écosystème puisqu'ils constituent un maillon de base de la chaîne trophique. Des études plus détaillées sur aussi bien l'écobiologie de cette espèce que sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des îles Kerkennah sont nécessaires pour comprendre le fonctionnement de cet écosystème et les contraintes qui y sont imposées.

BIBLIOGRAPHIE

Aloui-Béjaoui N. & Afli A., 2012. Functional diversity of the macro invertebrate community in the port area of Kerkennah Islands (Tunisia). *Mediterranean Marine Science*, 13(1) : 93-102.

Amari A., 1984. La contribution à la connaissance hydrologique et sédimentologique de la plate forme des îles Kerkennah. Thèse 3ème cycle de la Faculté des Sciences de Tunis, 251p.

Axiak V., Schembri J.L., 1982. Effects of temperature on the toxicity of mercury and cadmium to the littoral gastropod *Monodonta turbinata*. *Marine Pollution Bulletin*, 13: 383-386.

Bailey S.E.R., 1981. Circannual and circadian rhythms in the snail *Helix aspersa* Müller and the photoperiodic control of annual activity and reproduction. *Journal of Comparative Physiology* 142 : 89-94.

Bargagli R., Baldi F., Leonzio C., 1985. Trace Metal Assessment in Sediment, Molluscs and Reed Leaves in the Bay of Follonica (Italy). *Marine Environmental Research* 16: 281-300.

Belkhodja H., 2003. Contribution à l'étude de la faune malacologique de la lagune de Bizerte: Evaluation et interaction avec le substrat. Mémoire du Diplôme d'Etudes Approfondies de l'Institut National Agronomique de Tunisie, 100 p.

Ben Abdallah O., Ben Hadj Hamida N et Jarboui O., 2006. Evaluation et cartographie des stocks de coquillages dans la partie marine de la région de Zarzis. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*, : 13 - 21.

Ben Brahim M., Hamza A., Ben Ismail S., Mabrouk L., Bouain A., Aleya L., 2013. What factors drive seasonal variation of phytoplankton, protozoans and metazoans on leaves of *Posidonia oceanica* and in the water column along the coast of the Kerkennah Islands, Tunisia? *Marine Pollution Bulletin*, 71, 286-298.

Ben Othmen S., 1971. Observations hydrologiques, dragages dans le Sud-est tunisien. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche, Salammbô* 2 : 103 - 120.

Chakroun R., 2004. Réponse de la macrofaune invertébrée benthique à l'état de dégradation du milieu : cas du lac Sud de Tunis et de la lagune de Ghar EL Melh. Thèse de Doctorat de la Faculté des Sciences de Bizerte, 341 p.

Cheour M.K., Elgharsalli R., Benmessaoud R. & Aloui-Bejaoui N., 2014. Variation of steroid concentrations during the reproductive cycle of the snail Osilinus articulatus in the Kherkennah Islands (Gulf of Gabes, Tunisia). *Cahiers de Biologie Marine*, 55: 191-199.

Cubadda F., Conti M. E., Campanella L., 2001. Size-dependent concentrations of trace metals in four mediterranean gastropods. *Chemosphere*, 45 : 561 – 569.

Dautzenberg P., 1883. Liste des coquillages du golfe de Gabès. *Journ. Conchyl.* Vol. 31. 37 me sér. Tome. 23, Paris: 289-291.

Desai B.N., 1966. The biology of *Monodonta lineata* (da Costa). *Journal of molluscan studies*, 37: 1-17.

Donald K.M., Preston J., Williams S.T., Reid D.R., Winter D., Alvarez R., Buge B., Hawkins S.J., Templado J. & Spencer H.G., 2012. Phylogenetic relationships elucidate colonization patterns in the intertidal grazers *Osilinus* Philippi, 1847 and *Phorcus* Risso, 1826 (Gastropoda: Trochidae) in the northeastern Atlantic Ocean and Mediterranean Sea. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 62(1): 35-45.

El Hasni K., 2005. Contribution à l'étude de l'abondance et cartographie des stocks des gastéropodes dans la zone estran de Sfax-Nord. Cas des espèces : *Ceritium vulgatum, Bittium reticulatum* et *Natica josephina*. Mastère en Biodiversité et Ressources Aquatiques de la Faculté des Sciences de Sfax, 125 p.

Enée J., Bonnefoy-Claudet R. & Gomot L., 1982. Effet de la photopériode artificielle sur la reproduction de l'Escargot *Helix aspersa* Müll. *Comptes Rendus des Séances de L'Académie des Sciences Paris*, 294: 357-360.

Garwood P.R and Kendall M. A., 1985. The reproductive cycles of *Monodonta lineata* and *Gibbula umbilicalis* on the coast of Mid Wales. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 65: 993-1008.

Gharsallah-Haouas I., Zamouri-Langar N., Chouba L., Mrabet R. & Elabed A., 2004. Les Mésogastéropodes (Mollusca : Gasteropoda) dans les lagunes du littoral tunisien. *Bulletin de*

l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô. N. S 9 : 143 - 146.

Ghodhbane D., 2002. Contribution à l'étude de la macrofaune benthique de la lagune de Bougrara. DEA. Fac. Sci. Tunis. Univ. El Manar, 122 p.

Gomot L., & Griffond B. 1993. Action of epigenetic factors on the expression of hermaphroditism in the snail *Helix aspersa*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 104A: 195-199.

Gros F. & J. Dercourt (coords.) 2000. Systématique. Ordonner la diversité du Vivant. Rapport sur la science et la technologie n°11. Académie des Sciences-Editions Tec&Doc, Paris, Londres & New York.

Gueddich H., 2006. Abondance et répartition des espèces de coquillages dans l'estran aux îles Kerkennah. Mastère en Biodiversité et Ressources Aquatiques de la Faculté des Sciences de Sfax, 132 p.

Gulland J. A., 1969. Manuel des méthodes d'évaluation des stocks d'animaux aquatiques. Première partie: Analyse des populations. Manuel F.A.O. des sciences halieutiques n°4, 1960p. FRS/M4.

Hajjej G., 2004. Contribution à l'étude de la biocénose de l'estuaire Oued El Akarit et du littoral Metouia-Ghannouch. Mémoire de Mastère. INAT, 112 p.

Hamza A., Bouain A. & El Abed A., 2000. Observations sur la floration et la fructification de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile sur les côtes du Golfe de Gabès (Tunisie). *Mésogée*, 50: 93‑99.

Hennig W., 1950. Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik (Fondements d'une théorie de la systématique phylogénétique), Deutscher Zentralverlag, Berlin. Traduit en 1966 en Anglais par D. Dwight Davis & R. Zangerl.

Lasiak T. 1987. The reproductive cycle of three Trochid gastropods from the Transkei coast, Southern Africa. *Journal of molluscan studies* 53: 24-32.

Lindner G. and Weber D., 2005. Guide des coquillages marins, 2ème édition, ed. Delachaux & Niestle, 320 p.

Mabrouk L., Guarred T., Hamza A., Messaoudi I., Hellal A.N., 2014. Fluctuating asymmetry in grass goby *Zosterisessor ophiocephalus* Pallas, 1811 inhabiting polluted and unpolluted area in Tunisia. *Marine Pollution Bulletin*, 85: 248–251.

Nicolaidou A. et Nott J.A., 1990. Mediterranean Pollution from a Ferro-nickel Smelter: Differential uptake of metals by some gastropods. *Marine Pollution Bulletin*, 21 (3): 137-143.

Ouannes-Ghorbel A., Guirah J., Boukarayaa M., El hasni K., Derbali A. et Jarboui O., 2009. Inventaire et abondance relative des gastéropodes dans les zones marines côtières de Monastir (Est Tunisien). *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*, 36: 67 - 73.

Pallary P., 1914. Liste des Mollusques du golfe de Tunis. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Du Nord*, (5) : 12-27.

Saliba L.J., Vella M.G., 1977. Effects of mercury on the behaviour and oxygen consumption of *Monodonta articulata* . Marine Biology 43: 277-282.

Serbaji M.M., 2000. Utilisation d'un SIG multi-sources pour la compréhension et la gestion intégrée de l'écosystème côtier de la région de Sfax (Tunisie). Thèse de Doctorat, 226p.Fac.Sci.Tunis.

Soufi-Kechaou E. 2004. Caractérisation écobiologique de l'espèce invasive *Pinctada radiata* (Leach, 1814) au nord-est des îles Kerkennah et relations avec l'espèce endémique et protégée de Méditerranée *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758). DEA, 185p. Inst. Natn. Agr. Tunis.

Underwood A.J., 1972. Observations on the reproductive cycles of *Monodonta lineate*, *Gibbula umbilicalis* and *G. cineraria*. *Marine biology* 17: 333-340.

Williams E.E., 1965. The growth and distribution of *Monodonta lineata* (Da Costa) on a rocky shore in Wales. *Fld Stud* 2: 189-98.

Zamouri-Langar N., Charef A., Romdhane M. S., Benmaiz N. et Gharsallah-Haouas I., 2004. Premier inventaire et répartition du macrozoobenthos de la lagune de Tunis (17 ans après les aménagements). *Bulletin de l'INSTM. N.S*, 9 : 5 - 8.

Zaouali J., 1978. Les peuplements malacologiques de la mer de Bou Grara. *Bull. Off. Natn. Pêche. Tunisie* 2: 199-209.

Zaouali J., 1979. Etude écologique du lac de Bizerte. *Bull. Off. Natn. Pêche, Tunisie*, 3 (2): 107-142.

Zaouali J., 1993. Les peuplements benthiques de la petite Syrte, golfe de Gabès. Tunisie. Résultat de la compagne du mois de juillet 1990. Etude préliminaire de biocénose récente. *Mar. Life*, 3 (1-2) : 47-60.

Evaluation de la qualité nutritionnelle du rouget de vase *Mullus barbatus* dans le golfe Tunis (Mer Méditerranée, Nord de la Tunisie)

Rym ENNOURI [(1) *], Sami MILI [(1,2)] et Lassaad CHOUBA[(1)]

[1] Institut National des Sciences et Technologies de la Mer. 28, Rue 2 Mars 1934, 2025 Salammbô, TUNISIA.

[2] Unité Exploitation des milieux aquatiques, Institut Supérieur de Pêche et d'Aquaculture de Bizerte, BP 15, 7080 Menzel Jemil, TUNISIA.

* rymenvmarin@yahoo.fr

ملخص

تقييم القيمة الغذائية لسمكة التريليا (*Mullus barbatus*) من خليج تونس : في هذه الدراسة قمنا بتقدير تركيز بعض **المعادن** (Na, K, Fe, Mn, Mg et Ca) **في لحم و كبد و دماغ و** بمبيض**سمكة** التريليا (*Mullus barbatus*) **المتواجدة في** خليج تونس كما قمنا كذلك بتقييم نسب الأحماض الدهنية في لحمها.

وقع تجميع عينات التريليا بصفة شهرية من منطقة غار الملح. لقد وقع اختيار هذه المنطقة نظرا لثرائها بالأسماك البحرية و سهولة الوصول اليها . استعملنا طريقة الإمتصاص الذري لتحليل المعادن و الكروماتوغرافيا الغازية بالنسبة لتحليل الأحماض الدهنية في كل العينات.

بينت النتائج المتحصل عليها أن تركيز المعادن بالمبيض يتغير حسب الفصل مع وجود أعلى نسبة خلال فصل الربيع. كما لاحضنا أن المخ يمثل العضو المفضل لتجميع الكلسيوم (Ca) والسوديوم (Na) و أن الكبد يمثل المكان المفضل لتراكم الحديد (Fe) والمنغنيز(Mn).

أما بالنسبة لنتائج التحاليل البيوكيميائية أظهرت تقلبات موسمية فى نسبة الدهون و الأحماض الدهنية مع وجود علاقة ترافق فى ارتفاع نسبة الأحماض الدهنية الغير مشبعة مع انخفاض نسبة الأحماض الدهنية المشبعة. وقد تم تسجيل المستوايات القصوى من الأحماض الدهنية n-3 خلال فصل الربيع.

الكلمات المفاتيح :سمكة التريليا ، خليج تونس، المعادن، الأحماض الدهنية

RESUME

Le rouget de vase est une espèce benthique très répondue dans le golfe de Tunis durant toute l'année. Ce produit de pêche à très haute valeur commerciale est très apprécié par le consommateur tunisien. Dans cette étude on a évalué la qualité nutritionnelle de ce poisson en évaluant sa richesse en oligo-éléments et en acides gras. Pour ce fait, nous avons suivi les concentrations de ces éléments en fonction des saisons dans quatre organes (la chair, le foie, le cerveau et les gonades).

Les échantillons du rouget de vase ont été collectés mensuellement auprès des embarcations professionnelles utilisant le filet trémail au niveau de la zone côtière de Ghar El Melh. Cette zone a été choisie en raison de sa richesse en ressources halieutiques et de son accessibilité. L'analyse des oligo-éléments (Ca, Na, K, Mg, Fe et Mn) a été réalisée à l'aide d'un Spectrophotomètre d'Absorption Atomique à flamme. L'analyse des acides gras a été effectuée par Chromatographie en Phase Gazeuse.

Les résultats obtenus montrent que les concentrations de tous les oligo-éléments étudiés dans les gonades du rouget suivent une variation saisonnière avec un pic au printemps (période de pré-ponte dont les gonades sont les plus développées). De plus, nous avons noté que les gonades représentent le site préférentiel d'accumulation du Mg et de K ; le cerveau pour le Ca et le Na et le foie pour le Fe et le Mn.

En ce qui concerne les Acides Gras, les teneurs en Mono-Insaturés (AGMI) et Saturés (AGS) évoluent d'une façon inversement proportionnelle à celle des Acides Gras Polyinsaturés (AGPI). Les taux des acides gras du type n-3 présentent un pic au niveau de la chair du rouget de vase durant le printemps.

Mots clés : *Mullus barbatus*, rouget de vase, oligo-éléments, acides gras, Golfe de Tunis.

ABSTRACT

Study of nutritional quality of red mullet *Mullus barbatus* from Tunis Gulf (Mediterranean Sea, northern Tunisia) : The aim of this study is to evaluate the levels of oligo-elements (Mg, Ca, Na, K, Fe and Mn) and the fatty acids in four tissues (muscle, liver, brain and gonads) of a benthic teleost species, the Red Mullet (*Mulus barbatus*). This benthic fish is one of the most important landed species in gulf of Tunis (Mediterranean Sea, Northern Tunisia). *Mullus barbatus* is considered as a common species in this area throughout all seasons. In this

study, the organotropism, the seasonal effect of oligo-elements and fatty acids accumulation was determined. The concentrations of Mg, Ca, Na, K, Fe and Mn were performed using Flame Atomic Absorption Spectrophotometry. Fatty acids were analysed by Gas Chromatography. The results showed a seasonal variation in all elements in the gonads with a peak in spring. Additionally, these organs represents the preferential site for accumulation of Mg and K; the brain for the Ca and Na and liver for Fe and Mn.
The results concerning fatty acids demonstrate that the levels of monounsaturated and saturated acids increase when the levels of polyunsaturated fatty acids decrease in all tissues of Red Mullet. Lipid levels of displayed pronounced seasonal fluctuations, with the highest value in March and the lowest value in May. In addition, the highest level of fatty acid n-3 was observed in flesh during spring season.
Key words: *Mullus barbatus*, Red Mullet, oligo-elements, fatty acids, Gulf of Tunis.

INTRODUCTION

Le golfe de Tunis est considéré comme l'un des principaux sites de pêche de la Tunisie de part sa position charnière entre les bassins occidental et oriental de la Méditerranée et grâce à sa richesse en ressources halieutiques (Charef et *al*., 2012) de grande valeur nutritionnelle (Falch et *al*., 2006).
Le rouget de Vase *Mullus barbatus* Linnaeus, 1758, (Gharbi et *al*., 1986) est un poisson benthique très répondu dans la zone considérée et qui est pêchée durant toute l'année. Cette espèce est très appréciée par le consommateur tunisien et présente une valeur commerciale très importante.
L'étude de la composition chimique de cette espèce benthique devient nécessaire afin d'évaluer sa qualité nutritionnelle en déterminant sa richesse en oligo-éléments et en acides gras. Et ceci afin d'orienter le consommateur vers l'utilisation de ces organismes marins au moment où leur qualité nutritionnelle est la plus favorable. Jusqu'à ce jour, aucune étude n'a été réalisée sur la variation saisonnière en acides gras de cette espèce en Tunisie.
Pour ce fait, nous avons suivi des concentrations des oligo-éléments (Ca, Mg, Na, K, Fe et Mn), en fonction des saisons dans quatre organes du rouget de vase à savoir la chair qui est la partie essentiellement consommée, les gonades, le cerveau et le foie. Dans le but de déterminer la capacité de bioaccumulation de ces éléments en fonction des saisons d'une part et d'étudier leur distribution inter-organe d'autre part.
De plus, nous avons réalisé une étude visant la détermination des lipides et leurs compositions en acides gras de la chair.

MATERIEL ET METHODES

Site d'étude

Le golfe de Tunis, situé sur la côte la plus urbanisée au nord-est de la Tunisie, entre 36°44'N-10°15'E et 37°N-11°05'E et s'étend sur une surface d'environ 2000 km2 (Fig. 1). La salinité moyenne des eaux de surface est de l'ordre de 37,3 P.S.U. en été, 37 P.S.U en automne et au printemps et de 36,2 P.S.U en hiver. Les plus faibles concentrations en oxygène sont enregistrées pendant l'été (en moyenne 6,5 mg/l), contre 8,3 mg/l en hiver et 8,0 mg/l au printemps. La valeur minimale du pH est de l'ordre de 8,123 en hiver avec un maximum (8,265) en automne. Les eaux de surface du golfe de Tunis sont chaudes en été (25,5°C) et en automne (21,8°C) et froides en hiver (13,4°C) et au printemps (16,1°C) (Zarrad, 2007).

Echantillonnage

Les échantillons du rouget de vase ont été pêchés par filet trémails (pêche côtière) à bord des barques de pêche professionnelles. Les échantillons proviennent de la région côtière en face de la lagune de Ghar El Melh. Le rythme d'échantillonnage du poisson est mensuel ; il a couvert la période du 30 janvier au 30 décembre 2006. Nous avons choisi 30 spécimens pour chaque saison qui ont été par la suite mesurés et dont la taille est comprise entre 14 et 19 cm pour tout sexe confondus.

Traitement des échantillons

Tous les poissons choisis (30 individus pour chaque saison) ont été disséqués afin de prélever le foie, le cerveau, les gonades et des morceaux de chair du côté dorsal des flancs pour l'analyse des oligo-élémnets. Les organes ont été placés dans des récipients en verre pour éviter la contamination puis lyophilisés. Les lyophilisats ont été broyés et minéralisés dans des réacteurs en téflon au micro-ondes après ajout de 5 ml d'acide nitrique. Les minéralisats ont été transvasés dans des tubes et complétés jusqu'à 50 ml par de l'eau acidulée. Le dosage des métaux (Mg, Ca, Na, K, Fe et Mn) a été réalisé par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à flamme.
Un échantillon de référence (Nist, 276) de concentration connue (pour tous les éléments considérés) a été analysé avec chaque série des échantillons et ceci pour assurer le contrôle qualité des résultats.
L'extraction des lipides totaux de la chair du rouget de vase a été réalisée selon la méthode de Bligh et Dyer (1959). L'obtention des esters méthyliques d'acides gras a été effectuée selon le protocole de Metcalfe et *al*., (1966). Les esters méthyliques sont analysés par Chromatographie en Phase Gazeuse à l'aide d'un chromatographe HP modèle 4890 D équipé d'une colonne capillaire HP Innowax de 30m X 0.25mm de diamètre interne et dont l'épaisseur du filon est de 0.25µm. L'identité de chaque acide gras

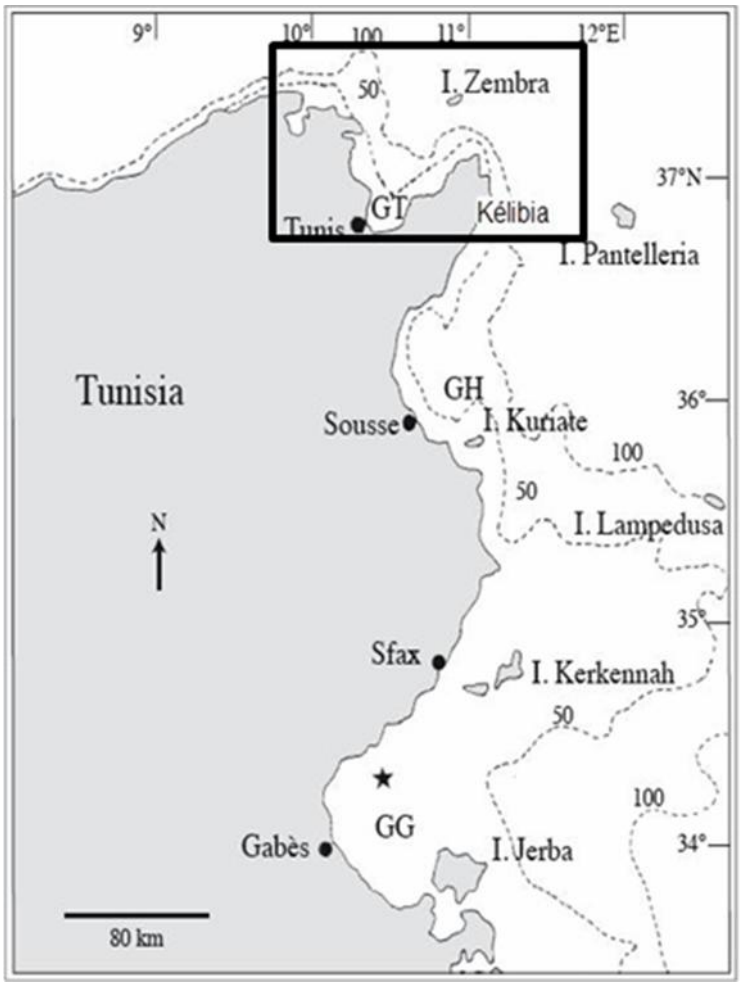


Figure 1: Carte bathymétrique de la Tunisie et situation géographique du golfe de Tunis.

représenté par un pic sur les chromatogrammes expérimentaux est obtenue par comparaison avec une analyse dans les mêmes conditions d'un mélange témoin d'acides gras (esters méthyliques standard PUFA (n-1) de SUPELCO).

Analyses statistiques des données

Les analyses statistiques ont été effectuées par le logiciel Statistica 8. Après un test de la normalité (test de Kolmogorov-Smirnov et Liliefors) et de l'homogénéité des variances (test de Levene) des tests paramétriques ont été utilisés: test de Student pour la comparaison des moyennes et test ANOVA pour déterminer l'effet des facteurs sur les variables. Le seuil de 95% a été adopté. Les moyennes ont été comparées deux à deux selon le test Duncan. Nous avons utilisé l'Analyse en Composantes Principales pour identifier l'interaction entre l'accumulation des oligo-éléments ainsi que la richesse en acides gras de la chair du rouget de vase du golfe de Tunis en fonction de la saison d'échantillonnage.

RESULTATS

Les concentrations des oligo-éléments trouvées dans le muscle, le foie, le cerveau et les gonades du rouget de vase du golfe de Tunis sont résumées dans le tableau I. Les teneurs en Fe suivent une faible variation saisonnière dans les organes du rouget de vase avec une différence significative dans le muscle (ANOVA, p=0,008), foie (p=0,038) et les gonades (p=0,003). Les concentrations du Mn présentent une variation saisonnière uniquement dans les gonades (p=0,031) avec des pics observés en été et au printemps. Pour les teneurs en Mg, les résultats ont montré qu'il existe une variation saisonnière dans le foie (p=0,003) et dans les gonades (p=0,001). Les teneurs du Ca présentent une variabilité saisonnière au niveau du muscle (p=0,001), cerveau (p=0,004) et des gonades (p=0). En ce qui concerne le Na, les concentrations suivent une variation saisonnière uniquement dans les gonades (p=0,002) avec un pic en été. Les concentrations du K présentent une variabilité saisonnière au niveau du foie (p=0,007), du cerveau (p=0) et des gonades (p=0).

Tableau I : Variation saisonnière des concentrations en µg/g du poids frais des oligo-éléments dans les tissus du rouget de vase *Mullus barbatus* du golfe de Tunis.

		Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na
Hiver	**Muscle**	210±135	12±3	3630±461	414±50	4,8±2,9	2473±1196
	Foie	147±95	192±53	2998±648	441±58	3,7±0,5	2466±334
	Cerveau	104±25	31±15	3090±893	250±63	1,9±1,1	3540±1729
	Gonade	142±44	4±1,2	1514±341	204±45	1,2±0,1	392±52
Printemps	**Muscle**	209±96	29±11	4627±1319	406±41	9,6±0,6	2014±974
	Foie	71±32	91±14	5101±685	649±64	10,3±2,5	4232±1312
	Cerveau	1788±418	35±8	5775±1856	418±123	1,9±1,3	6212±2831
	Gonade	1129±55	108±27	5847±250	1522±388	7,2±3,7	2467±704
Eté	**Muscle**	683±157	27±2	4864±456	415±31	2,7±1,6	1179±20
	Foie	208±74	179±13	4248±250	490±6	3,8±1,4	2616±249
	Cerveau	514±37	53±15	3881±584	553±311	3±1,6	3172±740
	Gonade	1158±99	68±47	7590±2224	1385±574	6,2±3,1	2602±1059
Automne	**Muscle**	135±29	9±3	3733±723	376±49	5,5±3,1	1381±319
	Foie	168±85	155±46	3764±393	428±60	3,2±0,6	2370±625
	Cerveau	935±661	50±15	6551±2739	579±239	2,1±1,1	4983±1648
	Gonade	158±31	4±0,3	1257±197	119±13	1,5±0,4	269±98

saisonnière au niveau du foie (p=0,007), du cerveau (p=0) et des gonades (p=0).

D'après les figures (2, 3, 4, 5, 6, 7) nous avons remarqué que le cerveau est le site préférentiel de l'accumulation du Na et du Ca. En ce qui concerne le K et le Mg, ils s'accumulent davantage au niveau des gonades. Enfin, le Fe et le Mn s'accumulent le plus au niveau du foie.

Dans les tableaux II et III, nous avons déterminé la richesse en lipides totaux et de leur composition en acides gras de la chair du rouget de vase du golfe de Tunis.

L'Analyse en Composantes principales (Figures 8 et 9) appliquée aux concentrations des oligo-éléments (Mg, Ca, Na, K, Fe et Mn) et à la richesse en lipides totaux et en acides gras de la chair du rouget de vase du golfe de Tunis en fonction de la saison d'échantillonnage a montré que les deux composantes 1 et 2 représentent à elles seules 77,52 % de la variance totale. La figure 8, montre que la première composante contribue par 47,35 % de la variance des concentrations des oligo-éléments, des lipides totaux et des acides gras et qu'elle est caractérisée par une corrélation positive très étroite avec les teneurs en AGPI et en Fe dans la chair du rouget de vase d'une part et d'une corrélation négative avec les degrés en AGS d'autre part. La deuxième composante principale contribue par 30,17 % de la variance totale et elle est caractérisée par une corrélation négative très importante avec les teneurs en AGMI et en Ca.

D'après la figure 9, la 1ère composante principale présente une corrélation positive avec le printemps par contre la 2ème composante montre une corrélation négative avec l'été. Ceci corrobore au fait que les degrés des AGMI et du Ca présentent un pic en été et que le printemps est la saison durant laquelle les AGPI et le Fe s'accumulent davantage au niveau de la chair du rouget de vase en provenance du golfe de Tunis.

Les figures 8 et 9, illustrent de même que les AGS présentent leurs concentrations les plus élevées pendant l'hiver et l'automne.

DISCUSSION

D'après les résultats obtenus, nous avons observé une variation saisonnière pour les concentrations de tous les éléments étudiés (Mg, Ca, Na, K, Fe et Mn) dans les gonades du rouget de vase. En effet, ce poisson présente un rapport gonado-somatique (RGS) chez les mâles et les femelles qui est plus élevé du mois de mars à juillet et atteint son maximum en avril. En automne et en hiver le rouget de vase est au repos sexuel ; le rapport gonado-somatique est minimal (Gharbi, 1980) et donc la concentration des éléments minéraux est faible. Le suivi de la variation saisonnière des concentrations des différents éléments dans les autres organes du rouget de vase a montré que les teneurs les plus élevées dans le cerveau ont été enregistrées pour le K en automne et au printemps pour le Ca. Alors que dans le foie les concentrations maximales du Fe ont été observées en hiver, dans le muscle le Fe présente les teneurs les plus élevées en été et au printemps. Plusieurs facteurs comme l'activité biologique propre à chaque espèce et le métabolisme, qui contribuent activement au changement des taux d'incorporation des métaux toxiques (comme le Cadmium, le Plomb et le Mercure) et des éléments essentiels (comme le Fer, le Calcium, le Manganèse…) dans les différents tissus de l'organisme, pourraient expliquer ces différences.

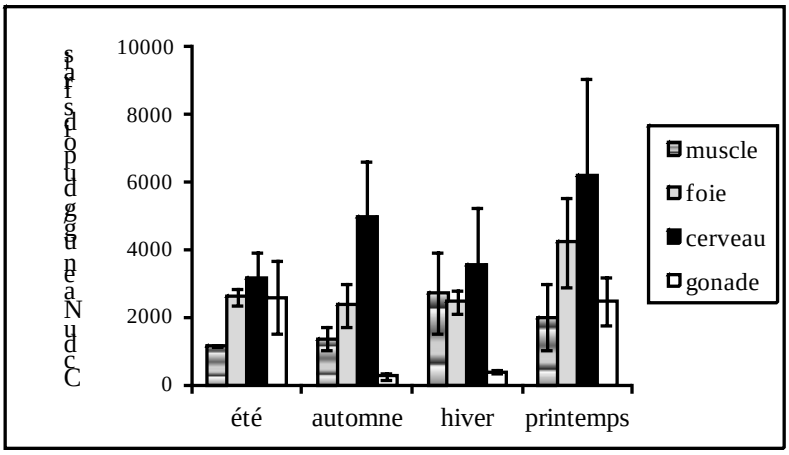


Figure 2. Teneurs en Na du rouget de vase en fonction des saisons (n = 30). Barres verticales: écart type.

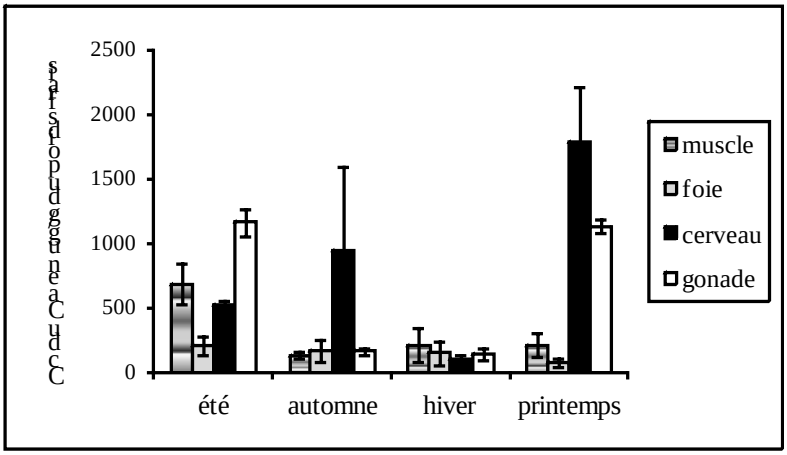


Figure 3. Teneurs en Ca du rouget de vase en fonction des saisons (n = 30). Barres verticales: écart type.

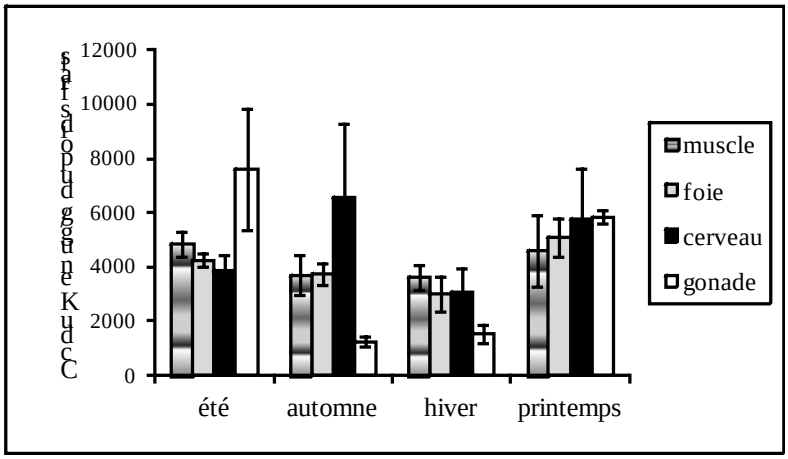


Figure 4. Teneurs en K du rouget de vase en fonction des saisons (n = 30). Barres verticales: écart type.

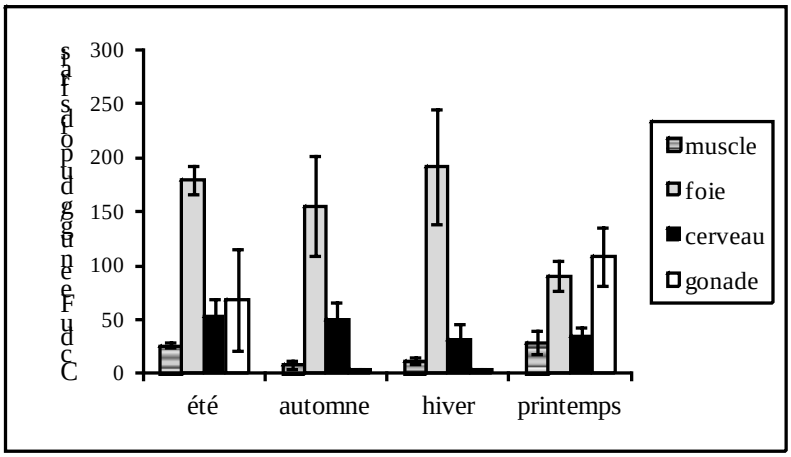


Figure 5. Teneurs en Fe du rouget de vase en fonction des saisons (n = 30). Barres verticales: écart type.

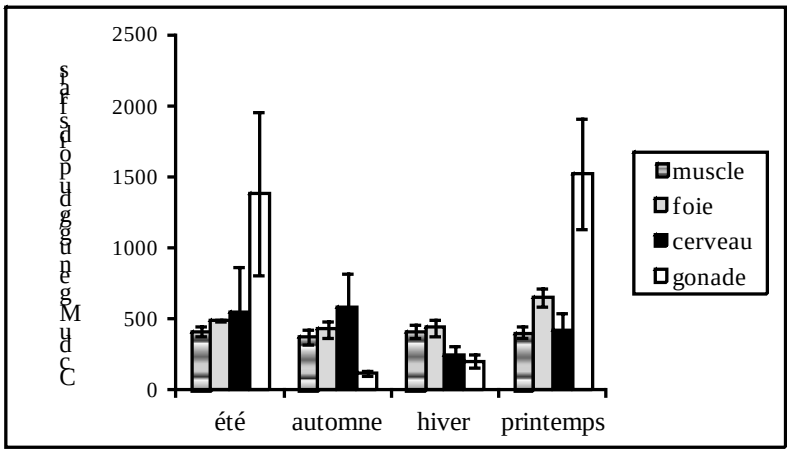


Figure 6. Teneurs en Mg du rouget de vase en fonction des saisons (n = 30). Barres verticales: écart type.

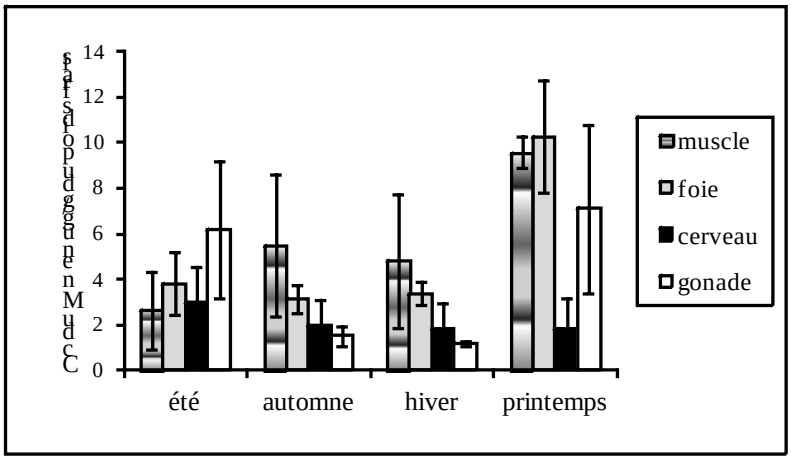


Figure 7. Teneurs en Mn du rouget de vase en fonction des saisons (n = 30). Barres verticales: écart type.

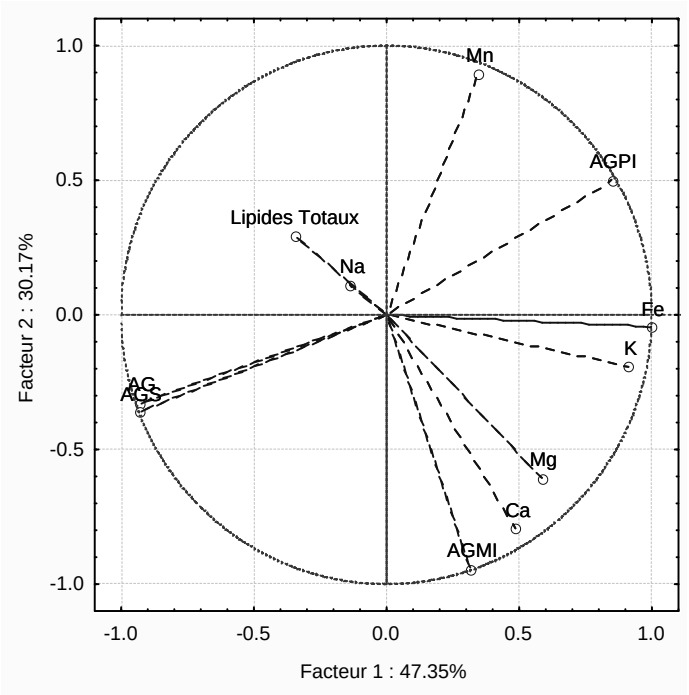


Figure 8. Contribution des variables dans la composante principale appliquée aux éléments dosés dans la chair du rouget de vase du golfe de Tunis

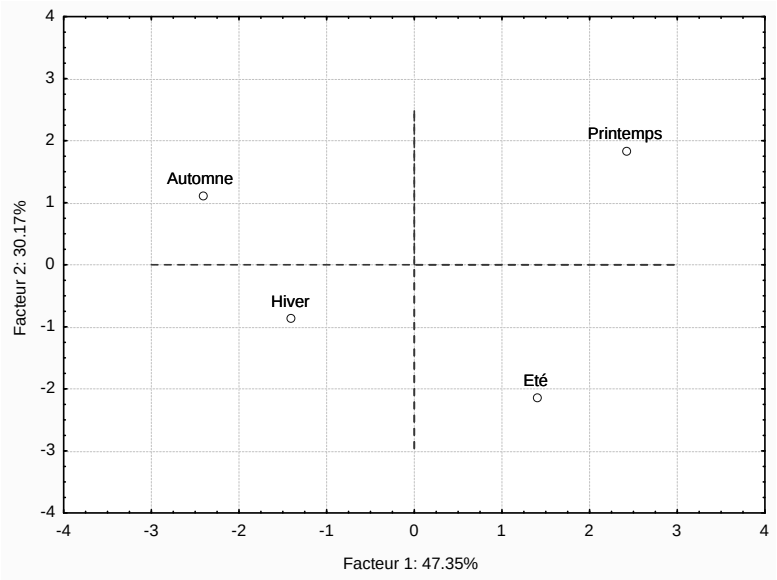


Figure 9. Contribution des saisons dans la composante principale appliquée aux teneurs des éléments dosés dans la chair du rouget de vase du golfe de Tunis.

Tableau II : Variation saisonnière des lipides totaux de la chair du rouget de vase *Mullus* barbatus du golfe de Tunis (g/100g poids frais).

	Hiver	**Printemps**	**Eté**	**Automne**	AV
Chair %	1,87±0,46	2,26±0,44	2,48±0,12	3,12±0,32	**

Moyenne (n = 30) ; AV: Analyse de la variance; ** Significatif à 0,01.

Tableau III : Profil des Acides Gras (exprimé en g AG 100 g $^{-1}$ de chair) des lipides totaux de la chair du rouget vase *Mullus barbatus* du golfe de Tunis.

AG	Hiver	Printemps	Eté	Automne	AV
C12 :0	0,16±0,01	0,17±0, 12	0,24±0,05	0,15±0,12	**
C14:0	8,52±0,05	6,27±0,02	7,32±0,04	4,39±0,09	**
C15 :0	0,6±0,01	1,02±0,01	1,21±0,01	0,61±0,03	**
C 16:0	25,07 ±0,01	16,27±0,10	21,41±0,08	33,23±0,59	***
C 18:0	5,34 ±0,04	3,44±0,01	5,61±0,09	4,0±0,01	**
AGS	42,69±0,14	27,17±0,08	35,79±0,14	42,38±0,44	***
C14 :1	0,16±0,01	0,23±0,05	0,56±0,01	0,16±0,03	**
C 16:1 n-7	4,25±0,09	5,15±0,03	4,95±0,01	1,17±0,01	**
C 17:1	0,26±0,02	0,55±0,14	0,91±0,03	0,69±0,12	**
C 18:1 n-9	8,16±0,59	5,97±0,27	6,97±0,01	9,5±0,27	*
C 18:1 n-7	1,06±0,44	1,22±0,03	1,18±0,01	1,27±0,05	NS
AGMI	13,89±0,09	13,12±0,11	14,57±0,28	12,79±0,27	*
C 18:2 n-6	1,31 ±0,03	1,57±0,05	2,15±0,08	2,62±0,02	*
C 18:3 n-3	1,01±0,04	1,70±0,14	1,64±0,03	1,67±0,01	*
C 18:4 n-3	0,26±0,01	0,38±0,11	0,61±0,05	0,49±0,01	**
C 20:4 n-6	0,62±0,08	0,84±0,02	1,03±0,03	0,42±0,03	**
C 20:5 n-3	10,82±0,01	12,12±0,01	4,32±0,01	2,24±0,01	***
C 22:5 n-3	0,31 ±0,02	0,43±0,01	0,23±0,01	0,09±0,01	*
C 22:6 n-3	13,42 ±0,01	27,67±0,03	25,30±0,03	24,17±0,68	***
AGPI	27,75 ±0,07	44,71±0,28	35,28±0,44	31, 7±0,09	***
AGI/AGT	5	2	4	6	
EPA/DHA	0,81	0,44	0,17	0,10	

Moyenne (n = 30). AV: Analyse des Variances, NS: non significatif; * Significatif à 0,05; ** Significatif à 0,01; *** Significatif à 0,001 ; AGS : Acide Gras Saturé, AGMI : Acide Gras Mono-insaturé AGPI : Acide Gras Polyinsaturé.

D'après les résultats relatifs à l'organotropisme, nous avons observé une accumulation du Mg et du K dans les gonades du rouget de vase ceci pourrait être due au fait que ces éléments métaboliques peuvent agir en tant que réserve. Et ceci dans le but de satisfaire les besoins des embryons au cours de leur développement. Les variations du régime alimentaire peuvent également être responsables de cette fluctuation (Hamza chaffai et *al*., 1995)

Nous avons de même trouvé que le cerveau est le site préférentiel d'accumulation du Na et de Ca. Ceci pourrait être attribué au fait que le Na a un rôle fonctionnel pour le transport du glucose dans le cerveau des poissons (Rosenkrantz et *al*., 1996 et Hylland et *al*., 1997). Le foie qui assure une fonction hématopoietique est riche en sang (Blasco et *al*., 1998) est l'organe accumulateur du Fe dans cette étude.

Les résultats relatifs aux pourcentages des lipides au niveau de la chair du rouget de vase montrent que les lipides totaux (exprimés en g/100 g de matière fraîche (MF)) subissent une variation saisonnière (Tab. II). Le taux maximum des lipides (3,12 g/100 g MF) a été enregistré en automne, et le minimum a été observé pendant la saison hivernale (1,87 g/100 g MF). Les valeurs obtenues sont légèrement inférieures à celle de Passi et *al*., (2002), qui a déterminé le taux de lipides dans différentes espèces pêchées sur la côte nord de la Méditerranée. De nombreux facteurs sont susceptibles de modifier qualitativement et quantitativement les lipides de la chair des poissons. La variation des lipides totaux est due essentiellement à l'alimentation, la température et la salinité du milieu et à la période de maturation (Zaboukas et *al*., 2006). Dans le golfe de Tunis, les variations saisonnières des facteurs environnementaux sont faibles (Ben Ismail et *al*., 2010), ce qui favorise l'idée que la variation saisonnière des lipides totaux est essentiellement due au cycle biologique. En effet, pendant la période automnale, on assiste chez M. barbatus du golfe de Tunis à une accumulation des réserves lipidiques qui vont être à leur tour utilisées plus tard pendant la période de maturation des gonades (du mois de décembre jusqu'au mois de mars) (Gharbi, 1980), car les réserves lipidiques sont directement utilisées comme source d'énergie pour préparer la ponte, qui aura lieu à partir du mois d'avril.

Une vingtaine d'acides gras ont été identifiés dans les lipides totaux du rouget de vase (Tab. II). Les compositions en acides gras de ces extraits lipidiques sont en accord avec les compositions présentées dans d'autres études sur d'autre espèces de poissons et de crustacés (Bandarra et *al*., 1997 ; Passi et *al*., 2002 ; Osman et *al*., 2001 ; Mili et *al*., 2012 ; Mili et *al*., 2013).

L'étude détaillée des acides gras montre que, parmi les AGS, l'acide palmitique C16:0 est le plus fréquent. Il est caractéristique des huiles extraites des produits de la mer et présente toujours des taux constants tout le long de l'année (Beltran et Moral, 1990). Parmi les AGMI, l'acide oléique C18:1 présente des concentrations très élevées. Selon les analyses effectuées par Chromatographie en Phase Gazeuse, les AGPI se composent essentiellement de l'acide docosahexaénoïque (C22:6n-3), de l'acide eicosapentaénoïque (C20:5n-3) et de l'acide linoléique (C18:2) (Tab. II). L'acide linolénique (C18:3) est le précurseur des AGPI, sa teneur dépend essentiellement de la salinité du milieu et montre des valeurs légèrement basse pendant la saison hivernale où la salinité de l'eau est de l'ordre de 36,2‰ (Ben Ismail et *al*., 2010). En effet, la salinité de l'eau agit sur le métabolisme lipidique des poissons et des crustacés (Bell et al., 1994) et l'abaissement de la salinité du milieu provoque un changement du métabolisme lipidique des espèces(Mili et *al*., 2013) .

Cette étude montre que les AGS et les AGMI subissent aussi une variation saisonnière. Les teneurs maximales pour ces familles d'acides gras sont enregistrées essentiellement en hiver (42,69 %) et en automne (42,38 %) pour les AGS et en été (14,57 %) pour les AGMI. Les AGPI représentent la fraction majoritaire (44,71 %) essentiellement pendant la saison printanière. L'augmentation des AGPI est toujours accompagnée d'une diminution des AGS.

Les pourcentages élevés d'EPA et de DHA ont été observés essentiellement au printemps, à l'exception du DHA, qui présente des valeurs élevées au mois de septembre. Les teneurs d'EPA et de DHA sont dues essentiellement à leur abondance dans la chaîne alimentaire marine (Ando et Chouba, 2003). Toutefois, le rapport EPA/DHA est considéré parmi les meilleurs critères d'évaluation de la qualité des AG (Saglik & Imre, 2001).

CONCLUSION

Les taux des lipides ont montré des fluctuations saisonnières prononcées, avec des taux élevés d'AGPI au printemps, en AGMI en été, en hiver et en automne pour les AGS.

Les résultats de cette étude ont montré que l'augmentation des taux des acides gras polyinsaturés AGPI est accompagnée d'une baisse du taux des acides gras saturés AGS. Les acides gras majoritaires sont l'acide docosahexaénoïque (C22:6n-3) (DHA) et l'acide eicosapentaénoïque (C20:5n-3)(EPA).

Dans le but de recommander la consommation de la chair du rouget de vase au moment où le profil en acides gras ainsi que les concentrations des oligo-éléments étudiés sont les plus favorables pour la santé humaine, nos résultats ont permis de mettre en évidence une meilleure richesse en AGPI n-3 au printemps, en Ca en été, en Fe en été et au printemps. Pour le K, Na et Mg nous n'avons pas mis en

évidence une saison plus favorable pour leur accumulation au niveau de la chair.

BIBLIOGRAPHIE

Ando, H. & Okamoto, H. (2003). Practical procedures for ectopic induction of gene expression in zebrafish embryos using Bhc-diazo-caged mRNA. *Meth. Cell Sci*., 25, 25-31.

Bandarra, N.M., Batista, I., Nunes, M.L., Empis, J.M. & Christie, W.W. (1997). Seasonal change in lipid composition of sardine (*Sardina pilchardus*). J. *Food. Sci*., 62, 40-42.

Bell, J.G., Tocher, D.R., Macdonald, F.M. & Sargent, J.R. (1994). Effects of diets rich in linoleic and alphalinolenic acids on growth, lipid class and fatty acid compositions and eicosanoid production in juvenile turbot (*Scophtalmus maximus* L.). *Fish Physiol. Biochem*., 13, 105-118.

Beltran, A. & Moral, A. (1990). Estabilidad de los lípidos de la sardina de diferente conteni do graso, durant esu conservación a -18 °C. *Anal. Bromatol*., 42, 167-175.

Ben Ismail, S., Sammari, C., Béranger, K. & Lellouche, J.M. (2010). Atlas des données hydrologiques des côtes tunisiennes. Document technique de l'Institut National des Sciences et Technologies et de la Mer (INSTM).1-169.

Blasco, J., Rubio, J.A, Forja, J., Go´mez-parra, A. & Establier, R., (1998). Heavy metals in some fishes of the mugilidae family from salt-ponds of Cadiz bay, SW Spain. *Ecotoxicol Environ Rest;* 1(2):71– 7.

Bligh, E.G. & Dyer, W.J. 1959. -A rapid method of total lipid extraction and purification. Can.J.Biochem.Phys.37, 911-917.

Charef A., Zamouri Langar N. and Houas Gharsallah I. (2012). Stock size assessment and spatial distribution of bivalve species in the Gulf of Tunis. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92, I, 179-186.

Falch, E., Rustad, T., Jonsdottir, R., Shaw, N.B., Dumay, J., Berge, J.P., Arason, S., Kerry, J.P, Sandbackk, M., Aursand, M., (2006). Geographical and seasonal differences in lipids composition and species. *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 727-736.

Gharbi, H., (1980). Contribution à l'étude biologique et dynamique des Rougets (*Mullus barbatus* Linnaeus¸ 1758 et *Mullus Surmuletus* Linnaeus¸ 1758) des côtes tunisiennes. Thèse de doctorat de biologie marine des Sciences de Tunis. 100 p.

Gharbi, H., Abdelkader, B. & Zarrah¸ Y., (1986). Résultats des campagnes de prospection par chalutage dans la région nord de la Tunisie (Janvier-Juin 1984). *Bull. Inst. Natn. Scient. Tech. Océanogr. Pêche¸ Salammbô¸* 13, 123-139.

Hamza-chaffai, A., Cosson, R.P., Amiard-Triquet, C. & Abed, A., (1995). Physico-chemical forms of storage of metals (Cd, Cu and Zn) and metallothionein-like proteins in gills and liver of marine fish from Tunisian coast: ecotoxicological consequences. *Comp. Biochem. Physiol*. 111C (2), 329-341.

Hylland, P., Milton, S., Peck, M., Nilsson, G-E. & Lutz, P.I., (1997). Brain Na+/K+-ATP activity in two anoxia tolerant vertebrats *Crucian carp* and freshwater turtle. *Neurosci. Lett*, 235, 89-92.

Metcalfe, L.D., Schmitz, A, A & Pelka, J.R. 1966. -Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. Analytical Chemistry. Washington, V. 38, n. 3, p.514-515.

Mili, S., Bouriga, N., Ennouri, R., Jarboui, O. & Missaoui, H. (2012). Suivi du profil lipidique et variation saisonnière des acides gras de la squille *Squilla mantis* (Crustacea: Stomatopoda) du golfe de Tunis (Tunisie). *Bull. Soc. zool. Fr*., 137(1-4), 113-120.

Mili, S., Bouriga, N., Ennouri, R., Jarboui, O. & Missaoui, H. (2013). Food and biochemical composition of the spot-tail mantis shrimp *Squilla mantis* caught in three Tunisian Gulfs: Tunis, Hammamet and Gabes. *Cah. Biol. Mar*., 54, 271-280.

Osman, N.H., Suriah, A.R. & Law, E.C. (2001). Fatty acid composition and cholesterol content of selected marine fish in Malaysian waters. *Food Chem*., 73, 55-60.

Passi, S., Cataudella, S., Di marco, P., De simone, F. & Rastrelli, L. (2002). Fatty acid composition and antioxidant levels in muscle tissue of different Mediterranean marine species of fish and shellfish. J. Agric. *Food Chem*., 50, 7314-7322.

Rosenkrantz, T-S., Kurbin, J., Mishna, O-P., Smith, D., Delivoria Papadopulos, M. (1996). Brain cell membrane Na+, K+-ATPase activity following severe hypoxic injury in the newbon piglet. *Brain Ress* 730, 52-57.

Saglik, S. &Imre, S. (2001). N-3-Fatty Acids in Some Fish Species from Turkey. *J. Food Sci*., 66,210-212.

Zaboukas, N., Miliou, H., Megalofonou, P., & Moraitou-Apostolopoulou, M. (2006). Biochemical composition of the Atlantic bonito *Sarda sarda* from the Aegean Sea (eastern Mediterranean Sea) in different stages of sexual maturity. *J. Fish. Biol*., 69, 347-362.

Zarrad, R., 2007. Distributions spatio-temporelles des œufs et des larves de l'anchois Engraulis eucrasicolus, de la Sardinelle *Sardinella aurita* et de la sardine *Sardina pilchardus* dans le golfe de Tunis et relations avec les paramètres environnementaux. Thèse de doctorat de l'Institut National Agronomique de Tunisie. 253p.

OPTIMIZING R-PHYCOERYTHRIN PURIFICATION FROM THE RED ALGAE *GRACILARIA VERRUCOSA* IN POLYMER-SALT AQUEOUS TWO-PHASE SYSTEM USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Fethi MENSI[1*], J. KSOURI[1], E. SEALE[2], et M.S. ROMDHANE[3]

[1] *Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, Laboratoire de biodiversité et biotechnologies marine, 29 Rue Géneral Kheireddine 2015 Le Kram, Tunisie.*

[2] *Daithi O'Murchu Marine Research Station, Gearhies, Bantry, Co. Cork, Ireland*

[3] *Institut National Agronomique de Tunisie, Unité de recherche Ecosystèmes et Ressources Aquatiques, 43 av. Charles Nicolle 1082 Tunis. Tunisie*

*****Corresponding author. Tel.: +216 71 276 121; Fax: +216 71 276 121;email : mensi.fethi@instm.rnrt.tn*

ملخّص

الاستغلال الأمثل للتنقية صبغ R-phycoérythrine المستخرج من الطحلب الأحمر *Gracilaria verrucosa* وذلك بإستعمال نظام المحاليل المائيّة الثنائيّة و منهجية الإستجابة السطحية : إن صبغ R-phycoérythrine هو بروتين يعمل بمثابة إكسسوار ضوئي عندالطحالب الحمراء (Rhodophyceae) والبكتيريا الزرقاء، لديه العديد من التطبيقات التكنولوجية الحيوية .في هذه الدراسة، تم إستخراج هذا الصبغ من طحلب *Gracilaria verrucosa* بتقنية تقوم على التحلّل بلأنزيمات والطرد المركزي. تم إستعمل نظام المحاليل المائيّة الثنائيّة لفصله بلستخدام البولي أثلين جلايكول (PEG) وسلفاط المغنيسيوم (MgSO4).ستة عوامل تؤثرفي نظام المحلول المائي تمت دراستها وهي وزن PEG الجزيئي وتركيزه وتركيزMgSO4 وكمية محلول الصبغ وتركيز كلوريد الصوديوم ودرجة الحرارة .وتم إجراء درلسة مفصلة بلستخدام ولستعمل مظومة Les plans d'expériences. كما تم إستعمل نسبة الامتصاص A565 /A280 معيارا للقاء. بالنّسبة لعمليّة الفصل فإنّ نظام المحلول المائي الأمثل فهو يتكوّن من البولي أثلين جلايكول له وزن جزئي يساوي 6000 ونسبة تركيز بالنّظام تساوي 19% كما يحتوي النظام على سلفاط البوتسيوم وذلك بنسبة تركيز تساوي 16% . وكمية من المحلول الخام للطحلب تساوي 4, 4غ/غ ونسبة تركيز كلورور الصوديوم 0,3 ودرجة حرارة بعمل فيها هذا النظام تساوي 25 درجة مائوية وقد مكنتنا هذه الطريقة من تحسين نقاوة الصبغ لتصل إلى ثلاثة مرات مقارنة مع المادة الخام المستخرجة من الطحلب بطريقة التحلل الأنزيمي. يعتبر هذا العمل هو الأوّل من نوعه لإستعماله نظام المحاليل المائيّة الثنائيّة لتنقية الصبغ. كما تبيّن من خلال هذا العمل أنّ النمذجة الرياضية لعملية التنقية جيّدة جدّا(R^2=0,82)

الكلمات المفاتيح : طحلب الغراسلاريا - صبغ R– Phycoérythrine – نظام المحاليل المائيّة الثنائيّة – تنقية

RÉSUMÉ

Optimisation de la purification de la R-phycoérythrine de l'algue rouge *Gracilaria verrucosa* à l'aide d'un Système Aqueux Biphasique en utilisant la méthodologie des surfaces de réponse : La R-phycoérythrine (RPE) est une protéine qui agit en tant que accessoire photosynthétique chez les algues rouges (Rhodophyceae) et les cyanobactéries. Ce pigment possède plusieurs applications biotechnologiques. Dans cette étude, la phycoérythrine est extraite par hydrolyse enzymatique suivi par centrifugation à partir de l'algue *Gracilaria verrucosa*. La RPE est purifié à partir l'extrait brut par un système aqueux biphasique. Le système a été optimisé en utilisant du polyethylène glycole (PEG) et du sulfate de magnésium (MgSO4). Six facteurs qui affectent la pureté de la RPE ont été étudiés; à savoir le poids moléculaire de PEG, la concentration de PEG, la concentration du MgSO4, la quantité d'extrait de RPE, la concentration de NaCl et de la température. Une étude détaillée a été réalisée en utilisant un plan central composite (PCC) et la méthodologie des surfaces de réponse (MSR). Le rapport d'absorbance A565 / A280, le critère de pureté considéré, est égale à 3,5. Les conditions optimales sont les suivantes : 19% (w / w) de PEG6000, 16% (w / w) phosphate, 4,8% (w/ w), la quantité d'extrait de RPE, 0,3% (w/ w) de NaCl et une température optimale de 22 ° C. L'analyse de variance présentait un fort coefficient de détermination (R^2) du modèle de régression qui est de 0,80. Ceci est le premier rapport sur la purification de la RPE par un système aqueux biphasique moyennant l'utilisation de la méthodologie des plans d'expériences et celle des surfaces de réponse.

Mots clés : *Gracilaria verrucosa*; systeme aqueux biphasique; R-phycoérythrine; purification; Surface de réponse.

Abstract

R-Phycoerythrin (RPE) is a protein which acts as a photosynthetic accessory pigment in red algae (Rhodophyta) and cyanobacteria, it has many biotechnological applications. In this study, phycoerythrin,

from *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta) was extracted by enzymatic hydrolysis and centrifugation. Phycoerythrin was purified from this crude extract via an aqueous two-phase system (ATPS). Here the ATPS process was optimized using polyethylene glycol (PEG)/Magnesium sulfate ($MgSO_4$). Six factors that affect RPE purity were studied; namely PEG's molecular weight, PEG's concentration, $MgSO_4$ concentration, R-phycoerythrin loading, NaCl concentration and temperature. A detailed study was carried out using central composite design (CCD) in response surface methodology (RSM). The absorbance ratio A_{565}/A_{280}, a criterion for purity, was 3.5, and was predicted for a system with 19% (w/w) PEG6000, 16%(w/w) phosphate, 4.8% (w/w) RPE loading, 0.3% (w/w) NaCl loading and an optimal temperature of 22°C. Analysis of variance exhibited a high coefficient of determination (R^2) value of 0.80 and ensured that the quadratic model in tandem with the experimental data was a satisfactory one. This is the first report on RPE purification by aqueous two phase system using statistical experimental design and RSM.
Keys worlds: *Gracilaria verrucosa*; Aqueous two-phase system; R-phycoerythrin; purification; Response

INTRODUCTION

Gracilaria is a genus of red algae that includes 150 species reported from different parts of the world, and represents a rich source of agar and protein. Dried *Gracilaria* contains up to 30% protein (Mabeau et Fleurence, 1993) and 48 % agar (Orduña-Rojas et al., 2008; Skriptsova et Nabivailo ,2009) by weight. *Gracilaria* is one of the world's most cultivated and valuable seaweeds (Buschmann et al., 2008; Oliveira et al., 2008; Yarish et Pereira, 2008). The gross production biomass of *G. verrucosa* in China, is estimated to be about 948 282 metric tons, and represents 93.7 % of the world's total production. Taiwan, South Africa, Namibia, the Philippines, and Vietnam are also involved in its production (FAO, 2004).

Phycobiliproteins are produced in the main from cyanobacterium and red algae (Bermejo et al., 2002). Constituents of phycobiliproteins are B-phycoerythrin (B-PE) from unicellular red alga, allophycocyanin, (AP) sourced mainly from cyanobacteria and R-phycoerythrin (R-PE) sourced from red macroalgae. *Gracilaria* have the ability to accumulate high levels of R-phycoerythrin (Wang, 2002). R-phycoerythrins are fluorescent, and have high quantum efficiency; a large stokes shift and excitation and emission bands at visible wavelengths. Their special absorption spectrum has three-peak spectrum with absorption maxima at 565, 539 and 498 nm, respectively. In immunodiagnostics 488 nm is often used as an excitation wavelength, where R-phycoerythrin is better than B-phycoerythrin because the 498 nm maximum is more available (Telford et al., 2001). Stable proteins, phycoerythrins, can be easily linked to antibodies and other proteins by conventional protein cross linking techniques, without altering their spectral characteristics. R-phycoerythrin has immense application potential particularly as fluorescent tags, food additives, cosmetics additives, amongst others (Sekar et Chandramohan, 2008).

Essentially, phycobiliproteins are required to have an adequate purity, and they, therefore, need to be prepared from cultivated algae or from natural macroalgal stocks. The criteria which are commonly used to assess purity in prepared phycobiliproteins are; a visible absorption spectrum and the ratio of the visible maximum absorbance to the absorbance at 280 nm. Polyacrylamide gel electrophoresis (PAGE) and SDS–PAGE are also employed to complement or enhance the purity evaluation. The purification of R-phycoerythrin from red algae is very difficult because the crude extract is always very sticky as polysaccharides are released from the algal cells during homogenizing. Difficulties associated with the purification of phycobiliproteins are often because the chromatographic column is blocked (Wang, 2002). Several methods have been developed for the separation and purification of R-phycoerythrin (Galland-Irmoulia et al., 2000 ; Rossano et al., 2003 ; Liu et al., 2005 ; Niu et al., 2005 ; Sun et al., 2009), but they are either more tedious or time consuming. The major drawback for almost all these methods is the large number of steps involved. The higher the number of steps, the higher the loss in product yield (Kula et al., 1982). Furthermore, scaling up these methods is very expensive and difficult. The aqueous two

phase system (ATPS) is one potential purification technique for downstream processing. The efficiency of ATPS was first realized for the isolation of cells, cell particles, and proteins. Currently, ATPS is used for the separation of various biomaterials and living organisms such as; plant and animal cells, microorganisms, fungi, fungal spores, viruses, chloroplasts, mitochondria, membrane vesicles, proteins, and nucleic acids (Hatti-Kaul, 2008). ATPS has also been recommended as a useful method for the primary preparation of phycobiliproteins from microalga (Benavides, 2004). It is a better alternative to existing methods, particularly, for the early processing stages, as it is suited to the scale of operation, the low processing time, and the enrichment of the product; it is a continuous operation for the separation and purification of desired enzymes/proteins from a complex mixture (Albertsson, 1986 ; Raghavarao et al., 1995 ; Rito-Palomares et al., 2001).

The aim of this work is to investigate the feasibility of using ATPS to recover R-phycoerythrin from a *G. verrucosa*, by optimizing separation and identifying the key variables that rule partitioning. A 2^k full factorial design and response surface methodology will be used to identify the significant factors and develop a model. The model will predict the response of the ATPS and obtain the optimal conditions for R-phycoerythrin partitioning.

EXPERIMENTAL

CHEMICALS

Polyethylene glycols (PEG) with molecular weights of 2000, 4000, 6000, 8000, 10000, NaCl and Mg_2SO_4 were obtained from Sigma–Aldrich (France). All polymers were used without further purification. Potassium phosphate dibasic anhydrous (K_2HPO_4), Bovine serum albumin (BSA), sodium phosphate monobasic anhydrous (NaH_2PO_4), and sodium chloride (NaCl) were purchased from Sigma (St. Louis, MO, USA). All other chemicals were of analytical grade.

R-PHYCOERYTHRIN EXTRACTION

Two commercial polysacharidases, xylanase (E.C. 3.2.1.32) and cellulases (E.C. 3.2.1.4) were provided by Fulka and used without further purification. The xylanase was from sourced from *Trichoderma viride* and the cellulases were from *Aspergillus niger*. The xylanase was assayed as follows: remazol brilliant blue R-xylan, Fulka N° 66960, as substrate, 3.51UImg^{-1} at PH 6.0 and 40°C. Cellulase was assayed as follows: 1.44UImg^{-1} at PH 5.0 and 37°C with carboxymethylcellulose as substrate. All tests were run twice. Enzymatic hydrolysis of *G. verrucosa* was carried out in 0.5 l Erlenmeyer flasks equipped with a magnetic stirrer as a reactor. The volume of the reaction solution was 0.3 l. Substrate suspended in buffer solution was stirred to form a well dispersed slurry before starting the hydrolysis, by adding a given amount of concentrated cellulase and xylanase solution. Temperature was kept stable in a thermostated water bath. Two phases were obtained by centrifugation at 6000g for 20 min at 20°C. The supernatant was removed and stored at 4°C and the pellet was frozen at – 20°C.

The spectral analysis of the supernatants was performed with a spectrophotometer at wavelengths between 400 and 600. The amount of phycoerythrin in the supernatant was estimated using Beer Lmbert's law (Denis et al., 2009), where the phycoerythrin extinction coefficient was $2.10^6 M^{-1}$ cm^{-1}at 565 nm and the phycoerythrin molecular weight was 24.000 Da. Total sugars, from the hydrolyzed polysaccharides, were determined using the phenol-sulphuric acid reagent described by (Dubois et al., 1956) D-glucose was the calibration standard.

PREPARATION OF AQUEOUS TWO-PHASE SYSTEM PARTITIONNING

PEG–phosphate two-phase systems were prepared by adding defined amounts of PEG solution 40% (w/w), magnesium sulfate solution 30 % (w/w), NaCl solution 100 %, followed by the R-phycoerythrin solution in 15 ml graduated tubes. The final weight of the system was adjusted to 10 g by the addition of buffer solution at the desired PH. The pH of the phosphate solution was adjusted by mixing appropriate amounts of di-potassium hydrogen phosphate and sodium di-hydrogen phosphate solutions. Fresh R-phycoerythrin solution was prepared before all sets of experiments. The two-phase systems were mixed by vortexing for 1 min, and then allowed to stand for 1 h at room temperature (22 °C), and sebsequently centrifuged for 10 minutes at 1800

rpm, in a bench centrifuge, to facilitate phase separation. The volumes of the phases were determined, and the samples from the two phases were isolated and examined.

EXPERIMENTAL DESIGN

A two-level, six-factor, fractional factorial design was applied to determine the optimal ATPS for R-phycoerythrin purification, according to Myers and Montgomery, (2002) with the assistance of commercial software, STATISTICA 8.0. A central composite design (CCD) was used to evaluate the effect of PEG molecular weight (X1), PEG concentration (%, w/w) (X2), MgSO4 concentration MgSO4 (% w/w) (X3), R-phycoerythrin load (% w/w) (X4), NaCl concentration (% w/w) (X5) and incubation temperature (°C) (X6) on RPE yield in the top phase. The effects of these factors on responses A statistical model for optimising yield of R-phycoerythrin, as described earlier by (Rahimpour et al., 2006), employing the significant variables was determined by response surface regression procedures. The data obtained for each parameter, with the above experimental design, were fitted to full second-order models. Analysis of variance (ANOVA) for the models was performed and the model significance was examined by Fisher's statistical test (F-test). Specifically we tested for significant differences between sources of variation in the experimental results, the significance of the regression, the lack of fit, and the coefficient of multiple determination (R^2). The full second-order models (models containing all two parameter interactions) were not accepted using the latter tests. They were improved by eliminating the model terms until the determined conditions were fulfilled (Myers and Montgomery, 2002 ; Rahimpour et al., 2006 ; Davis, 1993). Where the F-significance was lower than 95%; the reduced model was accepted. Otherwise, the discarded parameters with the highest significance were added until the condition was fulfilled. Where one of these conditions was not satisfied, the model was accepted when $R^2 > 0.95$ which meant that more than 95% of the data is explained by the model. After substitution of normalized factors with real values, the following equation was obtained:

were investigated at five levels (-2,-1, 0, 1, 2) based on primary investigations using single model systems.

This design was composed of 2^{6-1} fractional factorial design (run1-32), 14 star points (run 33-44) and 2replicates (run 45 – 46). Thus 46 experiments were needed in total. Each of the six variables studied, were selected according to the results obtained with preliminary tests, taking into consideration the required experimental conditions and relevant literature. Table I presents the coded and actual values. The coded level of each factor was calculated according to (Myers and Montgomery, 2002) the equation that follows:
Coded value = actual value − [(high level + lowlevel)/2]/ (high level − lowlevel)/2 (1)

MODEL BUILDING FOR OPTIMIZING THE PARTITIONNING CONDITIONS

$$\mathbf{Y = \beta_0 + \Sigma\beta_i x_i + \Sigma\beta_{ii} x_i^2 + \Sigma\Sigma\beta_{ij} x_i x_j;\ i = 1; 2; \ldots ; k;\ j = 1; 2; \ldots ; k;\ i \neq j} \quad \mathbf{(2)}$$

Where Y is the R-phycoerythrin purity, β_0 is the intercept, bi is the first-order model coefficients, bij is the linear mode coefficient for the interaction between variable i and j, and Xi's are variables under examination.
Response functions were analyzed by canonical analysis (Myers and Montgomery, 2002). The stationary point, if it exists, is the solution to Eq (3) and may represent a point of maximum response, a point of minimum response, or a saddle point.

$$\frac{\partial Y}{\partial x_1} = \frac{\partial Y}{\partial x_2} = \ldots = 0 \quad \mathbf{(3)}$$

The algebraic signs of the eigenvalues explain the nature of its stationary point. If the values are all negative, it is a maximum; if all positive, it is a minimum, and if the signs are mixed it is a saddle point.

ANALYTICAL PROCEDURES

R-phycoerythrin purity was determined in relation to 565–280 nm absorbance (purity of R-phycoerythrin = Abs565 nm/Abs280 nm). Concurrent with data reported from previous work (Rossano et al., 2003), the absorption spectrum of this protein exhibits a peak at 565 nm. However, a ratio greater than five corresponds to a highly purify R-phycoerythrin (defined as pure commercial R-phycoerythrin; Sigma).

For all of the systems studied the partition experiments of R-phycoerythrin in ATPS revealed that this protein exhibited a strong top-phase preference (data not shown), which implies that the majority of the target protein was concentrated in the top phase. The top-phase preference of the that was concentrated in this phase. As a consequence, it was very difficult to evaluate the impact of the system parameters upon the partition behaviour of R- phycoerythrin, by monitoring the protein partition coefficient (K). R-phycoerythrin resulted in partition coefficients of greater than 100.0. This result may be explained by problems associated with the detection of the presence of R-phycoerythrin in the bottom phase, which was caused by the very low amount of the protein

Consequently, the purity of R-phycoerythrin from the top PEG-rich phase as the response variable was used to evaluate the effect of system parameters on the behavior of the protein in ATPS.

Table I. Process variables in coded and actual units

Variable	PEG (Da)	PEG (%,w/w)	MgSO4 (%,w/w)	RPE (%,w/w)	Nacl (%,w/w)	Temperature (T°C)
Levels	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
-2	**2000**	**16**	**11**	**4**	**0**	**15**
-1	**4000**	**18**	**13**	**4.5**	**0.2**	**20**
0	**6000**	**20**	**15**	**5**	**0.3**	**25**
1	**8000**	**22**	**17**	**5.5**	**0.4**	**30**
2	**10000**	**24**	**19**	**6**	**0.5**	**35**

RESULTS

The optimum conditions for R-phycoerythrin recovery were obtained from preliminary recovery tests using experimental design methodology, by determining the experimental space around the conditions. Design independent variables and their range were classified as follows: PEG molecular weight (2000 – 10000), PEG concentration (16 – 24%, w/w), salt concentration (11–19%, w/w), RPE load (4 - 6 %, w/w), NaCl (0 – 0.5 %, w/w) and temperature (15 – 35 °C). We ignored systems where phase separation was not achieved because of low concentrations of the phase-forming components. Statistical optimization through experimental design offered the opportunity to find the optimal levels of process variables under any given condition; by establishing the relationship between factors and the predicted responses. Response surface methodology, based on central composite design, was used for optimizing R-phycoerythrin recovery. 46 experimental runs with different combinations of six factors were carried out. The experimental response for each run is shown in Table II. The data was analyzed by multiple regression analysis. The regression coefficient of the proposed accuracy model and their P-values (probability of error) that were used to determine the significant parameters are given in Table III.

A second-order polynomial equation (Eq.4) was derived to represent R-phycoerythrin as a function of the independent variables tested.

$$\mathbf{Y = 1.95 -0.04x_1 +0.04x_2 + 0.01x_3 -0.17x_4 +0.04x_5 - 0.09x_6 -0.09x_1^2 +0.07x_2^2 + 0.01x_3^2 -0.25x_4^2 - 0.10x_5^2 - 0.18x_6^2 - 0.24x_1 x_2 -0.05x_1 x_3 +0.08x_1 x_4 +0.03x_1 x_5 +0.03x_2 x_3 -0.11x_2 x_4 -0.04x_2 x_5 - 0.112x_2 x_6 -0.02x_3 x_4 - 0.08x_3 x_5 +0.07x_3 x_6 +0.03x_4 x_5 +0.09x_4 x_6 +0.12x_5 x_6 \quad (3)}$$

Where Y is the response variable (RPE purity), $\mathbf{x_1}$, $\mathbf{x_2}$, $\mathbf{x_3}$, $\mathbf{x_4}$, $\mathbf{x_5}$ and $\mathbf{x_6}$ are the coded values of PEG molecular weight, PEG concentration (%, w/w), MgSO4 concentration MgSO4 (% w/w), R-phycoerythrin load (% w/w), NaCl concentration (% w/w) and incubation temperature (°C), respectively.

The coefficient of determination (R^2) and adjusted R^2 value were 0.80 and 0.60, respectively. This indicates that the model could explain 80 % of the

variability in the response. R^2 increases as the model terms (variables) are added to the model. By using the regressor variables in the model, adjusted R^2 could be used to check any decrease in the variability of responses. In general, the adjusted R^2 will not increase with addition of variables; in fact, if unnecessary terms are added the value of R^2 adj will often decrease. In this case, R^2 and R^2 adj are not similar, which indicates that not all the terms used in model are necessary for building the correct model (Myers and Montgomery, 2002).

each source of variance (e.g. regression, lack of fit, etc.) is compared relative to residual (the prediction error) variance. The probability that any error was significant was determined (P-value) by comparing the derived F-value relative

Table II. Central composite design (CCD). Factors are x_1- PEG Molecular weight (Da); x_2- PEG Concentration (%,w/w); x_3 - MgSO4 (%,w/w); x_4- RPE (%,w/w); x_5- Nacl (%,w/w); x_6- Temperature (T°C). The factors levels are 2000 and 10000 Da for x_1,16 and 24 (%,w/w) for x_2, 11 and 19 (%,w/w) for x_3, 4 and 6 (%,w/w) for x_4, 0 and 0.5 (%,w/w) for x_5 and 15 and 35 (T°C) for x_6.

	X_1		X_2		X_3		X_4		X_5		X_6		Purity (A_{564}/A_{280})
1	-1	4000	-1	18	-1	13	-1	4.5	-1	0.2	-1	20	1.36
2	-1	4000	-1	18	-1	13	-1	4.5	+1	0.4	-1	20	1.47
3	-1	4000	-1	18	-1	13	+1	5.5	-1	0.2	-1	20	0.92
4	-1	4000	-1	18	-1	13	+1	5.5	+1	0.4	1	30	1.08
5	-1	4000	-1	18	+1	17	-1	4.5	-1	0.2	1	30	1.59
6	-1	4000	-1	18	+1	17	-1	4.5	+1	0.4	1	30	1.55
7	-1	4000	-1	18	+1	17	+1	5.5	-1	0.2	-1	20	1.33
8	-1	4000	-1	18	+1	17	+1	5.5	+1	0.4	-1	20	0.64
9	-1	4000	+1	22	-1	13	-1	4.5	-1	0.2	-1	20	2.16
10	-1	4000	+1	22	-1	13	-1	4.5	+1	0.4	-1	30	1.51
11	-1	4000	+1	22	-1	13	+1	5.5	-1	0.2	-1	30	1.00
12	-1	4000	+1	22	-1	13	+1	5.5	+1	0.4	-1	30	1.47
13	-1	4000	+1	22	+1	17	-1	4.5	-1	0.2	1	20	3.00
14	-1	4000	+1	22	+1	17	-1	4.5	+1	0.4	1	20	2.26
15	-1	4000	+1	22	+1	17	+1	5.5	-1	0.2	1	20	1.49
16	-1	4000	+1	22	+1	17	+1	5.5	+1	0.4	-1	30	1.48
17	+1	8000	-1	18	-1	13	-1	4.5	-1	0.2	-1	30	1.20
18	+1	8000	-1	18	-1	13	-1	4.5	+1	0.4	-1	30	1.66
19	+1	8000	-1	18	-1	13	+1	5.5	-1	0.2	-1	20	1.50
20	+1	8000	-1	18	-1	13	+1	5.5	+1	0.4	-1	20	1.73
21	+1	8000	-1	18	+1	17	-1	4.5	-1	0.2	-1	20	1.70
22	+1	8000	-1	18	+1	17	-1	4.5	+1	0.4	1	30	1.47
23	+1	8000	-1	18	+1	17	+1	5.5	-1	0.2	1	30	1.37
24	+1	8000	-1	18	+1	17	+1	5.5	+1	0.4	1	30	2.32
25	+1	8000	+1	22	-1	13	-1	4.5	-1	0.2	-1	20	1.84
26	+1	8000	+1	22	-1	13	-1	4.5	+1	0.4	-1	20	1.55
27	+1	8000	+1	22	-1	13	+1	5.5	-1	0.2	-1	20	1.01
28	+1	8000	+1	22	-1	13	+1	5.5	+1	0.4	-1	30	0.69
29	+1	8000	+1	22	+1	17	-1	4.5	-1	0.2	-1	30	1.076
30	+1	8000	+1	22	+1	17	-1	4.5	+1	0.4	-1	30	1.33
31	+1	8000	+1	22	+1	17	+1	5.5	-1	0.2	1	20	1.44
32	+1	8000	+1	22	+1	17	+1	5.5	+1	0.4	1	20	0.70
33	-2	2000	0	20	0	15	0	5	0	0.3	0	25	1.50
34	2	10000	0	20	0	15	0	5	0	0.3	0	25	1.59
35	0	6000	-2	16	0	15	0	5	0	0.3	0	25	1.86
36	0	6000	2	24	0	15	0	5	0	0.3	0	25	2.62
37	0	6000	0	20	-2	11	0	5	0	0.3	0	25	2.69
38	0	6000	0	20	2	19	0	5	0	0.3	0	25	1.33

39	0	6000	0	20	0	15	-2	4	0	0.3	0	25	1.26
40	0	6000	0	20	0	15	2	6	0	0.3	0	25	0.61
41	0	6000	0	20	0	15	0	5	-2	0	0	25	1.20
42	0	6000	0	20	0	15	0	5	2	0.5	0	25	1.87
43	0	6000	0	20	0	15	0	5	0	0.3	-2	15	1.44
44	0	6000	0	20	0	15	0	5	0	0.3	2	35	1
45	0	6000	0	20	0	15	0	5	0	0.3	0	25	2
45	0	6000	0	20	0	15	0	5	0	0.3	0	25	2.3

Table III. Regression coefficient table for R-phycoerythrin purity in coded level of variables. Variables: x_1- PEG (Da); x_2- PEG (%,w/w); x_3- MgSO4 (%,w/w); x_4- RPE (v/v); x_5- Nacl (M); x_6- Temperature (T°C).

Source	Coefficient	t-value	P-value
Constant	**1.95**	**7.36**	**0.00**
x_1	-0.04	-0.65	0.51
x_2	0.04	0.68	0.49
x_3	0.01	0.14	0.89
x_4	**-0.17**	**-2.64**	**0.01**
x_5	0.04	0.63	0.53
x_6	-0.09	-1.32	0.20
x_1^2	-0.09	-1.23	0.23
x_2^2	0.07	0.94	0.35
x_3^2	0.01	0.21	0.83
x_4^2	**-0.25**	**-3.16**	**0.00**
x_5^2	-0.10	-1.27	0.21
x_6^2	**-0.18**	**-2.27**	**0.03**
$x_1 x_2$	**-0.24**	**-3.24**	**0.004**
$x_1 x_3$	-0.05	-0.76	0.45
$x_1 x_4$	0.08	1.14	0.26
$x_1 x_5$	0.03	0.46	0.64
$x_1 x_6$	0.00	-0.07	0.93
$x_2 x_3$	0.03	0.46	0.64
$x_2 x_4$	-0.11	-1.52	0.14
$x_2 x_5$	-0.04	-0.57	0.57
$x_2 x_6$	-0.11	-1.32	0.20
$x_3 x_4$	-0.02	-0.35	0.73
$x_3 x_5$	-0.08	-1.09	0.29
$x_3 x_6$	0.07	0.88	0.38
$x_4 x_5$	0.03	0.44	0.66
$x_4 x_6$	0.09	1.04	0.311
$x_5 x_6$	0.12	1.69	0.10

Table IV. Analysis of variance (ANOVA) of second order polynomial model for optimization of R-phycoerythrin purification by aqueous two phase systems

	SS	d.f	MS	F	p
(1)PEG (Da)(L)	0.0646	1	0.0646	5.7455	0.2516
PEG (Da)(Q)	0.2263	1	0.2263	20.1157	0.1397
(2)PEG(%,w/w)(L)	0.0705	1	0.0705	6.2701	0.2419
PEG(%,w/w)(Q)	0.1772	1	0.1772	15.7479	0.1572
(3)MgSO4(%,w/w)(L)	0.0030	1	0.0030	0.2671	0.6963
MgSO4(%,w/w)(Q)	0.0144	1	0.0144	1.2820	0.4606
(4)RPE(%,w/w)(L)	1.0468	1	1.0468	93.0519	0.0658
RPE(%,w/w)(Q)	1.6123	1	1.6123	143.3149	0.0531
(5)Nacl (%,w/w)(L)	0.0601	1	0.0601	5.3442	0.2599
Nacl (%,w/w)(Q)	0.2442	1	0.2442	21.7110	0.1346
(6)Temperature (°C)(L)	0.2590	1	0.2590	23.0233	0.1308
Temperature (°C)(Q)	0.8171	1	0.8171	72.6323	0.0744
1L by 2L	1.5716	1	1.5716	139.7017	0.0537
1L by 3L	0.0866	1	0.0866	7.6958	0.2203
1L by 4L	0.1945	1	0.1945	17.2893	0.1503
1L by 5L	0.0329	1	0.0329	2.9238	0.3369
1L by 6L	0.0010	1	0.0010	0.0889	0.8156
2L by 3L	0.0327	1	0.0327	2.9084	0.3376
2L by 4L	0.3459	1	0.3459	30.7501	0.1136
2L by 5L	0.0493	1	0.0493	4.3843	0.2836
2L by 6L	0.2584	1	0.2584	22.9710	0.1309
3L by 4L	0.0181	1	0.0181	1.6133	0.4246
3L by 5L	0.1763	1	0.1763	15.6690	0.1575
3L by 6L	0.1165	1	0.1165	10.3559	0.1918
4L by 5L	0.0292	1	0.0292	2.5980	0.3535
4L by 6L	0.1642	1	0.1642	14.5942	0.1630
5L by 6L	0.4238	1	0.4238	37.6711	0.1028
Lack of Fit	2.5323	17	0.1490	13.2408	0.2132
Erreur Pure	0.0113	1	0.0113		
Erreur résiduel	2.5360	17	0.1492		
Total SC	12.0923	45			

SS: Sum of squares; d.f : Degree of freedom; MS: Mean square; F: F value; P: probability
L: Linear effect; Q: Quadratic effect R^2=0.80

to the F-value in the standard F-table, corresponding to the degrees of freedom of the two sources of variance. The F-test revealed that the regression was statistically significant at a confidence level of 99.9%. An analysis of variance found that the F-value of the model (regression) was greater than the tabular F-value with the same number of degrees of freedom of two sources of variance, indicating that the treatment differences between treatments were highly significant. The P-value, for lack of fit, was 0.365, which also indicated that the probability of error for lack of fit was very high. The model therefore represents the

actual relationships of parameters well within the range selected.

Response surface curves were plotted to understand the interaction effects of the variables and to identify the optimal levels of each parameter to attain R-phycoerythrin purity. Canonical analysis of Eq. (3) gave general idea of the surface. The stationary point of the fitted response surface was $\mathbf{x_s}$ (0.12, -0.45, 0.52, -0.26, 0.2,-0.07), and was precisely within the experimental region where the predicted value was 3.54. The optimal values of PEG (MW), PEG (%,w/w), MgSO4 (%,w/w), RPE(%,w/w), NaCl (%,w/w) and temperature (°C), were estimated in actual units, and were 6000, 19 %, 16 %,4.8,0.3,and 25 respectively. The canonical analysis, based on the stationary point, resulted in the following equation:

$$\mathbf{Y = 3.54 - 0.37w_1^2 - 0.28w_2^2 - 0.19w_3^2 - 0.03w_4^2 + 0.02w_5^2 + 0.33w_6^2} \quad \mathbf{(6)}$$

Where, $\mathbf{w_1}$, $\mathbf{w_2}$, $\mathbf{w_3}$, $\mathbf{w_4}$, $\mathbf{w_5}$ and $\mathbf{w_6}$ are eigenvalues based on coded data and Y is the R-phycoerythrin purity. The mixed signs of eigenvalues indicated that the predicted response surface of the stationary point is saddle shaped.

Figure 1 – 3 represents the response surfaces obtained for the interaction effects of the tested variables. The data presented in the response plots indicated that R-phycoerythrin purity increased with an increase in the PEG molecular weight, RPE, NaCl and temperature up to 6000 Da, 4.8 (%,w/w), 1.3 (%,w/w) and 25 °C respectively, after which the purity decreases. The shape of contour plots indicates the nature and extent of the interaction. It is clearly shown in the response surface and contour plots that there is a significant interaction between PEG molecular weight and PEG concentration only.

The effects of PEG concentration and RPE loading, NaCl concentration and Temperature were shown in Fig.2. The response surface plot shows that an increase in PEG concentration, there is a minor shift in optimal RPE, NaCl and Temperature toward the lower values, though this is not a very significant effect.

Similarly, the interaction effects plotted for NaCl, Temperature and RPE showed that there are no significant interactions between these variables which affect R-phycoerythrin purity (Fig.3). However, we could confirm that optimal RPE range lay between 4.5 and 5.5 (%,w/w), that optimal NaCl was between 0.2 and 0.4 (%,w/w) with optimal temperature close to 25 °C.

The adequacy of the predicted model was examined by additional independent experiments at the suggested optimal conditions. An optimum R-phycoerythrin purity of 2.9 was obtained in the top phase. The agreement between the predicted and experimental results verifies the validity of the response model and the existence of an optimal point. All the above experiments were performed at the optimal values of PEG (MW), PEG (%,w/w), MgSO4 (%,w/w), RPE(%,w/w), NaCl (%,w/w) and temperature (°C), as estimated in actual units (6000, 19 w/w, 16 w/w, 4.8 w/w, 0.3 (w/w) and 25°C respectively.

DISCUSSION

The red pigments from *G. verrucosa* that were isolated by ATPS from a crude extract, exhibited three distinct absorption maxima at 498, 538 and 565 nm. Such features led to the classification of this protein as an R-phycoerythrin. To design an aqueous two-phase primary recovery process, the influence of systems parameters on R-phycoerythrin purity was examined using single model systems.

The model, based on response surface methodology, predicted with good accuracy, the optimal conditions for recovery of R-phycoerythrin by extraction in a PEG-salt system. Besides showing the optimum conditions for RPE purity, the model describes, an interaction between x_1 and x_2. These interactions caused the optimal level of one variable to change in response to change in the other variables. This interaction is substantial and it might have complicated the optimization if it had been conducted using the "one variable at a time" approach.

The model predicted that the purity and recovery of RPE from ATPS decreased with increasing PEG molecular weight (6000 - 10000). This was attributed to the increasing hydrophobicity of the polymer, which causes more aggregation during refolding (Franco et al., 1996 ; Rito-Palomares et al., 2000). Larger PEG molecules have larger

available surfaces and may adsorb RPE molecules which would result in decreased RPE purity. In lower molecular weight PEGs (<4000), the polymer does not spread across the protein surface to cover all the hydrophobic parts on the proteins; which is the likely cause of aggregation. In the case of RPE, a decrease in RPE purity may be explained by a migration of contaminant proteins from the bottom phase or interface into the top phase. The optimum region of R-phycoerythrin recovery shifted towards the higher salt concentrations. The latter may be due to an increase in interaction that kept the protein in solution combined with the stabilizing effect of salt on the refolded protein (Rito-Palomares et ai., 2000). According to (Cerasoli et al., 2003), the stabilizing effect of salts depends on the nature of anions and cations; where strongly hydrated anions such as phosphate and sulfate and the weakly hydrated cations such as potassium are considered the most stabilizing.

A decrease in RPE purity with the increased NaCl content in the system was indicated. The purity value of RPE decreases from 3.5 to 2.4 when NaCl concentration increased from 0.3M to 0.5M. The occurrence of this effect may be due to increased protein solubility as a result of the addition of neutral electrolytes like NaCl. The increased net charge of the protein, due to the binding of the ion, should increase the electrostatic free energy of the protein and the resulting repulsive forces probably led to the decrease in the stability of the protein (Arakawa, Timasheff, 1982 ; Vojdani, 1996). This electrostatic repulsive force should also prevent protein association or aggregation; in other words, it should increase the solubility of the RPE in the system. NaCl has a known protein salting-in property. Thus, we suggest a dissociation of the RPE form with the increase of the NaCl content in the system.

R-phycoerythrin recovery was optimal at 25 °C, increased temperature promoted protein aggregation due to a decrease in the required activation energy (Fisher et al., 1993). R-phycoerythrin stability to heat variation was monitored spectromectrically by (Galland-Irmoulia, et al., 2000). Absorbance was slightly decreased when temperature increase from 20 °C to 30 °C. Beyond this range, however, spectral modifications occurred, probably, as a result of peak denaturation and absorbance at 565 nm progressively disappeared. The 499 nm peak showed the greatest stability to high temperature. Process conditions were selected for ATPS based on the influence of the system parameters upon the purity and top phase recovery of RPE from ATPS, which resulted in a product with a purity of 3.5. The ATPS system is characterized by three unit operations. In contrast, the processes reported by (Wang, 2002 ; Galland-Irmoulia et al., 2000 ; Niu et al., 2006), involve many units of operation for the primary recovery stage, in order to obtain a product with similar characteristics. The recovery process proposed here (ATPS extraction), increased the RPE purity up to 3.5, which raises the potential commercial application of this process as an alternative to the practical purification of RPE produced by *G. verrucosa*.

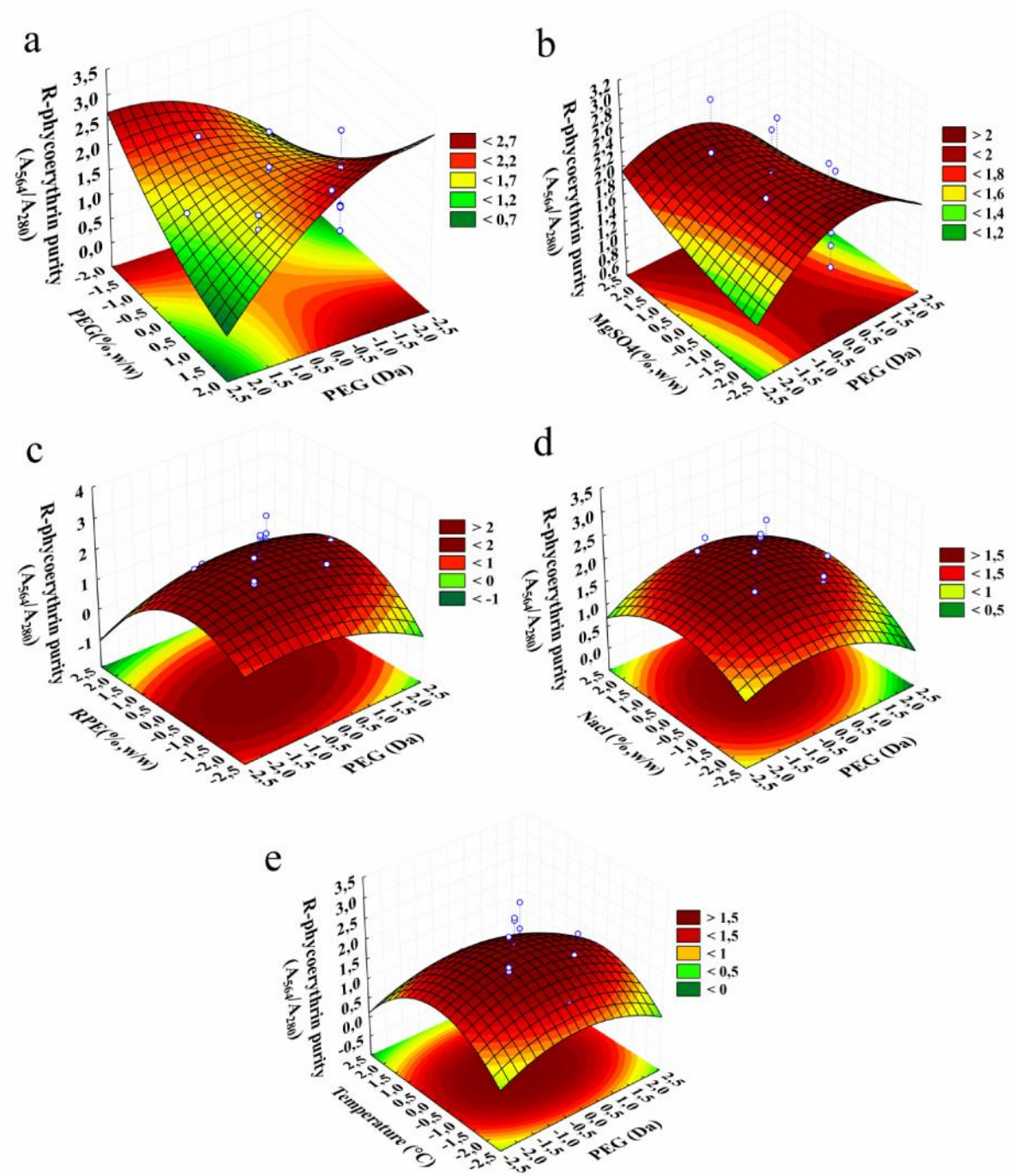


Fig.1. Three dimensional contour plots for R-phycoerythrin (RPE) purity. RSM plots were generated using the data shown in Table III. Inputs were the 46 experimental runs carried out under the conditions established by the CCD design. (a) RPE purity (A_{564}/A_{280}) as a function of PEG molecular weight (Da) and PEG concentration (%,w/w). (b) RPE purity (A_{564}/A_{280}) as a function of PEG molecular weight (Da) and MgSO4 (%,w/w). (c) RPE purity (A_{564}/A_{280}) as a function of PEG molecular weight (Da) and RPE concentration (%, w/w). (d) RPE purity (A_{564}/A_{280}) as a function of PEG molecular weight (Da) and Nacl (%,w/w) concentración. (e) RPE purity (A_{564}/A_{280}) as a function of PEG molecular weight (Da) and temperature (°C). The value of the missing independent variable in each plot was kept at the center point.

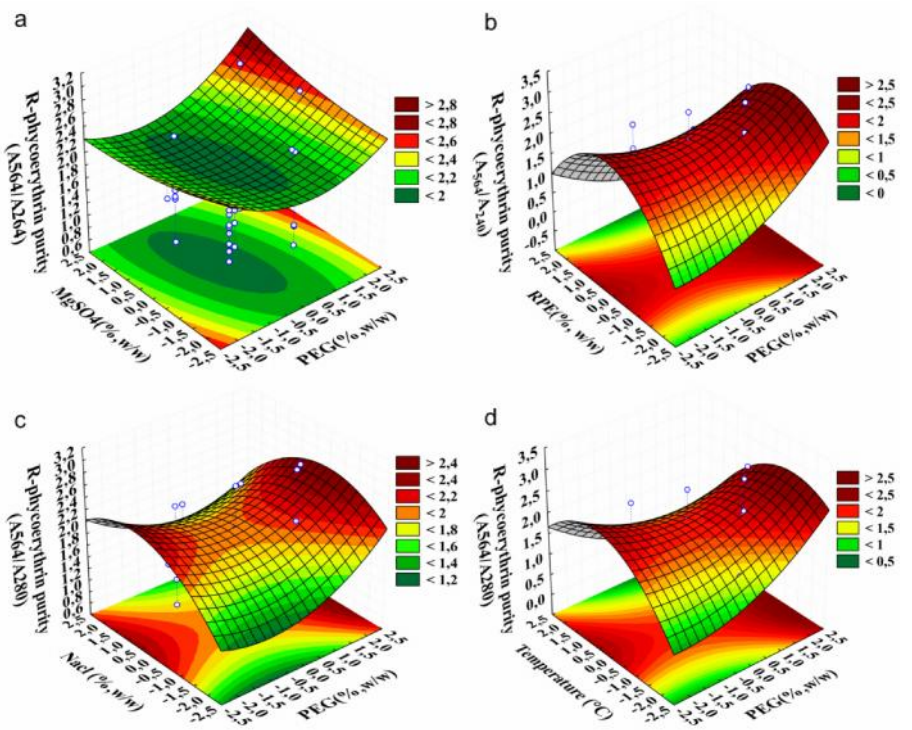


Fig.2. Three dimensional contour plots for R-phycoerythrin (RPE) purity. RSM plots were generated using the data shown in Table III. Inputs were the 46 experimental runs carried out under the conditions established by the CCD design. (a) RPE purity (A_{564}/A_{280}) as a function of PEG concentration (%,w/w) and MgSO4 concentration (%,w/w). (b) RPE purity (A_{564}/A_{280}) as a function of PEG concentration (%,w/w) and RPE loading (%,w/w). (c) RPE purity (A_{564}/A_{280}) as a function of PEG concentration (%,w/w) and Nacl (%,w/w) concentration. The value of the missing independent variable in each plot was kept at the center point. (d) RPE purity (A_{564}/A_{280}) as a function of PEG concentration (%,w/w) and temperature (°C). The value of the missing independent variable in each plot was kept at the center point

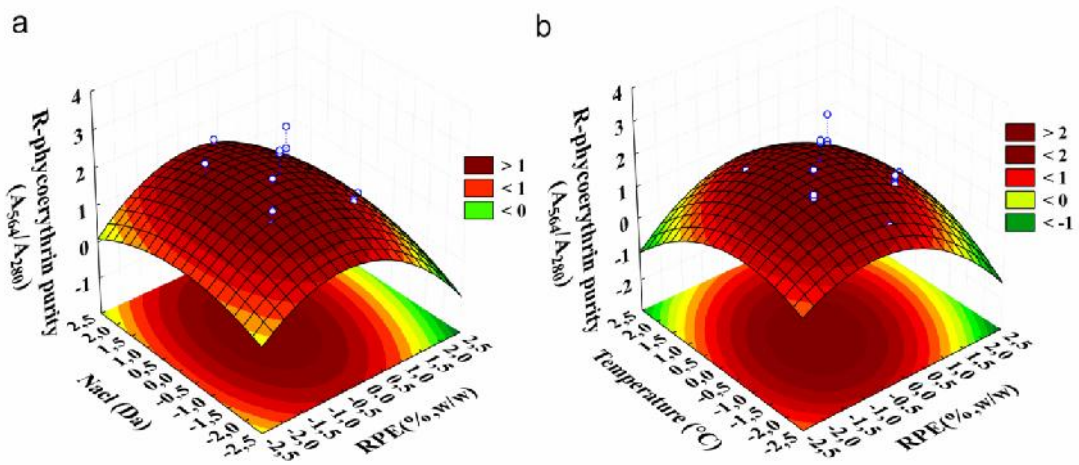


Fig.3. Three dimensional contour plots for R-phycoerythrin (RPE) purity. RSM plots were generated using the data shown in Table III. Inputs were the 46 experimental runs carried out under the conditions established by the CCD design. (a) RPE purity (A_{564}/A_{280}) as a function of RPE concentration (%,w/w) and Nacl concentration (%,w/w). (b) RPE purity (A_{564}/A_{280}) as a function of RPE concentration (%,w/w) and T°C. The value of the missing independent variable in each plot was kept at the center point.

CONCLUSIONS

The work presented here shows the feasibility of using ATPS as an effective and rapid means for the recovery of R-phycoerythrin using phases composed of PEG/Magnesium sulfate systems. The CCD used in this work allowed the definition of an appropriate model for the factors studied, which in turn, led to the definition of an optimum condition. The model equations predicted that all the parameters that were investigated had a significant influence on active recovery, and led to a choosing an optimal system that provided maximal purity (>3). Interactions between the six factors were absent, indicating that the driving force affecting RPE purity was purely affected by the magnitude of the factors employed. A good agreement was obtained between the experimental and predicted results, thus verifying the validity of the model.

BIBLIOGRAPHY

Albertsson PA. Partition of Cells Particles and Macromolecules, third ed. New York :Wiley and Sons;1986.

Arakawa T, Timasheff SN. Preferential interactions of proteins with salts in concentrated solutions. Biochemistry 1982; 21: 6545–52.

Benavides JM, Rito-Palomares M. Bioprocess intensification: a potential aqueous two-phase process for the primary recovery of B-phycoerythrin from *Porphyridium cruentum*, J Chromatogr B 2004 ; 807 : 33–38.

Bermejo RR, Alvarez-Pez JM, Acien Fernandez FG. Recovery of pure B-phycoerythrin from the microalga *Porphyridium cruentum*. J Biotechnol 2002 ; 93 : 73–85.

Buschmann AH, Hernández G, Varela DA. Seaweed future cultivation in Chile: perspectives and challenges. Int J Environ Pollut 2008; 33 : 432–456.

Cerasoli E, Kelly SM, Coggins JR, Lapthorn AJ, Clarke D, Price NC. Effects of salts on the function and conformational stability of shikimate kinase. Biochim Biophys Acta 2003;1648:43

Davis L. Efficiency in Research, Development, and Production: The Statistical Design and Analysis of Chemical Experiments Cambridge. The Royal Society of Chemistry;1993

Denis C, Michèle M, Pierre G, Fleurence J. Effect of enzymatic digestion on thallus degradation and extraction of hydrosoluble compounds from *Grateloupia turuturu*. Bot Mar 2009 ; 52 : 262-267

Dubois M, Gilles JK, Hamilton PA, Rebers FS. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Anal Chem*; 1956 : *28*, 350–356

FAO. Aquaculture production 2004, FAO Yearbook, Fishery Statistics, vol. 98/2. Rome: FAO ;2004

Fisher B, Summer I, Goodenough P. Renaturation of lysozyme--temperature dependence of renaturation rate, renaturation yield, and aggregation: identification of hydrophobic folding intermediates. Arch Biochem Biophys 1993; 306 : 183-187

Franco TT, Andrews TA, Asenjo JA. Use of Chemically Modified Proteins to Study the Effect of a Single Protein Characteristic in Aqueous Two-Phase Systems. Effect of Surface Charge. Biotech Bioeng 1996; 49 : 300-308.

Galland-Irmoulia AV, Ponsa L, Luconb M, Villaumec C, Mrabeta NT, Gue´anta JL, Fleurence J. One-step purification of R-phycoerythrin from the red macroalga Palmaria palmata using preparative polyacrylamide gel Electrophoresis. Journal of Chromatography B 2000;739 : 117-123.

Hatti-Kaul R. Aqueous two-phase system: a general overview. In : Hatti-Kaul R, editors. Methods in Biotechnology Vol. 11. Totowa: Humana Press;2000. p.255-279.

Kula MR, Kroner KH, Hustedt H. Purification of enzymes by liquid–liquid extraction. Adv. Biochem. Eng. 1982; 24 : 73–118.

Liu L-N, Xiu-Lan C, Xi-Ying Z, Yu-Zhong Z, Bai-Cheng Z. One-step chromatography method for efficient separation and purification of R-phycoerythrin from *Polysiphonia urceolata*. Journal of Biotechnology 2005; 116 : 91–100

Mabeau S, Fleurence J. Seaweeds in food products : Biochemical and nutritional aspects. Trends Food Sci Technol 1993;4: 103–107.

Myers RH, Montgomery DC. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments, 2nd Ed. New York : Wiley;2002

Niu J-F, Wang G-C, Tseng C-K. Method for large-scale isolation and purification of R-phycoerythrin from red alga *Polysiphonia urceolata Grev*. Protein Expression and Purification 2006;49 : 23–31.

Oliveira EC, Alveal K, Anderson RJ. Mariculture of the agar-producing Gracilarioid red algae. Rev Fish Sci 2000; 8 : 345–377.

Orduña-Rojas J, Karla Y, García-Camacho P O, Rafael R, I P, José A. Z, Alf EM. Agar properties of two species of Gracilariaceae from the Gulf of California, Mexico. J Appl Phycol 2008; 20:169–175

Raghavarao KSMS, Rastogi NK, Gowthaman MK, Karanth NG. Aqueous two phase extraction for the downstream processing of enzymes/proteins. Adv Appl Microbiol 1995; 4 : 97–171.

Rahimpour F. Feyzi F. Maghsoudi S. Hatti-Kaul R. Purification of plasmid DNA with polymer-salt aqueous two-phase system: Optimization using response surface methodology. Biotechnol Bioeng 2006 ; 95 : 627-637

Rito-Palomares M, Dale C, Lyddiatt A. Generic application of an aqueous two-phase process for protein recovery from animal blood. Process Biochem 2000; 35:665

Rito-Palomares M, Nunez L, Amador D. Practical application of aqueous two phase systems for the development of a prototype process for c phycocyanin recovery from *Spirulina maxima*. J Chem Technol Biotechnol 2001; 76 : 1273–1280.

Rossano R, Ungaro N, D'Ambrosio A, Liuzzi GM, Riccio P. Extracting and purifying R-phycoerythrin from Mediterranean red algae *Corallina elongata Ellis* and Solander. Journal of Biotechnology 2003;101 : 289 - 293.

Sekar S, Chandramohan M. Phycobiliproteins as a commodity: trends in applied research, patents and commercialization. J Appl Phycol 2008;20:113–136

Skriptsova AV, Nabivailo YV. Comparison of three gracilarioids: growth rate, agar content and quality. J Appl Phycol 2009; 21:443–450.

Sun L, Wang S, Gong X, Zhao M, Fu X, Wanga L. Isolation, purification and characteristics of R-phycoerythrin from a marine macroalga *Heterosiphonia japonica.* Protein Expr Purif 2009; 64 : 146–154

Telford WG, Moss MW, Morseman JP, Allnutt FC. Cyanobacterial stabilized phycobilisomes as fluorochromes for extracellular antigen detection by flow cytometry. J Immunol Meth 2001; 254 : 13–30.

Vojdani F. Solubilty. In: Methods of Testing Protein Functionality. Hall GM, editor. London: Blackie Academic and Professional;1996

Wang G. Isolation and purification of phycoerythrin from Red alga *Gracilaria verrucosa* by Expended-Bed-Adsorption and Ion Exchange Chromatography. Chromatographia 2002; 56 : 509 - 513.

Yarish C, Pereira R, 2008. Mass production of Marine Macroalgae. In: Sven Erik J., SE, Fath BD ediors, Ecological Engineering : Encyclopedia of Ecology, 5 vols. Oxford Elsevier; 2008. p. 2236–2247.

RECHERCHES EXPERIMENTALES SUR L'ELEVAGE DE L'ARTEMIA (*ARTEMIA SALINA*) : EFFET DE QUELQUES FACTEURS EXTERNES

KHALIL TRIGUI[*], R. BEN SAIID[**], R. BACHA[*] et N. ALOUI[*]
[*]Laboratoire d'aquaculture
[**]Laboratoire de biodiversité et biotechnologie marines
Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, 28, rue 2 mars 1934, Salammbô, 2025, Tunisie
Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, Centre kheireddine
**khaliltrigui10@hotmail.fr*

ملخص

دراسة تأثير بعض العوامل الخارجية على حياة الأرتيميا : تمت دراسة تأثير بعض العوامل الخارجية (درجة الحرارة,درجة الملوحة و الأكسجين المذاب) على حياة الارتيميا ولهذا الغرض تم اخذ عينات من الأرتيميا الموجودة في ملاحة الساحلين (ولاية المنستير) و جلبها إلى المخبر و قد مكنتنا متابعة هذه العوامل الخارجية الثلاثة من معرفة مدى تأثيرها على حياة الارتيميا .

و بينت النتائج التي تم الحصول عليها أن الارتيميا تفضل العيش في درجة حرارة تتراوح بين25 و 27 درجة ,مع مستوي ملوحة تساوي37 غرام/لتر, ولكن يمكن لهذا النوع من القشريات العيش في مستوي ملوحة تقدر ب 95 غرام/لتر.هذا وقد لاحظنا أن حيوان الارتيميا كان قادرا على البقاء و العيش في المياه العذبة (0غرام/لتر) لمدة تصل إلى 28 يوما (مدة التجربة). أما بالنسبة لتركيز الأكسجين المذاب الأمثل لحيوان الارتيميا فهي 7 ملغ/ل.

الكلمات المفاتيح : تربية الارتيميا, درجة الحرارة, درجة الملوحة, الأكسجين المذاب.

RESUME

Artemia salina a été récoltée dans la saline de Sahline (Gouvernorat de Monastir) pour un élevage au laboratoire afin de tester l'effet de différents paramètres (température, salinité et oxygène dissous) sur la survie de ce crustacé. Les résultats enregistrés ont montré que le taux de survie de ce crustacé a été affecté par les différents facteurs étudiés. L'Artemia tolère les différentes valeurs de température testées et la fourchette de température optimale pour élever ce crustacé est comprise entre 25 et 27°C avec un taux de survie allant de 84 à 88%. La salinité optimale pour élever *Artemia salina* est de 37 psu avec un taux de survie égal à 62,22 ±0,23 % après 28 jours d'expérience ; mais nous pouvons élever Artemia à une salinité de 95 psu et obtenir un taux de survie égal à 57,77 ± 0,04%. Nous signalons aussi que Artemia a pu survivre et supporter la salinité de l'eau douce (0 psu) jusqu'à la fin de l'expérience avec un taux de survie égal à 8,88%. La concentration optimale d'oxygène dissous permettant l'élevage d'Artemia est de 7 mg/l, avec un taux de survie égal à 87,11 ± 0,04% après 28 jours d'expérimentation.

Mots clés : élevage, *Artemia salina*, température, salinité, oxygène dissous.

ABSTRACT

Experimental research on the breeding of Artemia (*Artemia salina*): effect of some external factors; *Artemia salina* was collected from sahline salt lake (Tunisia) and bred in laboratory to test the effect of different parameters (temperature; salinity and dissolved oxygen) on the survival of this crustacean. The survival rates of this crustacean were affected by the different values of studied factors. The recorded results showed that *Artemia salina* tolerated different temperatures and the optimum ranged from 25 to 27°C with a survival rate ranging from 84,44 to 88,88%. The optimal salinity to breed *Artemia salina* was 37 psu (62,22 ± 0,23%) after 28 days of experiment but a salinity of 95psu can be chosen with a survival rate equal to 57,77 ± 0,04%. Nevertheless,

Artemia salina was able to survive and withstand the salinity of 0 psu (freshwater) until the end of the experiment (8,88%). The optimum concentration of dissolved oxygen was 7mg/l with a survival rate of 87,11 ± 0,04 %.
Key words: breeding, *Artemia salina*, temperature, salinity, dissolved oxygen.

INTRODUCTION

Les lacs hyper salés sont concentrés dans les régions arides et semi-arides (William, 2000), caractérisés par des conditions physico-chimiques instables avec une variabilité interannuelle. Ces écosystèmes hébergent des invertébrés aquatiques spécifiques qui ont développé certains mécanismes d'adaptation (Persoone et Sorgeloos, 1980). Gauthier (1928) a décrit des invertébrés de certains sites en Algérie et en Tunisie et les a classés en fonction de leur tolérance à la salinité. En Algérie, des espèces du genre *Artemia* Leach, 1819 ont fait l'objet de quelques études biologiques et écologiques (Haddag, 1991 ; Kara et *al.*, 2004 ; Amarouayache et *al*., 2009a, b, 2010). *Artemia salina* est un crustacé largement distribué (Triantaphyllidis et *al*., 1998) et très bien étudié de par le monde. Le grand succès de distribution de ce crustacé à travers une variété d'écosystèmes est la preuve de sa grande capacité d'adaptation et de tolérance environnementale (Barata, 1994). Toutefois, neuf espèces isolées de façon reproductive ont été décrites, et qui peuvent être divisées en espèces sexuées ou parthénogénétiques avec différents niveaux de ploïdie (Browne and Bowen, 1991). De ce fait, l'intérêt a été porté sur la recherche et l'exploitation d'*Artémia salina* dans les milieux naturels (salines, sebkhas..), et ce depuis la découverte de sa valeur nutritionnelle élevée (Aloui, 2013). En effet, les nauplii d'*Artemia* représentent un maillon trophique indispensable pour nourrir les larves de poissons et les post-larves des crustacés. Cette importance est due à la disponibilité, à la simplicité et à la valeur nutritionnelle des cystes d'Artemia par rapport à d'autres aliments (Ben Naceur et *al*., 2008). De nombreuses recherches ont été effectuées sur la nutrition des larves de poissons marins et d'eau douce en élevage (Girin et Person-Le-Ruet, 1977 ; Sorgeloos, 1978, 1980,1981 a,b ; Barnabé, 1984 ; Divanach et Kentouri, 1984 ; Gatesoupe et *al*., 1984 ; Iizawa,1984 ; Mani-Ponset et *al*., 1994 ; Zakes et Demska-Zakes, 1996 ; Schlumberger et Proteau, 1996 ; Mhetli, 2001 ; Kestemont et *al*., 2007 ; Szkudlarek et Zakes, 2007). Par ailleurs, les résultats des recherches relatives à l'exploitation des cystes d'Artemia dans les salines tunisiennes ont montré que les potentialités des cystes d'Artémia sont faibles devant les besoins des projets de pisciculture réalisés en Tunisie (Aloui, 2003). Pour cela, nous avons jugé utile de développer les recherches sur l'A*rtemia salina* selon l'axe élevage en vue de maitriser son élevage et son cycle de reproduction. C'est dans ce contexte que nous nous sommes intéressés dans le présent travail, à l'étude de l'effet de différents facteurs abiotiques (température, salinité et oxygène dissous) en vue de déterminer les valeurs optimales de ces trois facteurs permettant de conduire un élevage d'Artemia au laboratoire.

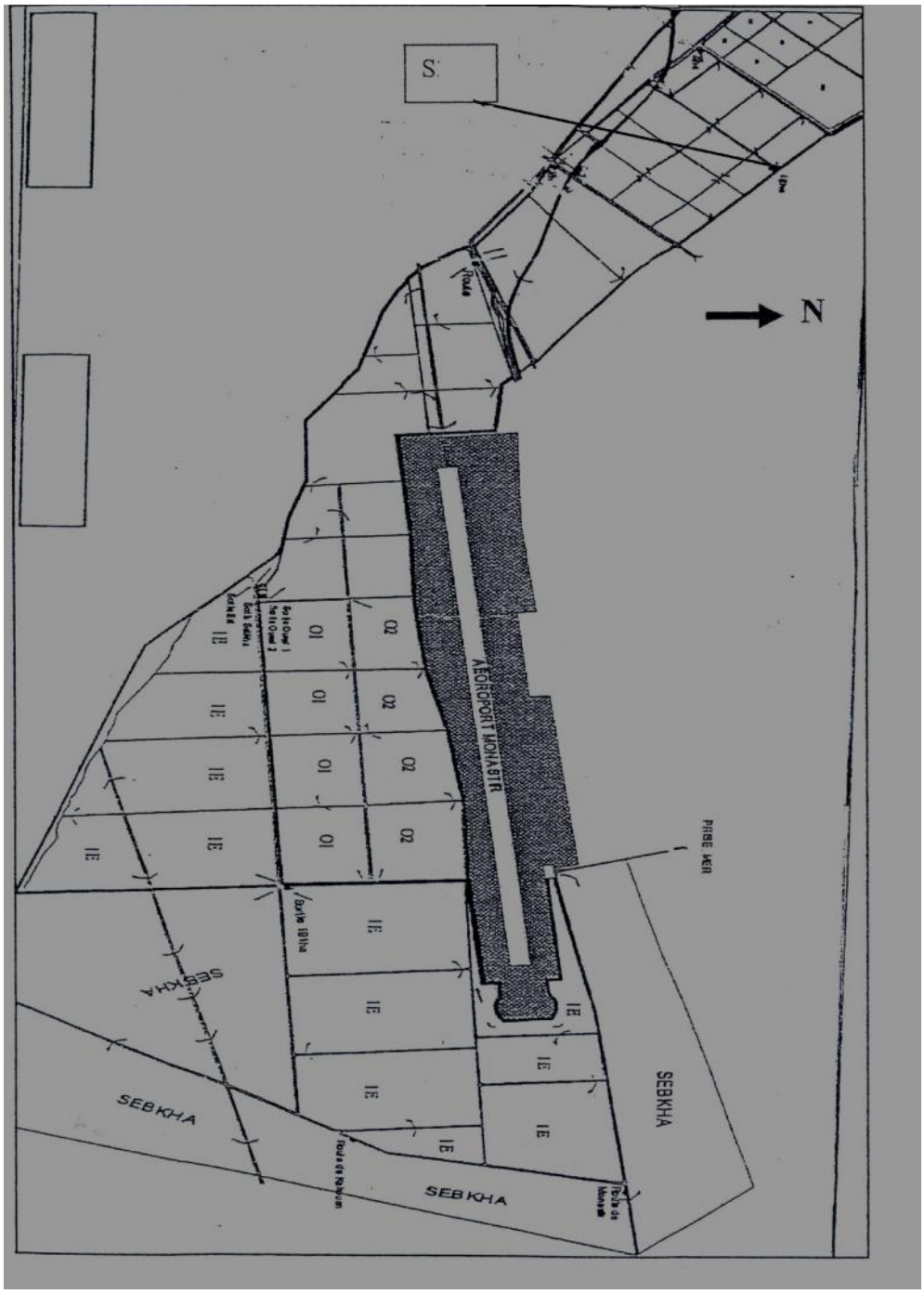
MATERIEL ET METHODES

1 Origine des animaux (*Artemia salina*)
L'Artemia a été récoltée de la saline de Sahline (Figure1).

2- Récolte, transport et acclimatation des animaux
L'Artemia a été récoltée dans les bassins à Artemia puis transportée dans des bassines de 60 litres avec oxygénation soutenue jusqu'au laboratoire. A l'arrivée, les animaux sont mis dans deux grands bacs aérés de 500 litres chacun pour acclimatation qui dure généralement entre 3 et 5 jours. Au cours de cette phase et pendant toutes les expérimentations, les animaux sont nourris à l'aide de *Dunaliella salina* cultivée au laboratoire, à raison de deux fois par jour (matin et après-midi).

3- Protocole expérimental
Effet de la température
Le dispositif d'expérimentation est constitué de 12 aquariums de volume total de 30 litres chacun, mais le volume utilisé est de 15 litres d'eau de mer (37psu). Ces aquariums sont placés au laboratoire et montés en quatre séries. Quatre valeurs de la température ont été expérimentées avec 3 réplicas chacune : 22°C ; 25°C ; 27°C et 32°C. Ces valeurs de températures ont été fixées grâce à des résistances chauffantes. La répartition des animaux dans les 12 aquariums a été effectuée avec une charge de 15 individus/l ; soit 225 individus/aquarium. Une aération continue pendant 24 h est assurée pour avoir une oxygénation satisfaisante durant la période de l'expérience. Tous les autres paramètres (salinité, O_2 dissous, pH..) ont été maintenus constants.

Effet de la salinité
Concernant la salinité, le même dispositif d'expérimentation a été utilisé, sauf que nous avons.


N
AEOROPORT MOHASTR
SEBKHA
SEBKHA
SEBKHA
SEBKHA
IE
IE
IE

testées sont : 2mg/l, 5mg/l, 7mg/l et 9mg/l. Nous avons travaillé avec une densité de 15 individus/ litre ; soit 225 individus/aquarium.

4- Suivi de l'élevage

Les expériences ont été réalisées sur des Artemia adultes et la durée de chaque expérience est de 28 jours. Durant cette période, un suivi est effectué au niveau des élevages pour dénombrer quotidiennement le nombre de mort. La mortalité est estimée par un comptage quotidien des individus morts. La survie est rapportée au nombre d'animaux mis en élevage au début de chaque expérience.

Analyses statistiques

Nous avons effectué l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA). La comparaison multiple des moyennes a été réalisée avec le test Tukey et le seuil de signification retenu est 5%. L'homogénéité des variances a été vérifiée par le test de Levene. Toutes les données ont été analysées avec le logiciel SPSS version 20.0.

RESULTATS

Effet de la température

Le suivi quotidien de l'élevage nous a permis de montrer que la survie d'Artemia est très influencée par la température. En effet, le nombre de survivants d'Artemia a considérablement varié selon la température depuis le début jusqu'à la fin de l'expérience (Tableau I).

La traduction de ces résultats en terme de pourcentages nous donne les valeurs portées sur le Tableau II.

Tableau I : Nombre de survivants d'Artemia en fonction de la température

	Moyenne des survivants après 7, 14, 21 et 28 jours d'élevage				
Température	T_0	7jours	14 jours	21 jours	28jours
(22°C)	225	221(±3,21)	218 (±3,21)	210 (± 8,76)	150 (± 0,00)
(25°C)	225	225 (±0,00)	223 (± 1)	217 (± 0,58)	190 (±1,52)
(27°C)	225	224 (±0,58)	223 (±0,58)	216 (±1)	200 (± 1)
(32°C)	225	216 (± 2,52)	200 (±0,58)	170 (± 2)	30 (± 2)

Tableau II : Pourcentage des survivants après 7, 14, 21 et 28 jours d'élevage.

Jours / Température	T_0	7jours	14jours	21jours	28jours
(22°C)	100%	98,22 (±0,01)	96,88% (±0,01)	93,33% (±0,04)	66,66% (±0,00)
(25°C)	100%	100% (±0,00)	99.11% (± 0,00)	96.44% (± 0,00)	84.44% (±0,00)
(27°C)	100%	99,55% (±0,00)	99,11% (± 0,00)	96% (± 0,00)	88,88% (± 0,00)
(32°C)	100%	96% (±0,01)	88,88% (± 0,00)	75,55% (± 0,12)	13,33% (± 0,00)

Pour les animaux élevés à 22°C, nous avons obtenu un taux de survie égal à 66,66 % après 28 jours d'expérimentation. Au niveau de la deuxième série élevée à 25°C, nous avons obtenu un taux de survie égal à 84,44 %. Pour la troisième série des animaux élevés à 27°C, nous avons enregistré un taux de survie égal à 88,88 %. Concernant la quatrième série d'animaux élevés à 32°C, nous avons obtenu un taux de survie faible à la fin de l'expérience, il est égal à 13,33 %. L'analyse statistique a montré un effet significatif de la température (Tableau III). Par ailleurs, il existe une corrélation négative entre le taux de survie et la température ($r_= - 0,637$, $p= 0,026$).

Tableau III : Tableau d'analyse de la variance Anova à 1 facteur (Température)

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification (P)
Inter-groupes	55016,000	3	18338,667	10002,909	,000
Intra-groupes	14,667	8	1,833		
Total	55030,667	11			

- **Effet de la salinité**

Le suivi des expériences d'élevage d'Artemia nous a permis de montrer que la survie d'Artémia est également très influencée par la salinité. En effet, le nombre de survivants d'Artemia a considérablement varié selon les valeurs testées de ce paramètre (Tableau IV).

En exprimant ces résultats sous forme de pourcentage de survivants après 7,14, 21 et 28 jours d'expérimentation ; nous obtenons les valeurs consignées dans le Tableau V.

Tableau IV : Nombre de survivants d'Artemia en fonction de la salinité

	Moyenne des survivants après 7, 14, 21 et 28 jours d'élevage				
salinité	T_0	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
0 psu	225	215 (± 0,58)	130 (± 0,58)	10 (± 0,58)	20 (±1)
37 psu	225	206 (± 4,72)	180 (± 35,80)	160 (± 52,91)	140 (± 52,91)
95 psu	225	188 (± 3,46)	176 (± 3,51)	156 (± 16,37)	130 (± 10)
150 psu	225	174 (± 65,02)	150 (± 78,10)	110 (± 69,28)	70 (± 51,96)

Tableau V : Pourcentage des survivants après 7,14, 21 et 28 jours d'élevage.

Jours / Salinité	T_0	7jours	14jours	21jours	28jours
0 psu	100%	95,55% (±0,00)	57,77% (±0,00)	44,44%, (±0,00)	8,88% (±0,00)
37 psu	100%	91,55% (±0,02)	80% (±0,16)	71,11% (± 0,23)	62,22% (±0,23)
95 psu	100%	83,55% (±0,01)	78,22% (± 0,01)	69,33% (± 0,07)	57,77% (±0,04)
150 psu	100%	77,33% (± 0,29)	66,66% (± 0,34)	48,88% (± 0,30)	31,11% (±0,23)

Le taux de survie d'Artemia en élevage à une salinité variant de 0 psu à 150 psu et à une température fixée à 27°C est porté dans le tableau V. Ainsi, au niveau de la première série élevée à 0 psu, le taux de survie est égal à 8,88% après 28 jours d'expérimentation. A une salinité de 37 psu, nous avons obtenu un taux de survie élevé égal à 62,22 ± 0,23% (série2). Pour la troisième série, élevée à 95 psu, nous avons enregistré un taux de survie égal à 57,77 ± 0,04% à la fin de l'expérience. Pour la série 4, dont les animaux sont élevés à 150 psu; nous avons obtenu un taux de survie égal à 31,11 ± 0,23% à la fin de l'expérience. L'analyse statistique a montré qu'il existe un effet significatif de la salinité ($p<0,05$) sur le taux de survie de l'Artemia en élevage (Tableau VI). La corrélation entre la salinité et le taux de survie est faible ($r=+0,224$, $p= 0,484$).

Tableau VI : Tableau d'analyse de la variance ANOVA à 1 facteur (Salinité)

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification (P)
Inter-groupes	28200,000	3	9400,000	6,713	,014
Intra-groupes	11202,000	8	1400,250		
Total	39402,000	11			

Effet de l'oxygène dissous

Le suivi journalier des animaux en élevage a montré que l'oxygène dissous a une grande importance sur la survie de ces derniers. En effet, le nombre de survivants d'Artemia a varié selon la quantité d'oxygène dissous depuis le début jusqu'à la fin de l'expérience (Tableau VII).

Comme pour les deux paramètres précédents, et en traduisant les résultats obtenus en pourcentage, nous obtenons les valeurs portées sur le Tableau VIII.

Tableau VII : Nombre de survivants d'Artemia en fonction de l'oxygène dissous

	Moyenne des survivants après 7, 14, 21 et 28 jours d'élevage				
oxygène dissous	T_0	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
2mg/l	225	160 (± 43,59)	110 (±37,86)	80 (±34,64)	46 (± 33,28)
5mg/l	225	204 (± 5,29)	188 (± 3,46)	160 (±17,32)	120 (± 10)
7mg/l	225	222 (± 1)	216 (± 2,51)	208 (± 7)	196 (± 9,64)
9mg/l	225	220 (± 3)	214 (± 4,58)	200 (± 8,72)	188 (± 10,58)

Tableau VIII : Pourcentage des survivants après 7, 14, 21 et 28 jours d'élevage

Jours / O_2 dissous	T_0	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
2mg/l	100%	71,11% (±0,19)	48,88% (±0,17)	35,55% (± 0,15)	20,44% (± 0,14)
5mg/l	100%	90,66% (±0,02)	83,55% (± 0,01)	71,11% (± 0,07)	53,33% (± 0,04)
7mg/l	100%	98,66% (± 0,00)	96% (± 0,01)	92,44% (± 0,03)	87,11% (± 0,04)
9mg/l	100%	97,77% (± 0,01)	95,11% (± 0,02)	88,88% (±0,03)	83,55% (± 0,04)

L'analyse des résultats obtenus montre qu'au niveau de la première série (animaux élevés à 2 mg/l), le taux de survie est égal à 20,44 ± 0,14% après 28 jours d'expérimentation. Pour les animaux élevés à 5 mg/l (série 2), le taux de survie à la fin de l'expérience est plus élevé ; il est égal à 53,33 ±0,04%. Concernant les animaux élevés à 7 mg/l (série3), le taux de survie est égal à 87,11 ± 0,04% après 28 jours d'élevage. Pour la quatrième série, (animaux élevés à 9 mg/l), le taux de survie est égal à 83,55 ± 0,04% à la fin de l'expérience. D'après ces résultats, nous pouvons dire qu'une oxygénation de 7 mg/l donne le meilleur taux de survie (87,11 ± 0,04%). L'analyse statistique a montré qu'il existe un effet hautement significatif de l'oxygène dissous sur le taux de survie de l'Artemia (Tableau IX). Une corrélation positive a été trouvée entre l'oxygène dissous et le taux de survie (r=+0,870, p=0,000).

Tableau IX : Tableau d'analyse de la variance ANOVA à 1 facteur (taux de l'oxygène dissous)

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification (P)
Inter-groupes	43953,000	3	14651,000	41,475	,000
Intra-groupes	2826,000	8	353,250		
Total	46779,000	11			

DISCUSSION

Des études antérieures ont montré l'influence des facteurs environnementaux sur le cycle de vie ou la survie des populations d'Artemia (Vanhaechke et *al*., 1984 ; Wear et *al*.,1986 ; Triantaphyllidis et *al*., 1995 ; Browne et *al*., 2002 ; Abatzopoulos et *al*., 2003). La plupart de ces études ont traité l'effet de la température et de la salinité qui constituent les plus importants paramètres physico-chimiques affectant la survie des populations d'Artemia. Dans le présent travail traitant l'effet des trois facteurs abiotiques (température, salinité et oxygène dissous) sur la survie des populations d'Artemia en élevage a montré que ces facteurs ont un effet significatif avec différents degrés de corrélation. En effet, la température a affecté la survie de la population d'Artemia de façon significative pendant la période d'élevage ($p<0.05$) et nous avons enregistré un pourcentage de survie important (84 à 88%) à une fourchette de température allant de 25-27°C. Yasemin et *al*., (2002) ont noté que la fourchette de température optimale pour un élevage d'Artemia de Turquie (Lac du Tuz) se situe entre 22 et 26°C. Au dessus de cette fourchette, la population d'Artemia de ce lac salé devient moins résistante et des mortalités apparaissent dés que la température atteint les 30 et 32°C. Ces résultats concordent avec les observations de Basbug et Demirklap (1997) et Basbug (1999) sur des populations d'*Artemia salina* du lac de Tuz en Turquie. Par ailleurs, des études réalisées par Barata et *al*., (1996) analysant l'effet de la température sur la survie de trois espèces d'Artemia bisexuée diploïdes (*A.salina*); une population d'Artemia parthénogénétique diploïde et une population tétraploïde parthénogénétique, ont montré que le taux de survie diminue chez les trois populations quand la température augmente. La population bisexuée tolère moins les fortes valeurs de température par rapport aux autres populations parthénogénétiques. Ceci peut être expliqué par la résistance à la température et les différences génétiques entre les espèces, ce qui est confirmé avec nos résultats chez les populations d'*A.salina* bisexuée. Les observations de Vanhaecke et *al*., (1984) ont confirmé que les espèces parthénogénétiques ont une grande tolérance à des fortes températures. Par ailleurs, Vanhaechke et *al*., (1984) ont prouvé que les populations d'*Artemia salina* et les populations d'Artemia parthénogénétiques originaires de plusieurs sites géographiques ne peuvent pas survivre à des températures >30°C telles que les populations d'*Artemia franciscana.* Pour toutes les espèces étudiées par Vanhaechke et *al.*, (1984), la température optimale donnant un taux de survie élevé d'Artemia se situe entre 20 et 25°C. Des expériences réalisées par Liying et *al*., (2012) utilisant deux espèces d'Artemia bisexuée (*A.franciscana*) de Vietnam (VCSFB) et des USA (baie de San Francisco : SFB) et une espèce d'Artemia autochtone parthénogénétique de la Chine (baie de Bohai: BHB) ont montré un taux de survie important à 25°C chez les trois espèces et un taux de survie faible à 14°C sauf chez l'espèce parthénogénétique originaire de la Chine qui a donné un taux de survie faible à 33°C. Ces résultats sont conformes aux nôtres. En général, à des fortes températures (25 et 33°C), le classement de survie chez les trois espèces est le suivant: VCSFB> SFB> BHB. Le taux de survie élevé obtenu à 25 et 33°C chez les espèces bisexuées montre la bonne adaptation de ces espèces à des fortes et moyennes températures. Ceci est en concordance avec Browne et *al*., (1988) et Browne et Halanych (1989) qui ont observé une grande tolérance à des marges de températures importantes (>32°C) chez *A.franciscana* que chez *A.parthenogenetica* (Liying et *al*., 2012). La survie des populations d'Artemia diminue généralement avec l'augmentation de la température et un manque d'aliment (Pedro et *al*., 2013). Ces mêmes auteurs ont étudié l'effet de la température sur trois espèces d'Artemia du Portugal (deux populations parthénogénétique de Rio Maior (RM) et Aveiro (AV) et une population bisexuée). Les populations d'*A.parthenogenetica* (RM et AV) ont présenté un faible taux de survie à 29 et 34°C respectivement contrairement à la population d'*A.franciscana* (bisexuée) qui tolère ces fortes températures (maximum de survie à 29°C et quelques individus à 34°C).

La salinité est un facteur important pour la présence des populations d'Artemia dans les milieux salés (Van stappen, 2002). Dans la présente étude, nous avons obtenu un taux de survie maximum de 62,22 ± 0,23% à une salinité égale à 37 psu. L'étude

statistique a montré un effet significatif (p<0,05) de la salinité sur la survie de l'Artemia dans nos élevages. Triantaphyllidis et *al.*, (1995) ont montré que la survie est affectée par la salinité et ils ont enregistré de grands taux de mortalités lorsque les nauplii sont directement transférés à des grandes salinités. Toutefois, quand la salinité augmente graduellement, les populations d'Artemia bisexuées ont une bonne adaptation (Ben Naceur et *al*., 2009). D'autres travaux réalisés par Pedro et *al*., (2013) sur trois espèces d'Artemia du Portugal (deux populations parthénogénétique de Rio Maior (RM) et Aveiro (AV) et une population bisexuée) ont prouvé que l'espèce *A.franciscana* a le plus faible taux de survie que l'espèce parthénogénétique (RM) à une salinité de 70 et 150 psu mais elle a le plus fort taux de survie à 110 psu. L'espèce parthénogénétique (AV) ne peut pas survivre et résiste moins à des fortes salinités. Généralement, la survie des trois espèces étudiées diminue significativement avec l'augmentation de la salinité (Pedro et *al*., 2013). L'espèce parthénogénétique de Rio maior (RM) est plus résistante à des fortes salinités. Ceci peut être expliqué par l'adaptation à des conditions locales particulièrement à des caractéristiques de l'eau de la saline (Pedro et *al*., 2013). Des études effectuées par El Bermawi et *al.*, (2004) portant sur l'effet de différentes salinités sur la survie de quatre espèces d'Artémia de l'Egypte (Une bisexuée et trois parthénogénétiques), ont montré que la population bisexuée a un maximum de survie à 80 psu et ne peut pas survivre à une salinité comprise entre 150 et 200 psu après 17 jours d'élevage. Par contre, les populations parthénogénétiques tolèrent les salinités élevées et ont un important taux de survie à 150 et 200 psu. Ceci est en accord avec nos résultats illustrant une chute de taux de survie chez les populations bisexuées d'*A.salina* à 150 psu. Les résultats de El Bermawi et *al.*, (2004) sont en accord avec ceux de Browne et Wanigasekera (1991) qui ont constaté que la survie des populations d'Artemia parthenogenetica originaire de l'Italie (Margherita di savoia) augmente à des intervalles de salinités entre 60 et 180 psu. Abatzopoulos et *al*., (2003) ont évalué la qualité d'*Artemia urmiana* de l'Iran (Günther) et ils ont déduit que la survie de cette espèce est plus importante à des fortes salinités en comparaison avec les quatre espèces d'Artemia d'Egypte testées par El Bermawi et *al*., (2004). Des expériences effectuées au laboratoire sur des espèces d'Artemia ont montré que la marge optimale de la salinité se situe entre 60 et 150 psu (Browne et *al*., 1991 ; Triantaphyllidis et *al*., 1995 ; Baxevanis et *al*., 2004). Une autre étude effectuée par Triantaphyllidis et *al*., (1995) sur deux populations d'Artemia bisexuée (USA) et parthénogénétique (Chine) a montré qu'avec l'élévation de la salinité et après 23 jours d'élevage, la population provenant des USA a donné un taux de survie égal à 69,44% par contre il est de 14,54% chez la population de la Chine. Les études de Triantaphyllidis et *al.*, (1995) ont montré que l'espèce parthénogénétique a présenté un taux de survie relativement faible à une salinité de 35 psu (<50% après 23 jours d'élevage) , ce qui confirme les observations de Vanhaechke et *al*., (1984). Browne et Wanigasekera., (1991) ont étudié l'effet de la salinité sur la survie de quatre espèces d'Artemia parthénogénétiques. Les résultats obtenus par ces auteurs ont montré qu'il n'existe pas de relation linéaire entre la mortalité et l'augmentation de la salinité (mortalité égale à 47% ; 14% et 27% à des salinités respectives de 60 psu ; 120 psu et 180 psu). Triantaphyllidis et *al*., (1995) ont enregistré une salinité optimale chez des espèces d'Artemia parthenogenetica de la Chine (Tanggu) entre 60 et 100 psu par contre les espèces bisexuées de San Francisco (USA) sont euryhalines reflétant les résultats de Browne et Wanigasekera (1991). Mais à une salinité de 60 psu à 25°C ; Triantaphyllidis et *al*., (1995) ont noté un taux de survie égal à 70-80% chez la population de Sain Francisco tandis que les résultats de Browne et Wanigasekera (2000) ont montré un taux de survie égal à 16%. Vanahaechke et *al*., (1984) utilisant les mêmes conditions d'élevage avec une aération constante ont montré un grand taux de survie d'*A.sinica* et *A.salina* à 60 psu.

Concernant l'effet de l'oxygène dissous, peu d'informations sont disponibles dans la littérature. Varo et *al*., (1998) ont étudié l'effet de la tension d'oxygène sur le taux de consommation d'oxygène chez trois espèces d'Artemia autochtones d'Espagne (*A.salina* bisexuée d'Alicante (B); *A.parthenogenetica* tétraploïde de Tarragona (PT) et *A.parthenogenetica* diploide d'Alicante (PD)). Leurs résultats ont montré que toutes les espèces testées sont capables de maintenir un taux de consommation d'oxygène constant dans un intervalle large de tension d'oxygène. Cette capacité diminue avec l'augmentation de la température. Une augmentation de la température de 15 à 35°C a un effet significatif sur le taux de consommation d'oxygène chez les adultes des trois espèces étudiés. Cet effet est moins significatif chez les espèces (PT) qui ont donné un taux de consommation d'oxygène faible à toutes les températures sauf à 30°C. Les différences de consommation d'oxygène entre les espèces diploïdes (B et PD) et parthénogénétiques tétraploïdes sont attribuées aux différences génétiques entre les espèces d'Artemia (Abreu- Gorbois 1987). Les populations parthénogénétiques polyploïdes ont une meilleur adaptation et survie aux conditions extrêmes par rapport aux populations bisexuées diploïdes

(Lynch 1984 ; Metalli et *al*., 1972). Ceci confirme les résultats obtenus par Zhang et King (1993) qui ont trouvé une corrélation positive entre la ploïdie et la résistance au stress environnemental chez l'Artemia. La polyploïdie semble jouer un rôle de protection contre le stress provoqué par les conditions extrêmes (Zhang et King, 1993). En effet, les expériences effectuées au laboratoire traitant les populations d'Artemia ont montré un taux de survie important chez les populations d'Artemia polyploïdes par contre il est faible chez les populations d'Artemia diploïdes après une courte exposition aux chocs environnementaux (Zhang et Lefcort, 1991).

Conclusion

En conclusion de la présente étude, nous pouvons dire que la fourchette thermique optimale se situe entre 25 et 27°C, que la salinité optimale permettant l'élevage de l'Artemia est de 37 psu. Aussi, pour conduire un élevage d'Artemia au laboratoire, une oxygénation de l'ordre de 7 mg/l est recommandée. D'autres études pourraient être effectuées notamment sur la qualité d'aliment et sur l'effet de la lumière afin d'avoir une idée plus claire sur leurs effets.

BIBLIOGRAPHIE

Abatzopoulos, T.J., El- Bermawi N., Vasdekis C., Baxevanis A.D et Sorgeloos P., 2003.- Effect of salinity and temperature on reproductive and life span characteristics of clonal *Artemia* (International study on *Artemia*. LXVI). *Hydrobiologia*. 492, 191-199 p.

Abreu- Gorbois, F.A., 1987. - A review of the genetic of *Artemia*. *Artemia Research and its Applications*. Vol. 1. *Morphology, Genetics, Strain characterization, Toxicology*. Eds. Sorgeloos. P., D.A. Bengtson, W. Decleir, E. Jaspers. Universa Press,Wetteren, (Belgium), 61-99.

Abreu- Gorbois, F.A et Beardmore, J.A., 1982.- Genetic differentiation and speciation in the brine shrimp *Artemia*. In: C. Barigozzi and R. Alan. *Mechanisms of Speciation*. Liss New York, 345-376 p.

Aloui N., 2003. - Bio-écologie de l'Artémia : *Artemia tunisiana* (Branchiopodes, Anostracés) et optimisation des conditions de sa production en Tunisie. Thése de Doctorat d'Etat. Université de Tunis El Manar. Faculté des sciences de Tunis: 300 p.

Aloui,N., 2013. - Etude comparative de la valeur nutritionnelle des cysts de deux souches d'*Artemia* sur des larves de *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) en élevage: Performance de croissance et survie. *Crustaceana* 86.1,56-66 p.

Amarouayache, M., Derbel, F et Kara, M.H., 2009a. - Biological data on *Artemia salina* (Branchiopoda, Anostraca) from chott merrouane (northeast Algeria). *Crustacean*.82.8, 997-1005 p.

Amarouayache, M., Derbel, F et Kara, M.H., 2009b. - The parasitism of flamingolepis liguloides (Gervais, 1847) (Cestoda, Hymenolepididae) in *Artemia salina* (crustacea, Branchiopoda) in two saline lakes in Algeria. *Acta Parasitologica*.54.4,330-334 p.

Amarouayache, M., Derbel, F et Kara, M.H., 2010. - Caractéristiques écologiques et biologiques d'*Artemia sp*. de la sebkha Ez-zemoul, Algérie nord-est (Anostracé). *Rev.Ecol.terre vie*.65, 13-22 p.

Barata, C., 1994. - Caracterización ecológica de las poblaciones espaňolas de *Artemia*: Estrategias reprodutivas y competenica. Instituto de Acuicultura de Tone de la sal. Consejo superior de Invesigaciones cientificas. Castellón. Valencia, Spain.

Barata, C., Hontoria, F., Amat, F et Browne, R., 1996. - Competition between sexual and parthenogenetic *Artemia*: temperature and strain effects. *J.Exp.Mar.Biol.Ecol*.196, 313-328 p.

Barnabé, G., 1984. - Utlisation de plankton collecté pour l'élevage de masse de poisons marins. In: G.Barnabé et R. Billard. L'aquaculture du bar *et des sparidés*. INRA. Publ.Paris,185-207p.

Basbug, Y., 1999. - Some biological characteristics of *Artemia salina* (Linnaeus,1758) in Tuz lake. Turkish. *J. Zool*. 23.2, 617-624 p.

Basbug, Y et Demirkalp, F.Y., 1997. - A note on the brine shrimp *Artemia* in Tuz Lake (Turkey). *Hydrobiologia*. 353, 45-51 p.

Baxevanis, A.D., EI-Bermawi N., Abatzopoulos, T.J et Sorgeloos, P., 2004. - Salinity effects on maturation, reproductive and life span characteristics of four Egyptian *Artemia* populations (International Study on *Artemia*. LXVIII) *Hydrobiologia* .513,87-100 p.

Ben Naceur, H., Ben rejeb Jenhani, A et Romdhane, M.S., 2008. - Valorisation de l'*Artemia* (Crustacea ; Branchiopoda) de la saline de sahline (Sahel Tunisien). *Bull.Soc.zool.Fr*. 133.1-3,185-192 p.

Ben Naceur, H., Ben rejeb Jenhani, A et Romdhane, M.S., 2009. - Ecological survey of the brine shrimp *Artemia salina* from Sabkhet El Adhibet (South-east Tunisia). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom.* 89.6, 1109-1116 p.

Browne, R., 1988. - Ecological and genetic divergence of sexual and asexual brine shrimp

(Artemia) from the Mediterranean basin. *Nat.Geo. Res*. 4, 548–554 p.

Browne,R.A. et Bowen,S., 1991. - Taxonomy and population genetics of *Artemia*.. In: R.A. Browne, P.Sorgeloos and C.N.A. Trotman. *Artemia biology*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 9, 221-235 p.

Browne, R.A et Halanych, K.M., 1989. Competition between sexual and parthenogenetic *Artemia*: a re-evaluation (Branchiopoda, Anostraca). *Crustaceana*. 57, 57-71 p.

Browne, R.A., Davis, L.E et Sallee, S.E., 1988. - Effects of temperature and relative fitness of sexual and asexual brine shrimp *Artemia*. *J.Exp.Mar.Biol.Ecol*.124, 1-20 p.

Browne, R.A., Li, M., Wanigasekera,G., Simonek, S., Brownlee, D., Eiband,G et Cowan,J., 1991.- Ecological, physiological and genetic divergence of sexual and asexual (diploid and polyploiid) brine shrimp (*Artemia*). Vol1. *Advances in Ecology*. Ed. Menon, J. Council of Research Integration. Trivandrum, India, 41-52 p.

Browne, R.A., Moller, V., Forbes, V.E et Depledge, M.H., 2002. - Estimating genetic and environmental components of variance using sexual and clonal *Artemia*. *J.Exp.Mar.Biol, Ecol*. 267, 107-119 p.

Divanach, P et Kentouri, M., 1984. - Sur les possibilités de production de juvéniles de poissons marins par la filière extensive dans le Languedoc. Influence de l'époque et des conditions climatiques. In : G. Barnabe et R. Billard. L'aqua*culture du bar et des sparidés*. INRA. publ, Paris, 175-184 p.

EI-Bermawi, N., Athanasios, D., Baxevanis, A.D., Theodore, J., Abatzopoulos, T.J., Van Stappenl, G et Sorgeloos, P., 2004. - Salinity effects on survival, growth and morphometry of four Egyptian *Artemia* populations (International Study on *Artemia*. LXVII). *Hydrobiologia*. 523, 175-188 p.

Gatesoupe, F.J., Robin, J.H., Lemilinaire, C et Lebeuge, E., 1984. - Amélioration de valeur nutritive des filtreurs- proies par leur alimentation composée. In: G.Barnabe et R.Billard. L'aquaculture du *bar et des sparidés*. INRA. publ, Paris, 209-222 p.

Gauthier, H., 1928. – Recherches sur la faune des eaux continentales de l'Algérie et de la Tunisie. Alger: Imp. *Minerva.* 419p., 2pl. h. t., 1 carte dépl.

Girin, M et Person-le-Ruet, J., 1977. - L'élevage larvaire des poissons marins: chaines alimentaires et aliments composés. *Bull.Fr.Pisc*.264, 88-101 p.

Haddag, M., 1991. - Contribution à l'étude d'une souche d'Artemia (*Artemia tunisiana*) endémique aux eaux de la saline d'Arzew, Algérie. Thèse de magister en sciences biologiques, option: aquaculture. Institut des sciences de la mer et de l'aménagement de littoral (ISMAL), Alger, Algérie. 68 p.

Iizawa, M., 1984. - Corrélation entre la densité de proies et la quantité consommée par les larves du loup : Dicentrarchus labrax (L). In: G.Barnabe et R. Billard. L'aquaculture du *bar et des sparidés*. INRA. publ, Paris, 161-173 p.

Kara,M. H., Bengraïne, K.A., Derbel, F., Chaoui, L et Amarouayache, M., 2004. - Quality evaluation of new strain of *Artemia* from chott merrouane. *Aquaculture*. 235, 361-369 p.

Kestemont, P., Xueliang, X., Hamza, N., Maboudou, J et Imorou, T. I., 2007. - Effect of weaning age and diet on pikeperch larviculture. *Aquaculture*. 264, 197-204 p.

Liying, S., Qiang, Z., Jing, W., Hua, H., Sorgeloos, P et Gilbert,V., 2012. - Hight-temperature adapted *Artemia franciscana* (Kellogg, 1906) from Vietnam is a suitable strain for inoculation in temperature conditions of Bohai bay saltworks, China. *Crustaceana*. 85.14, 1709-1723 p.

Lynch, M., 1984. -Destabilizing hybridization, general-purpose genotypes and geographic parthenogenesis. *Q. Rev. Biol*.59, 257-290 p.

Mani-Ponset, L., Diaz, J.P., Schlumberger, O et Connes, R., 1994. - Development of yolk complex. Liver and anterior intestine in pike-perch larvae Stizostedion lucioperca (Percidae), according to the first diet during rearing. *Aquatic Living Resources*.7, 191-202 p.

Metalli, P et Ballardin, E., 1978. - Radiobiology of *Artemia*: radiation effects and ploidy. *Curr. Top. Rad. Res.Q*.2, 181-240 p.

Mhetli,M., 2001. Le sander *Stizostedion Lucioperca* (Linnaeus, 1758) (Téléostéen Percidae) poisson allochtone : étude biologique et essai d'optimisation des critères de l'élevage Thèse de Doctorat. Université de Tunis. Faculté des sciences de Tunis: 1-170 p.

Pedro, M.P., Bio, A., Hontoria, F., Almeida, Vet Vieira, N., 2013.- Portuguese native Artemia parthenogenetica and *Artemia franciscana* survival under different abiotic conditions. *J.Exp.Mar.Biol, Ecol.* 440, 81–89 p.

Persoone, G et Sorgeloos, P., 1980. - General aspects of ecology and biogeography of *Artemia*. vol.3. *The brine shrimp Artemia: ecology, cultring, use in aquaculture*. Eds. Persoone, G., P. Sorgeloos, O.A. Roels, E. Jaspers. Universa Press, Wetteren, (Belgium), 3-24.

Szkudlarek, M et Zakes, Z., 2007. - Effect of stocking density on survival and growth performance of pikeperch. *Sander Lucioperca* (L.), larvae under intensive culture conditions. *Aquaculture Research*.27, 841-845 p.

Schlumberger, O et Proteau, P., 1996. - Reproduction of pike-perch (*Stizostedion Lucioperca*) in captivity. *Journal of applied ichthyology*. 12, 149-152 p.

Sorgeloos,P., 1978. - The culture and use of brine shrimp *Artemia salina* as food for hatchery raised larval prawns. Shrimp and fish in south East Asia. *FAO report THA/75/008/78/WP3*, 1-50 p.

Sorgeloos,P., 1980. - The use of brine shrimp *Artemia* in aquaculture.Vol.3. *The brine shrimp Artemia: ecology, cultring, use in aquaculture*. Eds. Persoone, G., P. Sorgeloos, O.A. Roels, E. Jaspers (eds). Universa Press,Wetteren, (Belgium), 1-456.

Sorgeloos,P., 1981a. - Live animal food for larval rearing in aquaculture: the brine shrimp *Artemia*. (Review paper presented at the world conference *Artemia* cysts. *Aquaculture*, Venise Italy, 21-25 sept.1981).

Sorgeloos,P., 1981b. - Availability of reference *Artemia* cysts. *Aquaculture*. 23, 381-382 p.

Theodore, J.A., Athanasios, D.B., Triantaphyllidis, G.V., Criel, G., Pador, L.E., Van Stappen,G et Sorgeloos, P., 2006.- Quality evaluation of *Artemia urmiana* Gunther (Urmia Lake, Iran) with special emphasis on its particular cyst characteristics (International Study on *Artemia* LXIX). *Aquaculture*. 254, 442-454 p.

Triantaphyllidis, G., Poulopoulou, K., Abatzopoulos, T.J., Pérez, C.A.P. et Sorgeloos, P., 1995.- Salinity effect on survival, maturity, growth, biometrics, reproductive and lifespan characteristics of a bisexual and parthenogenetic population of *Artemia* (International study on *Artemia* XLIX). *Hydrobiologia*. 302, 215- 227 p.

Triantaphyllidis, G., Abatzopoulos, T et Sorgeloos,P., 1998. - Review of the biogeography of the genus *Artemia* (Crustacea ,Anostraca). *J.Biogeogr*.25 (2), 213-226 p.

Van Stappen, G., 2002. - Zoogeography. *Artemia*: basic and applied biology. In: T.J. Abatzopoulos, J.A. Beardmore, J.S. Clegg and P. Sorgeloos. Netherlands/Dordrecht: *Kluwer Academic publishing*. 171-215 p.

Varo, I., Taylor, A.C., Navarro, J.C et Amat, F., 1991. - Effects of temperature and oxygen tension on oxygen consumption rates of nauplii of different *Artemia* starins. *Mar. Ecol. Prog. Ser*. 76, 25-31 p.

Varo, I., Taylor, A.C et Amat, F., 1998. - The effects of temperature and oxygen tension (P_{O2}) on the oxygen consumption rates of adults of different *Artemia* starins. *Comparative Biochemistry and Physiology*. Part A 120, 385-390 p.

Varo, I., Taylor, A.C et Amat, F., 1993. - Comparative study of the effects of temperature, salinity and oxygen tension on the rates of oxygen consumption of nauplii of different strain of *Artemia*. *Mar. Biol.* 117, 623-628 p.

Vanhaecke, P., Siddall, S.E et Sorgeloos, P., 1984. - Combined effects of temperature and salinity on the survival of *Artemia* of various geographical origin. (International study on *Artemia*, XXXII). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 80, 259-275 p.

Wear, R.G., Haslett, S.J et Alexander, N.L., 1986. - Effect of temperature and salinity on the biology of *Artemia francicscana* (Kellogg) from lake Grassmere, New Zealand.*J. Exp. Mar. Biol. Ecol*. 98, 167-183 p.

Wear, R et Haslett, S., 1986. - Effects of temperature and salinity on the biology of *Artemia franciscana* (Kellogg) from Lake Grassmere, New Zealand. 1. Growth and mortality. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol*. 98, 153–166 p.

Williams, D.W., 2000. - Dryland lakes. Lakes and reservoirs: *Research and management*.5, 207-212 p.

Yasemin, B.S et Demirklap, F.Y., 2002. - Effects of temperature on survival and growth of *Artemia* from Tuz lake, Turkey. *The Israeli Journal of Aquaculture- Bamidgeh*. 54(3), 125-133 p.

Zakes, Z et Demska-Zakes, K., 1996. - Effects of diet on growth and reproductive development of juvenile pikeperch, *Stizostedion Lucioperca* (L), reared under intensive culture conditions. *Aquaculture Research*. 27.11, 841-845 p.

Zhang, L et King, C. E., 1993. - Life history divergence of symetric diploid and ploypoid populations of brine *Artemia parthenogenetica*. *Oecologia*. 93, 177-182 p.

Zhang, L et Lefcort, H., 1991. - The effects of ploidy level on the thermal distributions of brine shrimp *Artemia* parthenogenetic and its ecological implications. *Heredity*. 66, 445-452 p.

CULTURE DES SPORES DE *GRACILARIA GRACILIS* (STACKHOUSE) M. STEENTOFT, L.M. IRVINE ET W.F. FARNHAM, 2006 ET *G. BURSA-PASTORIS* (GMELIN) SILVA, 1952, DE LA LAGUNE DE BIZERTE

Rafik BEN SAID* et H. AOUINI
Institut National des Sciences et Technologies de la Mer
Rafik.bensaid@instm.rnrt.tn

ملخص

دراسة استزراع مخبرية للابواغ الثمرية والرباعية المتاتية من الطحلبين الأحمرين من جنس غراسيلاريا : تمت دراسة استزراع مخبرية للابواغ الثمرية والرباعية المتاتية من الطحلبين الأحمرين من جنس غراسيلاريا وهما غراسيلاريا غراسيليس وغراسيلاريا بورسا بستوريس والمتواجدين في بحيرة بنزرت. وقد تمت تجربة عدة مستويات من شدة الإضاءة والدورة الضوئية. وبينت النتائج المتحصل عليها أن دورة ضوئية تقدر ب16/8 مع شدة إضاءة تساوي 2000 لوكس تمثل أفضل الظروف لكلا الطحلبين بالنسبة للابواغ الثمرية. أما الأيواغ الرباعية فان أفضل النتائج تم التحصل عليها تحت نفس الدورة الضوئية ولكن تحت إضاءة تقدر ب 3600 لوكس بالنسبة للنوع الأول و2000 لوكس بالنسبة للنوع الثاني.وهذه النتائج تبرز أن كل نوع له حاجياته من ظروف الإضاءة رغم بعض التلاقي وهو ما يجب أخذه بعين الاعتبار في عمليات الاستزراع المستقبلة وعلى نطاق أوسع.

كلمات مفاتيح : استزراع-ابواغ ثمرية -ابواغ رباعية- غراسيلاريا غراسيليس- غراسيلاريا بورسا بستوريس

RESUME

Ce travail a porté sur la culture au laboratoire de carpospores et de tétraspores issues de deux algues rouges : *Gracilaria gracilis et G. bursa-pastoris* de la lagune de Bizerte. Différentes conditions d'intensité lumineuse et de photopériodes ont été testées. Les résultats ont montré que la meilleure croissance des carpospores a été enregistrée sous la photopériode de 8/16 et une intensité lumineuse de 2000 lux et ceci pour les deux espèces. Pour les tétraspores, l'optimum de croissance a eu lieu à la même photopériode mais à 3600Lux pour *Gracilaria gracilis* et 2000 Lux pour *G. bursa-pastoris.* Ces résultats montrent certaines convergences vis-à-vis de leurs exigences en lumière mais aussi certaines divergences dont on devrait en tenir compte dans le futur pour cultiver les deux espèces à une plus grande échelle.

Mots clés : Culture, carpospores, tétraspores ; *Gracilaria gracilis ; G. bursa-pastoris*

ABSTRACT

Spore cultivation of *Gracilaria gracilis* (Stackhouse) M. Steentoft, L.M. Irvine et W.F. Farnham, 2006 and *G. bursa-pastoris* (Gmelin) Silva, 1952, of Bizerte lagoon :This study has been carried out on the carpospores and tetraspores of the two seaweeds *Gracilaria gracilis* and *G. bursa-pastoris* collected in the Bizerte lagoon . Both types of spores were cultivated in laboratory conditions. Different irradiation levels and light / dark cycles were tested. The results showed that the highest growth of carpospores was recorded at 8:16 light/ dark cycle and 2000 Lux. While the best growth of tetraspores was obtained at 3600 Lux in *G. gracilis* and 2000 Lux in *G. bursa-pastoris*, the two at 8:16 photoperiod. These results showed some slight similarity of the two species but in the same time some differences in irradiance requirements. These differences are very important to take into account for the future cultures in a large scale.

***Keywords* :** culture ; carposores ; tetraspores; *Gracilaria gracilis ; G. bursa-pastoris*

INTRODUCTION

L'intérêt aux algues marines ne cesse de progresser de par le monde. Cet intérêt revêt plusieurs aspects, notamment la culture et l'extraction de produits à vocation alimentaire, pharmaceutique, médicinales, cosmétiques, etc... La culture des algues est une radition très ancienne dans plusieurs pays asiatiques tels que la Chine, le Japon, La Corée, etc…
(Pérez, 1997). Plusieurs espèces d'algues sont actuellement cultivées. Elles appartiennent aux trois grands groupes, à savoir les chlorophycées (algues vertes), les phéophycées (algues brunes) et les rhodophycées (algues rouges).Les cultures ont été effectuées chez certaines espèces par bouturage qui représente une technique assez facile à appliquer. Cependant chez d'autres espèces , la culture doit passer par les spores pour arriver à produire de grandes biomasses telles que chez *Undaria pinnatifida* et *Porhyra yesoenzis* (Péréz ,1997). Parmi les algues rouges agarophytes figure le genre *Gracilaria*. Plus de 150 espèces différentes appartenant à ce genre existent dans les mers du globe, mais quelques unes sont actuellement cultivées

à l'échelle mondiale (Padhi *et al*., 2011), en particulier *Gracilaria gracilis* (= v*errucosa*). La culture de cette espèce aussi bien à partir de boutures que de spores a été démontrée avec succès (Mantri *et al*., 2009). En Afrique, en particulier, *Gracilaria gracilis* a été cultivée également avec succès, notamment en Afrique du sud (Molloy & Bolton 1996; Robello *et al.*, 1996; Jaffray *et al..*, 1997). En Tunisie, des prospections ont été réalisées sur le littoral et ont montré que le Genre *Gracilaria* est représenté essentiellement par les deux espèces voisines *Gracilaria gracilis* et *Gracilaria bursa-pastoris* (Ksouri *et al.*, 1997) Ces deux espèces existent notamment dans le lac de Tunis et la lagune de Bizerte. Dans cette dernière lagune, elles sont présentes dans la frange littorale (-3 m) située entre Menzel Abderrahmane et Oued Guéniche (Ksouri & Ben Saïd, 1998). Dans ces zones, les deux espèces vivent souvent à l'état libre sur le fond, sur les biotopes photophiles peu profonds, dans des endroits calmes et même au niveau des côtes en associations avec d'autres espèces d'algues telles que les Ulves et autres espèces, appartenant aux zostères et aux cymodocées. Des essais de culture par bouturage ont été initiés dans la lagune de Bizerte **(**Ksouri *et al.*,1999) puis poursuivis par la suite, avec certains ajustements (Ksouri *et al.*, 2000 ;Mensi *et al.*, 2010).Les résultats de ces travaux ont montré qu'il est relativement facile de cultiver *Gracilaria* par bouturage. Cependant, afin de préserver les stocks naturels de *Gracilaria*, d'une part et augmenter les biomasses, d'autre part, il faudrait voir d'autres moyens pour aboutir à cet objectif. Dans ce cadre, des essais de sporulation de *Gracilaria gracilis* et *G. bursa-pastoris*, provenant de la lagune de Bizerte ont été réalisés afin de d'avoir des spores susceptibles d'être cultivées en conditions de laboratoire (Ben Said *et al.*,2011).Ce travail constitue donc une continuité des travaux antérieurs et vise la connaissance des conditions optimales de lumière, en particulier, pour la croissance des spores des deux espèces citées ci-dessus afin de les transférer ultérieurement soit en milieu naturel soit dans des bassins de grands volume, en conditions contrôlées. De telles étapes permettraient d'avoir de petites plantules voir des plantes adultes.

MATERIEL ET METHODES

Le matériel biologique utilisé correspond aux deux espèces voisines d'algues rouges : *Gracilaria gracilis* (Stachhouse ; Steetoft, Ivrine et Farnham, 2006) (= *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss, 1950) (Fig.1) et *G. bursa-pastoris* (Gmelin) Silva, 1952(Fig.2). Les échantillons ont été récoltés à pied dans la lagune de Bizerte, entre 0.5 et 1 m de profondeur en mars et avril 2010. Les algues ont été par la suite transportées au laboratoire (Tunis) où elles ont été bien nettoyées du sable et des épiphytes avant leur utilisation pour l'obtention des spores. Les algues ont été séparées en deux types : thalles carposporophytiques reconnaissables à leurs cystocarpes producteurs de carpospores et visibles à l'œil nu et thalles tétrasporophytiques reconnaissables à leurs tâches rougeâtres représentant les tétrasporocystes cruciés. Ces derniers produisent les tétraspores. Ils ont été observés à la loupe binoculaire de type Wildheerbrugg et au microscope photonique de marque Nikon, type 104.

METHODES

***Milieu de culture* :**

Le milieu de culture utilisé est le milieu SWM3 (Chen *et* Ren, 1983), mais modifié. Le choix de ce milieu a été fondé sur le fait qu'il a été utilisé auparavant avec succès (Lecacheux,1985 ; Ben Said,1986).Sa composition chimique est la suivante : nitrate de sodium : $NaNO_3$ (2mM)) ; Dihydrogénophosphate de sodium (NaH_2PO_4 (0.1 mM)) ; Acide éthylène diamine tétracétique de phosphate (disodique) (Na_2EDTA (30.0 µM)) ; Chlorure de fer ($Fecl_3$) (2µM) ; Tris-Hydroxyméthylaminométhane (500g) ; Eau de mer filtrée et stérile (1000ml).Le milieu de culture est stérilisé à l'autoclave avant utilisation. Son changement a été effectué une fois par semaine pour maintenir les spores en bon état de croissance.

Méthode de culture:

Les carpospores et les tétraspores de *Gracilaria gracilis* et *Gracilaria bursa-pastoris* sont préalablement collectées après fragmentation des thalles, sans distinction de la position initiale des cystocarpes ou des tétrasporocystes (parties apicales, ou intermédiaires ou basales). Cette opération a pour objectif seulement de faciliter l'émission des spores (Ben Said (1996a). Après avoir obtenu un nombre très élevé de carpospores et de tétraspores, ces dernières sont par la suite ensemencées dans des boîtes de Pétri contenant 15-20 ml de milieu de culture. L'inoculum varie entre 1000 et 2500 spores. Chaque boîte contient deux lames de verre qui servent de support pour les spores et facilitent ainsi ultérieurement leur étude et la mesure de leur diamètre de germination. Les cultures ont été réalisées dans une chambre climatisée où la température a varié entre 16 et 18 °C. Le Tableau I résume les conditions expérimentales citées.Le suivi de la croissance et le développement des spores a été réalisé d'une façon hebdomadaire, pendant six à sept semaines. Le nombre de spores dont le diamètre de germination est mesuré chaque semaine est généralement compris entre 30 et 40.

Figure 1 : Thalle de *Gracilaria gracilis (=verrucosa)*

Figure 2 : Thalle de G. *bursa-pastoris*

Tableau I : Conditions expérimentales de la culture des spores de *Gracilaria*

	Eclairement	
	Intensité lumineuse (Lux)	**Photopériode**
Gracilaria gracilis	I1 : 775 I2 : 2000 I3 : 3600	8/16 et 12/12
Gracilaria bursa-pastoris	I1 : 750 I2 : 1150 I3 : 2000	

Pour chaque condition de culture, quatre boites de Pétri ont été ensemencées.

Analyses statistiques

Les résultats ont été exprimés comme étant le diamètre moyen de germination des spores (µm) et la comparaison des moyennes a été réalisée par le test non paramétrique de Mann Whitney. Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS. Version 17.

RESULTATS

1. Gracilaria gracilis

Croissance des carpospores sous une photopériode de 8/16:

Intensité lumineuse de 775 Lux :

Les résultats présentés dans la Fig. 3 montrent que les carpospores de *Gracilaria gracilis*, ayant un diamètre initial d'environ 25µm, croissent d'une façon remarquable dès la première semaine jusqu'à la 5ème semaine, où la taille du diamètre de germination a atteint son maximum (134.37 ±7.50 µm). Pendant la 6ème semaine, les carpospores qui ont survécu présentent un diamètre de germination plus faible que l'optimum. Sous ces conditions, et pendant la croissance optimale de carpospores (5ème semaine), nous avons observé plusieurs spores qui ont émis des frondes (Fig.4).

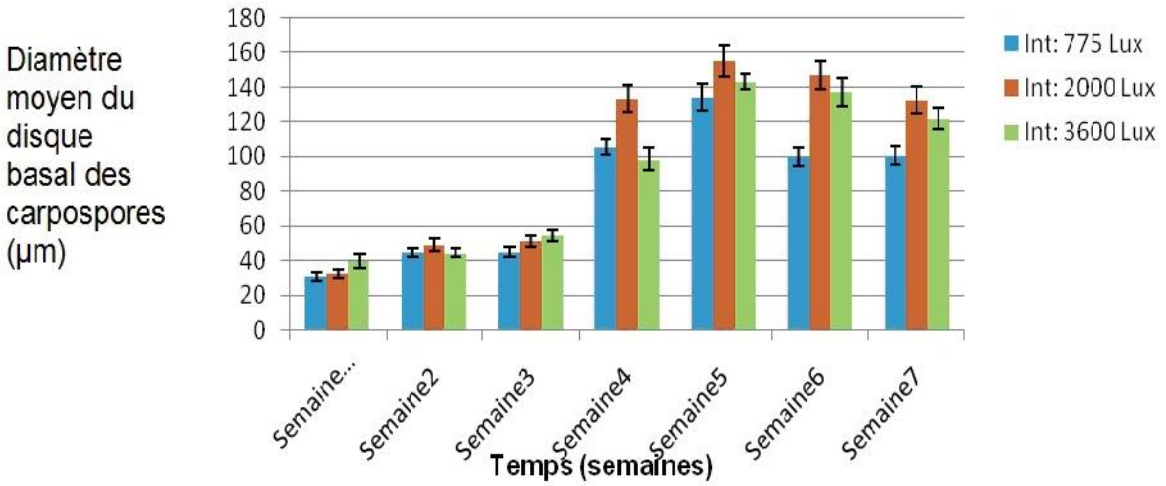


Figure 3: Evolution de la croissance des carpospores de *Gracilaria gracilis* en fonction du temps (photopériode 8/16, intensités lumineuses 775, 2000 et 3600 Lux)

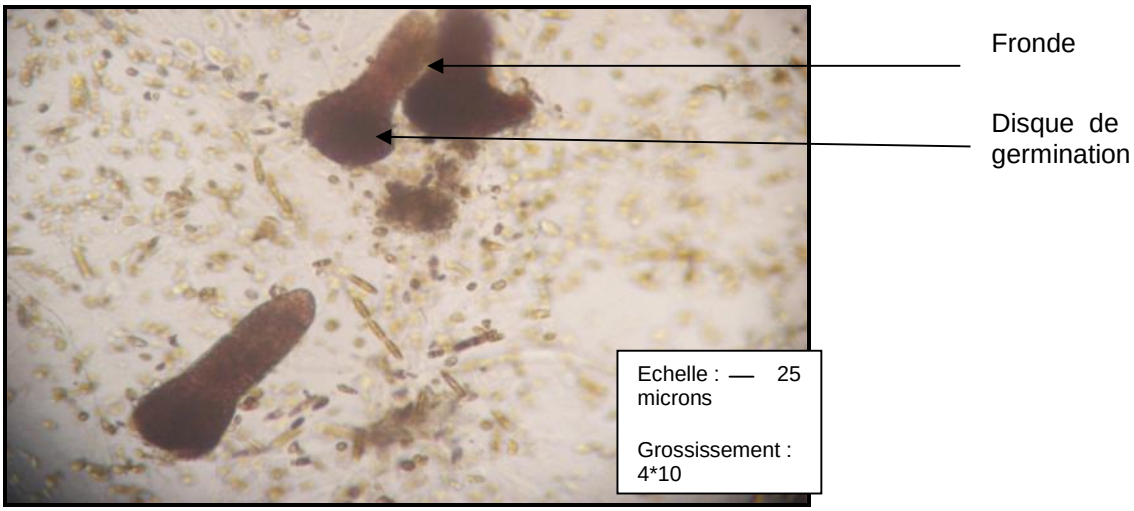


Figure 4 : Carpospores germées avec frondes (photopériode 8/16, intensité lumineuse 775Lux) (après 5 semaines)

Intensité lumineuse de 2000 Lux :
Sous cette intensité (2000 Lux), la croissance des carpospores ressemble à celle obtenue à 775 Lux pendant les trois premières semaines (Fig.3). Mais, à la 4ème semaine, nous avons remarqué que les disques germinatifs deviennent plus développés, et à la 5ème semaine le maximum de croissance est atteint (155.2 ±8.55 µm). De même on a noté une croissance développée des frondes (Fig.5).

Intensité lumineuse de 3600 Lux :
Sous cette intensité, les carpospores de *Gracilaria gracilis* augmentent plus rapidement pendant les trois premières semaines. Cependant, dès la 4ème semaine, il y a un certain ralentissement de la croissance, malgré sa progression (Fig.3). À la 5ème semaine, la croissance est maximale (143.45 ±4.4 µm). Pendant ce temps, on a également noté un développement des frondes.

Croissance des carpospores sous une photopériode de12/12:

Intensité lumineuse de 775 Lux :
Les résultats présentés dans la Fig.6 montrent une croissance progressive des carpospores dés la première semaine d'incubation jusqu'à la 5ème semaine, où la taille du diamètre a atteint son maximum (132.50 ±4.56. µm). Pendant ce laps de temps, on a remarqué que les disques germinatifs étaient bien développés. Mais, à partir de la 6ème semaine, les spores restées encore vivantes présentaient un diamètre germinatif moins important qu'auparavant. Par ailleurs, les frondes érigées n'ont pas été observées durant toute la période de culture.

Intensité lumineuse de 2000 Lux :
Les résultats enregistrés sur la Fig.6 montrent que la croissance des carpospores de *Gracilaria gracilis* est ralentie au cours des deux premières semaines. À la

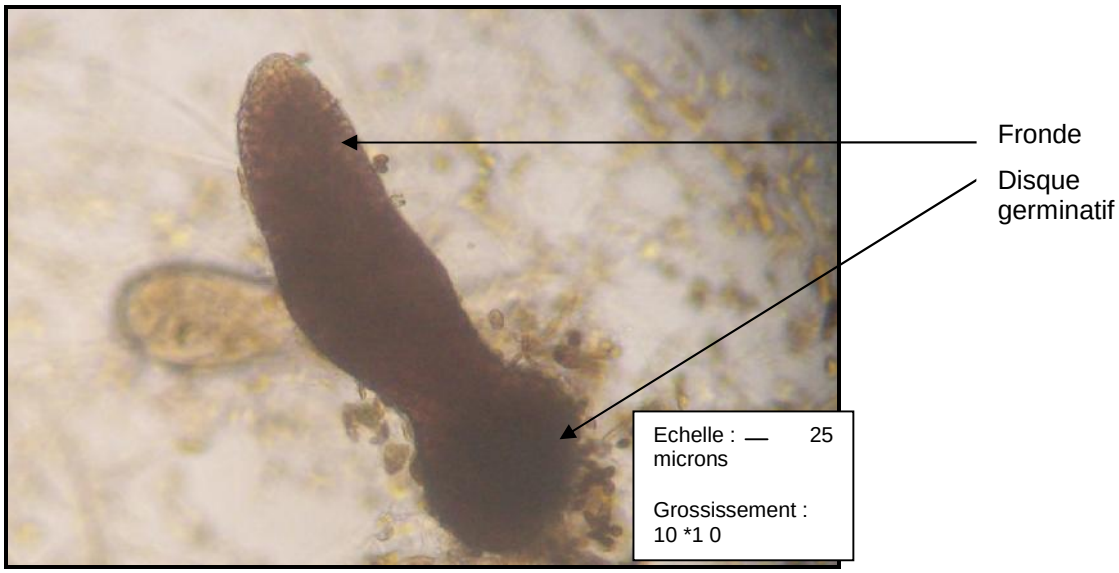


Figure 5 : Carpospores germées de *Gracilaria gracilis* (photopériode 8/16, intensité lumineuse 2000 Lux)

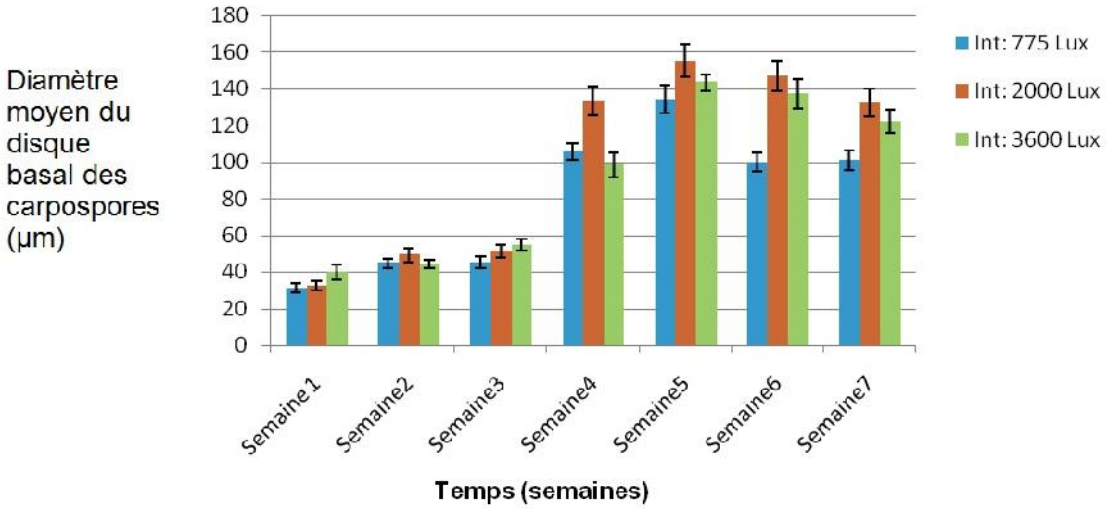


Figure 6 : Evolution de la croissance des carpospores de *Gracilaria gracilis* en fonction du temps (photopériode 12/12, intensités lumineuses 775, 2000 et 3600 Lux)

3ème semaine, il y a eu une croissance deux fois plus importante qu'auparavant. Puis, les carpospores ont atteint le maximum de leurs croissance au bout de la 4ème semaine (158.20 ±8.58 µm), ce qui va se stabiliser jusqu'à la fin de l'expérimentation. L'apparition des frondes a été observée depuis la 4ème semaine de culture.

Intensité lumineuse de 3600 Lux :

La Fig. 6 montre que la croissance des carpospores de *Gracilaria gracilis* est progressive dès la première semaine de culture jusqu'à la 5ème semaine, où elle est maximale avec un diamètre moyen de 141.25 ±3.50 µm. Il faut remarquer que le diamètre germinatif des carpospores a augmenté d'une façon rapide, notamment entre la troisième et la quatrième semaine. Cependant, il n'y a pas eu de développement très important entre la 4ème et la 5ème semaine. Puis, il y a eu diminution progressive du diamètre de germination. A partir de la 4ème semaine, il y a eu apparition des frondes dont la taille a augmenté au cours de la 5ème semaine. Au bout de la 6ème semaine, nous avons noté sous le microscope une régression du nombre de spores et de leur état général (une certaine nécrose et dégénérescence sur les contours du disque basal).

Croissance des tétraspores sous une photopériode de 8/16:

Intensité lumineuse de 775 Lux :

La Fig.7 montre que le diamètre de germination des tétraspores a augmenté progressivement pour atteindre approximativement le double de celui de la spore initialement émise par le thalle mère, au bout de

deux semaines. Au 21ème et au 28ème jour, la croissance était très rapide, puisque le diamètre moyen atteint en ce moment là est d'environ110µm. Au bout de la 5ème semaine, nous avons enregistré le maximum de croissance (138.80±3.54 µm), qui s'est stabilisé pendant la 6ème semaine. Ensuite, il y a eu chute de la croissance des tétraspores. L'apparition des frondes a été remarquée au bout de la 4ème semaine.

Intensité lumineuse de 2000 Lux :

Sous ces conditions lumineuses, la croissance des tétraspores ressemble à celle observée sous 775 Lux. Cependant, elle est légèrement supérieure pendant les 3 premières semaines (Fig.7). Entre la 4ème et la 6ème semaine, nous avons enregistré les valeurs maximales (120-130µm). Puis, il y a eu régression de la croissance au cours de la septième semaine.

Intensité lumineuse de 3600 Lux :

À forte intensité (3600 Lux), les tétraspores ont vu leur diamètre de germination croitre d'une façon sensible au bout de la deuxième semaine de culture, puis il s'est stabilisé pendant la 3ème semaine. Au bout de 28 jours, il y a eu croissance très rapide. Ensuite, il y a eu croissance relativement faible. Le maximum a été atteint pendant la 6ème semaine (150.15±8.58 µm). Les spores qui ont survécu pendant la 7ème semaine ont manifesté une chute remarquable de croissance. L'apparition des frondes dans ces conditions a été observée dès la 4ème semaine.

Culture des tétraspores sous une photopériode de 12/12:

Intensité lumineuse de 775 Lux :

Sous ces conditions, la croissance des tétraspores de *Gracilaria gracilis* a évolué positivement depuis la première semaine jusqu'à la 5ème semaine pour atteindre son maximum, soit 110.02±6.52 µm. Ensuite, il y a une légère diminution de la croissance (Fig.8). L'apparition des frondes a été observée au bout de la 5ème semaine.

Intensité lumineuse de 2000 Lux :

En observant la Fig.8, nous remarquons que les tétraspores se sont développées lentement au cours des deux premières semaines. Mais entre la 3ème et la 4ème semaine, le diamètre de germination a augmenté deux fois plus pour atteindre son maximum de croissance (125.18±8.86 µm) pendant la 5ème semaine, avec apparition des frondes. Ensuite, il y a eu une légère baisse de la croissance au cours de la 6ème semaine.

Intensité lumineuse de 3600 Lux :

En observant la Fig.8, nous pouvons dire que les tétraspores de *Gracilaria gracilis* cultivées sous ces conditions se comportent généralement comme celles soumises à une intensité lumineuse de 2000 Lux. Toutefois, le maximum (110.22±7.58 µm) atteint également pendant la 5ème semaine (avec apparition des frondes) est plus faible que le précédent et la croissance est restée stable au cours de la 5ème semaine.

2. *Gracilaria bursa-pastoris*:

Culture des carpospores sous une photopériode de 8/16:

Intensité lumineuse de 750 Lux :

Selon la Fig.9, il e existe une croissance remarquable des **carp**ospores dés la première semaine d'incubation jusqu'à la 5ème semaine, où la taille du diamètre a atteint son maximum (137.5±8.90 µm). Par ailleurs, nous avons remarqué à partir de la troisième semaine une concentration d'amas de spores avec des frondes bien développées.

Intensité lumineuse de 1150 Lux :

Selon la même Fig.9 , nous remarquons une croissance remarquable des carpospores dés la première semaine d'incubation jusqu'à la 5ème semaine, où la taille du diamètre a atteint son maximum (145.41±7.56 µm). Dans ce cas aussi, nous avons assisté à partir de la troisième semaine à une concentration d'amas de spores avec des frondes érigées.

Intensité lumineuse de 2000 Lux :

Sous cette intensité lumineuse, il y a eu une croissance remarquable des carpospores dés la première semaine. Cette évolution s'est poursuivie jusqu'à la 5ème semaine (Fig.9). Pendant ce temps là, la taille du diamètre a atteint son maximum (155.2±6.88 µm).

Culture des carpospores sous une photopériode de 12/12:

Intensité lumineuse de 750 Lux :

La croissance des carpospores de *Gracilaria bursa-pastoris* cultivées sous ces conditions montre qu'elle est relativement lente au cours des deux premières semaines (Fig.10). À la 3ème semaine, le diamètre de germination a augmenté approximativement 6 fois plus que celui initialement mesuré juste après la sporulation. Mais entre la 3ème et la 4ème semaine, la croissance est devenue plus ralentie et le maximum a été atteint au bout de la 5ème semaine, soit 122.50 ±5.63 µm. Ensuite, la croissance a diminué progressivement. Il faut signaler ici que les carpospores ont mis leurs frondes à partir de la 3ème semaine.

Intensité lumineuse de 1150 Lux :

La croissance des carpospores sous cette intensité lumineuse est similaire à celle observée à 775 Lux, cependant avec une légère amélioration des résultats au bout de la 5ème semaine. En effet, pendant ce temps là, la taille du diamètre a atteint son maximum (118.41 ±3.25 µm), puis il y a eu diminution progressive de la croissance (Fig. 10). Par ailleurs, l'apparition des frondes a été détectée dès la 3ème semaine de culture.

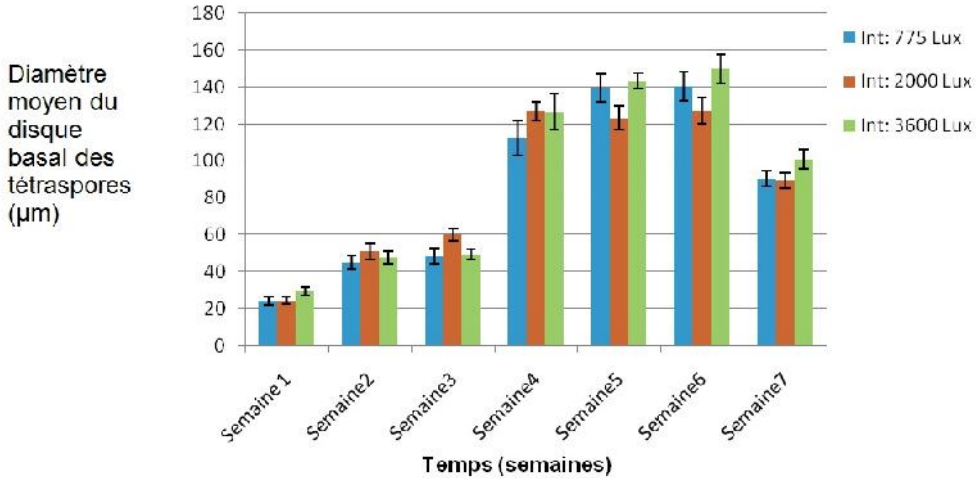


Figure 7 : Evolution de la croissance des tétraspores de *Gracilaria gracilis* en fonction du temps (photopériode 8/16, intensités lumineuses 775, 2000 et 3600 Lux)

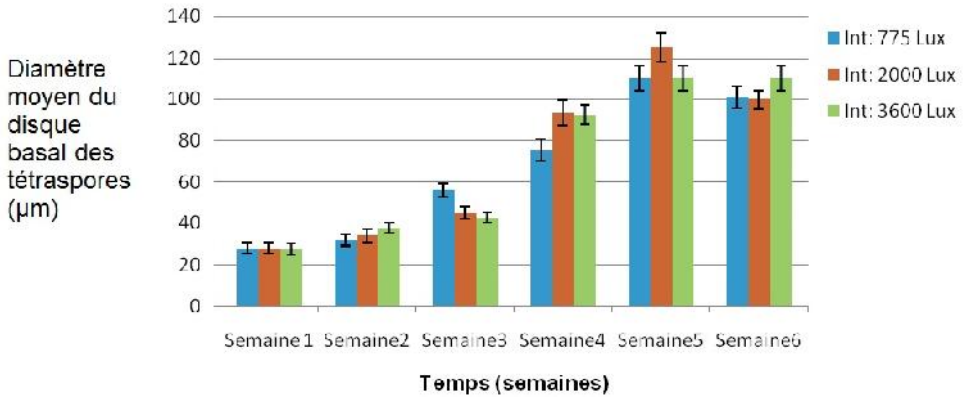


Figure 8 : Evolution de la croissance des tétraspores de *Gracilaria gracilis* en fonction du temps (photopériode 12/12, intensités lumineuses 775, 2000 et 3600 Lux)

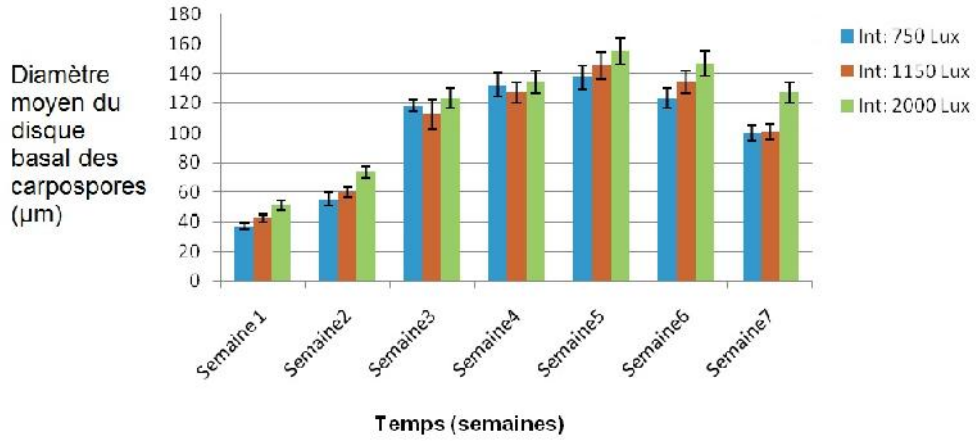


Figure 9 : Evolution de la croissance des carpospores de *Gracilaria bursa-pastoris* en fonction du temps (photopériode 8/16, intensités lumineuses 750, 1150 et 2000 Lux)

Intensité lumineuse de 2000 Lux :

Avec l'augmentation de l'intensité lumineuse (2000 Lux), le diamètre germinatif des carpospores s'est élargi davantage et d'une façon plus rapide pour atteindre son maximum (120.20±8.90 µm) au bout de la 5ème semaine. Vers la 6ème semaine, nous avons constaté une légère diminution de la croissance qui a continué de baisser vers la 7ème semaine (Fig.10).

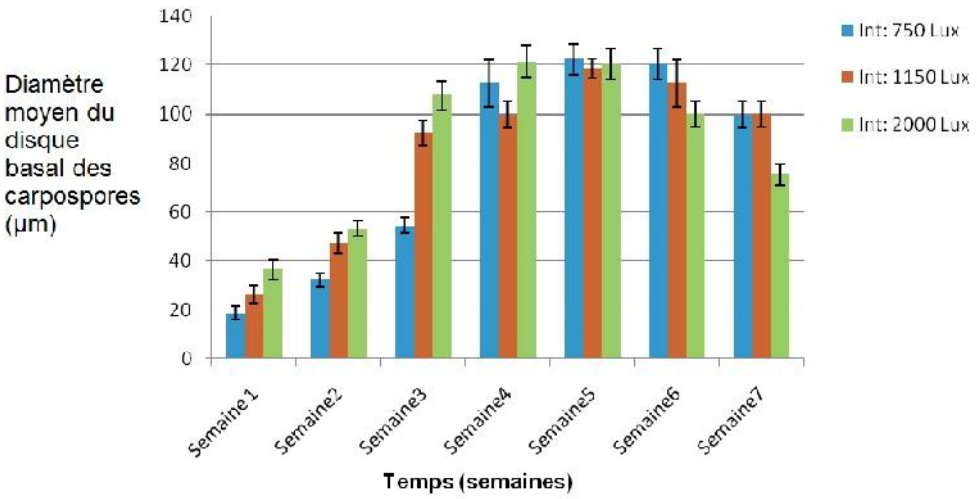


Figure 10 : Evolution de la croissance des carpospores de *Gracilaria bursa-pastoris* en fonction du temps (photopériode 12/12, intensités lumineuses 750, 1150 et 2000 Lux)

Sous ces conditions, nous avons également noté l'émission des frondes au bout de la 3ème semaine.

Culture des tétraspores sous une photopériode de 8/16:

Intensité lumineuse de 750 Lux :

Cultivées à 750 Lux, les tétraspores de *Gracilaria bursa-pastoris* ont augmenté de taille progressivement depuis le début de leur culture jusqu'à la 3ème semaine. Au bout de la 4ème, le diamètre germinatif a atteint son maximum (131.56±5.41 µm) à la fin de la 5ème semaine. Par la suite, il y a eu diminution de la croissance (Fig. 11). Sous ces conditions, l'apparition des frondes a été enregistrée au cours de la 4ème semaine.

Intensité lumineuse de 1150 Lux :

Sous cette intensité lumineuse, le diamètre moyen du disque germinatif des tétraspores de *Gracilaria bursa-pastoris* a atteint sa valeur maximale au bout de quatre semaines, soit 127.01±3.24 µm, puis il a régressé (Fig.11). L'optimum de croissance s'est accompagné également de l'apparition des frondes sur plusieurs tétraspores.

Intensité lumineuse de 2000 Lux :

Le diamètre des tétraspores cultivées sous cette photopériode (8/16) et cette intensité lumineuse (2000 Lux) a atteint presque le double au cours des deux premières semaines. Ensuite, il a manifesté le même comportement entre la 3ème et la 4ème semaine pour atteindre son maximum au bout de la 5ème semaine, soit 134.37± µm. Les tétraspores survécues ont régressé et le diamètre moyen a atteint en fin d'expérimentation environ 110± µm (Fig.11). L'apparition des frondes a eu lieu vers la 4ème semaine de culture.

Culture des tétraspores sous une photopériode de 12/12:

Intensité lumineuse de 750 Lux :

Les tétraspores cultivées sous ces conditions de lumière ont montré une croissance régulière dès le début de l'expérimentation pour atteindre leur maximum (110.22±4.58 µm) au bout de la 5ème semaine. Par la suite, le diamètre germinatif décroit lentement (Fig.12). L'apparition des premières frondes est notée pendant la 5ème semaine de culture.

Intensité lumineuse de 1150 Lux :

En augmentant l'intensité lumineuse, les tétraspores ont vu leur diamètre germinatif s'élargir de la même façon que précédemment pendant les trois premières semaines. Par contre, à la 4ème semaine, nous avons enregistré une croissance plus rapide. Au bout de la 5ème semaine, la croissance maximale a été obtenue, avec un diamètre moyen de 125.18±7.58µm(Fig.12). L'apparition des frondes a été notée depuis la 4ème semaine.

Intensité lumineuse de 2000 Lux :

En augmentant davantage l'intensité lumineuse, la croissance des tétraspores a été remarquable dès la première semaine de culture jusqu'à la 3ème. Puis la croissance s'est ralentie tout en évoluant positivement pour atteindre son maximum (125.18±7.76 µm) au bout de 5 semaines, à l'instar de celui obtenu sous 1150 Lux (Fig. 12).. Après avoir enregistré la croissance optimale, les spores restantes ont vu leur diamètre de germination diminuer lentement. L'apparition des frondes a été enregistrée au bout de la 5ème semaine.

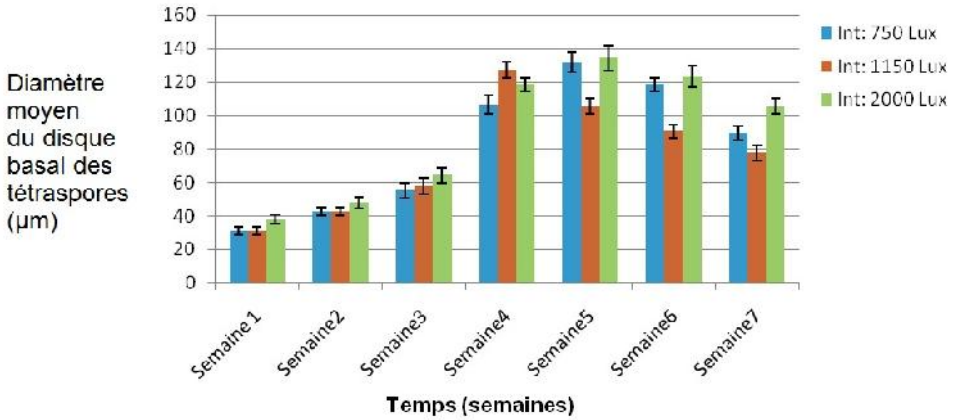


Figure 11 : Evolution de la croissance des tétraspores de *Gracilaria bursa-pastoris* en fonction du temps (photopériode 8/16, intensités lumineuses 750, 1150 et 2000 Lux)

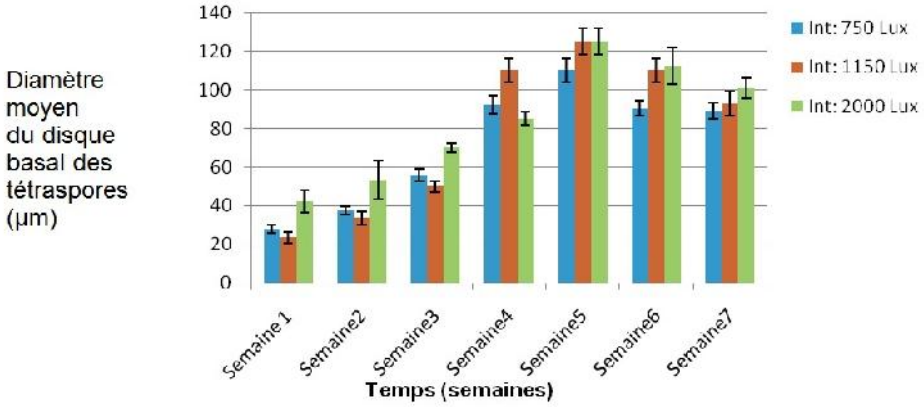


Figure 12 : Evolution de la croissance des tétraspores de *Gracilaria bursa-pastoris* en fonction du temps (photopériode 12/12, intensités lumineuses 750, 1150 et 2000 Lux)

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les résultats enregistrés sur la croissance des carpospores de *Gracilaria gracilis* et *Gracilaria bursa-pastoris*, montrent que les valeurs optimales ont été obtenues sous une photopériode de 8/16 avec une taille maximale du diamètre de 155.2± 8.96 µm, à une intensité lumineuse de 2000 Lux ; pour les deux espèces. En ce qui concerne les tétraspores issues de *Gracilaria gracilis*, la croissance optimale a été obtenue au cours de la 6ème semaine sous une photopériode de 8/16 et sous une intensité lumineuse de 3600 Lux, soit 150± 7.40 µm. Chez *Gracilaria bursa-pastoris*, les résultats obtenus des tétraspores montrent que la croissance est optimale à une photopériode de 8/16 et sous une intensité lumineuse de 2000 lux, soit 134.37±7.56 µm. Nos résultats se rapprochent de ceux de Bird *et al*.(1977) obtenus sur les spores de *Gracilaria* sp. Ces auteurs observent un développement optimal des spores cultivées à 20°C sous une photopériode de 12h de lumière et sous un éclairement compris entre 7.5 et 9 w/m^2 (#1500 et 1818 Lux), lorsque ces spores étaient cultivées au préalable à 25°C pendant 3 semaines sous 6 w/m^2 (#1204 Lux) pendant 12h par jour. Les intensités lumineuses qui s'approchent de la lumière du jour inhibent la croissance des spores. Ogata *et al*. (1972) obtiennent des plantes adultes à partir des spores de *Gracilaria* cultivées sous 5000 Lux avec une photopériode de 12/12. Nos résultats se rapprochent, également, de ceux de Ben Saïd (1996 b et Ben Saïd (1997) , qui a trouvé qu'à une température de 20°C, un éclairement de 12h, les carpospores et les tétraspores de *Gracilaria verrucosa* donnent une meilleure croissance sous une intensité lumineuse de 90 à 120 µE/m^2/s (#3863 à 5000 Lux). Par ailleurs, Kling (1978) a montré qu'une intensité lumineuse de 4090 Lux, avec une photopériode de 8 à 12h de lumière par jour, ont donné de meilleurs résultats de culture des thalles de *Gracilaria*, notamment durant la phase « nurserie » (prégrossissement), ainsi qu'au cours de la période de « grossissement » du moins pour un certain temps avant le passage en mer. La température et la lumière, en concomitance avec d'autres facteurs liés aux constituants de l'eau de mer, interagissent sur la spore et l'algue adulte pour

induire la croissance et par conséquent toutes les réactions de biosynthèse de différents métabolites primaires et secondaires. Ramlov *et al.* (2012), travaillant sur *Gracilaria domingensis* (Kützing) Sonder ex Dickie 1874 (collectée au Brésil) trouvent que cette espèce tolère bien une salinité de 25 à 60psu et développe mieux des disques germinatifs larges et des frondes érigées à la salinité de 30psu et une intensité lumineuse de 150 µmol photons $m^{-2}s^{-1}$(approximativement 11000 Lux).

En conclusion, les faits suivants peuvent être retenus : La lumière et la température agissent en synergie sur la spore en induisant simultanément l'élargissement du disque germinatif et l'initiation des frondes. C'est l'appareil pigmentaire des spores de *Gracilaria gracilis* et *Gracilaria bursa-pastoris* qui répond aux différents stimuli thermiques et lumineux indispensables au déroulement des différentes réactions métaboliques photosynthétiques. Une température de 16°C semble donner de bons résultats pour la croissance aussi bien des carpospores que des tétraspores. Par ailleurs, une photopériode optimale semble être de 8/16. Concernant les niveaux d'éclairement optimum, ils sont de l'ordre de 2000 Lux pour les carpospores des deux espèces d'algues. Le même niveau énergétique est idéal pour les tétraspores de *Gracilaria bursa-pastoris*. En revanche, un niveau supérieur est exigé pour les tétraspores de *Gracilaria gracilis* , soit 3600 Lux. Il en ressort que chaque type de spores chez les deux espèces étudiées a des exigences particulières en intensité lumineuse et en durée d'éclairement. Par conséquent, il faudrait en tenir compte dans le futur pour la culture des stades plus avancés de croissance des spores. Ces stades traduisent évidemment l'état juvénile de ces plantes marines, à savoir les gamétophytes et tétraspôrophytes. La maitrise de plusieurs facteurs de culture en conditions contrôlées de laboratoire.et par conséquent la réussite d'obtention de petites plantules viables, ouvre l'horizon à leur culture à une échelle pilote puis à grande échelle de ces deux espèces.

BIBLIOGRAPHIE

Ben Said R.1986.La rhodophycée agarophyte *Gracilaria verrucosa* (Hudson) papenfuss : action de la température et de la lumière sur la sporulation et la croissance des carpospores et des tétraspores. D.E.S.S. « Exploitation des ressources vivantes côtières ». Université de Caen. France.87p.

Ben Said R.1996 a. La rhodophycée agarophyte *Gracilaria verrucosa* . Etude de l'émission des carpospores et des tétraspores . *Revue de l'INAT. Vol.11N° 1*:127-136.

Ben Said R.1996 b. Effets de la température et de l'éclairement sur la croissance des tétraspores de la rhodophycée *Gracilaria verrucosa* . *Bull. INSTM*. 23 (1) :62-79.

Ben Said R.1997. Influence de la température et de l'éclairement sur la croissance des carpospores de rhodophycée *Gracilaria verrucosa* . *Revue de l'INAT*. 12 (1):77-92.

Ben Said R; Aouini H ; Romdhane M.S & M'rabet R. 2011. Etude de la sporulation de *Gracilaria gracilis* (Stachhouse ; Steetoft, L.M. Ivrine et Farnham) et *Gracilaria bursa-pastoris* (Gmelin) Silva) de la lagune de Bizerte (Tunisie). *Bull. INSTM*. Vol.38 :101-111.

Bird N; Mc Lachlan J & Grund D. 1977. Studies on *Gracilaria*.5. *In vitro* life history of *Gracilaria sp*. from the Maritime Provinces. Canadian Journal of Botany. Vol.55.n°10:1282-1290.

Chen, M. & Ren, G. 1983. Studies on the culture of sporelings of *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss. I. the process of germination of spores. 11 the Int. Seaweed Symp., Chine.

Jaffray AE; Anderson RJ & Coyne VE. 1997. Investigation of bacterial epiphytes of the agar-producing red seaweed *Gracilaria gracilis* (Stackhouse) Steentoft, Irvine et Farnham from Saldanha Bay, South Africa and Lûderitz, Namibia. *Bot Mar*. 40:569-576.

Kling R.1978. Recherches des conditions optimales de croissance de *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenfuss (Gigartinales, Gracilariacées). Thèse de 3ème cycle. Université des Sciences et Techniques de Lille.

Ksouri J ; Ben Saïd R. & Beji O. 1997. Evaluation des potentialités quantitatives naturelles des gracilaires (algues rouges) du lac nord de Tunis. *Bull. INSTM* .24 : 15-27.

Ksouri J & Ben Saïd R. 1998. Potentialités en macroalgues : cartographie et biomasse de l'agarophyte rhodophycée *Gracilaria verrucosa* dans le lac de Bizerte. *Bull. INSTM*. 25: 17-34.

Ksouri J ; Ben Saïd R. & Pellegrini M.1999**.** Résultats des cultures expérimentales de rhodophycée *Gracilaria verrucosa* dans le lac de Bizerte. Tunisie Septentrionale. *Bull. INSTM* Vol.26.113-125.

Ksouri J **;** Mensi F & Ben Saïd R. 2000. Ajustement de certains paramètres de culture par bouturage de *Gracilaria verrucosa* (algue rouge), dans le lac de Bizerte. *Bull. INSTM*. Vol.27.69-74.

Lecacheux E.1985. recherches preliminaire de la mise au point d'une technique culturale pour l'agarophyte *Gracilaria verrucosa*. Rapport du D.E.S.S." cultures marines".Univ. Caen. France.

Mantri VA, Takur MC, Kumar M. Reddy CRK & Jha B. 2009. The carpospore culture of industrially important red alga *Gracilaria dura*

(Gracilariales, Rhodophyta). *Aquaculture*. 297**:**85-90.

Mensi F, Ksouri J ; Hammami W & Romdhane MS. 2010. Choix du site de culture de l'algue rouge *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss dans la lagune de Bizerte : caractéristiques physico-chimique de l'eau. *Bull. INSTM*. 37:133-144

Molloy F J & Bolton J J. 1996. The effect of Season and Depth on the growth of *Gracilaria gracilis* at Lüdertitz, Namibia. *Bot Mar*.19:407-413

Ogata, E.; Matsui, T & Nakamura H. 1972. The life cycle of *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss (Rhodophiceae, Gigartinales) *in vitro*. *Phycologia*, 11(1): 75-80.

Padhi S; Swain P K; Behura SK; Baidya S; Behera SK & Panigrahy M R. 2011. Cultivation of *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenfuss in Chilika Lake for lifehood generation in coastal areas of Orissa State. *J. Appl Phycol*.23:151-155.

Pérez R.1997. Ces algues qui nous entourent. Conception actuelle, rôle dans la biosphère, utilisation, culture. IFREMER (France).272 p.

Ramlov F ; De Souza JMC ; Farias A ; Maraschin M; Horta PA &Yokoya NS .2012. Effects of temperature, salinity, irradiance and nutrients on the development of carposporelings and tetrasporophytes in *Gracilaria domingensis* (Kûtz.) Sonder *ex* Dickie (Rhodophyta, Gracilariales). *Bot Mar*.55:253-259

Robello J; Ohnon M; Critchley AT & Sawamura M.1996. Growth rates and agar quality of *Gracilaria gracilis* (Stackhouse) Steentoft from Namibia, Southern Africa. *Bot Mar*.39**:**273-279.

Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô, Vol. 41, 2014

ÉTAT DES CONNAISSANCES ET PERSPECTIVES DE RECHERCHES SUR LA CULTURE DE GRACILARIALES *(GRACILARIA ET GRACILARIOPSIS) :* APPLICATION À LA LAGUNE DE BIZERTE

Fethi MENSI[1*], J. KSOURI[1], W. HAMMAMI[1], et M.S. ROMDHANE[2]

[1] *Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, Laboratoire de biodiversité et biotechnologies marine, 29 Rue Géneral Kheireddine 2015 Le Kram, Tunisie.*
[2] *Institut National Agronomique de Tunisie, Unité de recherche Ecosystèmes et Ressources Aquatiques, 43 av. Charles Nicolle 1082 Tunis. Tunisie*
mensi.fethi@instm.rnrt.tn

ملخص

استزراع طحالب الغراسيلارياالوضع الراهن للمعلومات وآفاق البحث تطبيق لبحيرة بنزرت في شمال تونس : يمثل طحلب الغراسيلاريا المصدر الرئيسي لإنتاج الأغرة وهو مستعمل أيضا لاستخلاص جزيئات أخرى ذات حيوية فسيولوجية ولها نفع بيوتكنولوجي. وقد تميزت العشريتين الأخيرتين بتوسع مساحات الاستزراع وبارتفاع عدد المزارعين خاصة بآسيا وأمركا اللاتينية وإفريقيا.
بتونس، تعتبر الظروف البيئية ملائمة لتنمية هذا النشاط. لكن رغم أن النتائج الأولى المتحصل عليها على المستوى التجريبي ببحيرة بنزرت مشجعة، فانه يتوجب تدعيمها ببحوث تهم النواحي التقنية والاقتصادية حتى يتسنى بلوغ المرحلة الصناعية لهذا النشاط. نتعرض في هذا العرض للوضع الحالي للمعلومات التي تهم بيولوجيا هذا الطحلب والعوامل الفيزياكميائية المؤثرة في نموه. وقد أعرنا اهتمام خاص لمختلف نواحي الاستزراع كالتقنيات المستعملة والصعوبات ذات الصبغة البيولوجية التي يجابهها المزارع.

الكلمات المفاتيح : بحيرة بنزرت ، غراسيلاريا، استزراع،

RÉSUMÉ

Les Gracilaires constituent la principale source pour la production d'agar et sont aussi prisées pour l'extraction d'autres molécules physioactives d'intérêt biotechnologique. Les deux dernières décennies ont été marquées par une expansion des superficies de culture et par une augmentation du nombre des fermiers principalement en Asie, en Amérique latine et en Afrique. En Tunisie, les conditions environnementales sont favorables pour le développement de cette activité. Les premiers résultats obtenus à l'échelle expérimentale dans la lagune de Bizerte sont encourageants mais gagneraient à être appuyés par des investigations technico-économiques à même de permettre un développement industriel de cette activité. Dans cette revue, nous abordons l'état des connaissances concernant la biologie de l'espèce et les paramètres physicochimiques affectant sa croissance. Un intérêt particulier est accordé aux différents aspects relatifs à la culture de l'espèce, notamment les modes de culture, l'épiphytisme et la faune associée.

Mots clés : Lagune de Bizerte, ***Gracilaria***, culture, croissance, épiphytisme, faune associée

ABSTRACT

State of knowledge and prospects for research on Gracilariales (*Gracilaria verrucosa*) culture: Application to the Bizerte lagoon in North of Tunisia. Gracilaires constitute the main source for agar production and are also use for the extraction of other physioactives molecules of biotechnological interest. The two last decades were marked by an expansion of the surfaces of culture and by an increase in the number of the farmers mainly in Asia, Latin America and Africa. In Tunisia, the environmental conditions are favorable for the development of this activity. The first results obtained on an experimental scale in the lagoon of Bizerte are encouraging but have to be supported by technico-economic investigations to allow an industrial development of this activity. In this review, we approach the state of knowledge concerning the biology of the species and the physico-chemical parameters affecting its growth. An interest is granted to the various aspects relating to the culture of the species, in particular the modes of culture, the epiphytism and associated and faunal

Keys worlds: Bizerte lagoon, *Gracilaria*, culture, growth, epiphytism, associated fauna

INTRODUCTION

Le genre *Gracilaria* est employé essentiellement pour la production d'agar-agar mais aussi dans l'alimentation humaine et dans des applications pharmaceutiques. La production mondiale des algues utilisées pour la production de l'agar est passée de 48000 tonnes (poids sec) en 1991 (*Gracilaria* 53 % et *Gelidium* 44 %) à 55650 tonnes en 2001 (Gracilaria 66 % et Gelidium 33 %). Quant à la production de l'agar, elle est passée de 6680 t en 1986 à 7650 t en 2001 (McHugh, 2003). Étant donné que Gelidium n'est pas cultivable et que les peuplements naturels de *Gelidium* et de *Gracilaria* sont en nette régression, seule la culture de *Gracilaria* pourrait satisfaire la demande croissante en ces ressources. La situation de déséquilibre entre l'offre et la demande a occasionné le développement de différentes techniques de culture dans le souci d'améliorer les rendements et a incité le recours à de nouvelles zones dans les pays où la culture est déjà pratiquée et l'introduction de cette activité dans d'autres pays ayant des potentialités pour son démarrage. La Tunisie fait partie de cette dernière catégorie de pays; ainsi, depuis une dizaine d'années, la culture a été entamée dans le milieu lagunaire (Ksouri et Ben Said, 1998; Ksouri *et al.,* 1999, 2000 et 2006) L'approfondissement des connaissances sur les aspects notamment de sa reproduction en milieu contrôlé et l'identification de nouveaux sites de culture sont des préalables indispensables au développement d'une telle activité.

Dans cette revue, nous évoquerons pour le genre *Gracilaria* et Gracilariopsis des caractéristiques qui sont particulièrement importantes pour sa production commerciale et concernent essentiellement les aspects écophysiologiques. Puis, nous passerons en revue les systèmes de culture de ces espèces. Nous n'avons pas inclus dans cette revue les cultures réalisées à partir des spores et qui ne sont pas encore abordées en Tunisie. Le travail actuel ne prévoit pas de reproduire ou remplacer les travaux antérieurs sur cette espèce, mais nous essayons de faire une mise à jour des états de connaissances concernant la culture de cette espèce.

BIOLOGIE DE *GRACILARIA VERRUCOSA*

Le genre *Gracilaria,* largement distribué autour du monde mais dont les peuplements importants sont plutôt situés dans les aires tempérées froides, regroupe plus que 100 espèces. Six espèces (*armata, bursa-pastoris, arcuata, cervicornis, corallicola et verrucosa*) ont été signalées par Ben Maiz (1993) en Tunisie dans plusieurs sites sur tout le littoral tunisien ; mais, les lagunes côtières constituent les lieux de prédilection à leur développement. Là, elles forment de véritables peuplements (Ksouri *et al., 1999*) et sont représentées essentiellement par *Gracilaria bursa-pastoris* et *Gracilaria verrucosa*. Au niveau de lagune de Bizerte, ces deux espèces sont présentes principalement dans la partie Nord – Est sous forme d'une bande (figure 1).

La description taxonomique de l'espèce *Gracilaria verrucosa* est détaillée dans les travaux d'Abbott (1983). Au cours de ces dernières années, des techniques moléculaires ont été développées pour l'identification des espèces marines d'intérêt économique. Ces techniques ont été testées avec succès pour l'identification de différents espèces d'algues rouges (Goff *et al., 1994*; Mizukami, *et al., 1999*; Antoine et Fleurence, 2003) et la distinction entre *Gracilaria verrucosa et Gracilariopsis* sp. de la lagune de Bizerte (Joubert *et al., 2009*). La classification taxonomique de l'espèce *Gracilaria verrucosa* est indiquée dans le tableau I :

Tableau I. Classification taxonomique de l'espèce

Phylum : Rhodophyta
Classe : Florideophycae
Ordre : Gracilariales
Famille : Gracilariacae
Genre : *Gracilaria et Gracilariopsis*
Espèce : *gracilis*

Cycle de vie et reproduction

Le cycle de vie de *Gracilaria verrucosa* se compose des trois phases (Figure 2) ; carposporophyte (2n), tétrasporophyte (2n) et gamétophyte (n). Après méiose, le tétrasporophyte (2n), libère des tétrasporopores (n) qui se fixent et se développent en gamétophytes (n) mâles ou femelles. Le zygote (2n), produit de la fécondation des gamètes, donne, par mitose via les carposporophytes (2n), un grand nombre de carpospores (2n) qui reformeront des tétrasporophytes (2n). L'importance d'une phase par rapport aux autres est en relation directe avec les conditions du milieu où vit l'espèce (Perez et al., 1997). Dans les

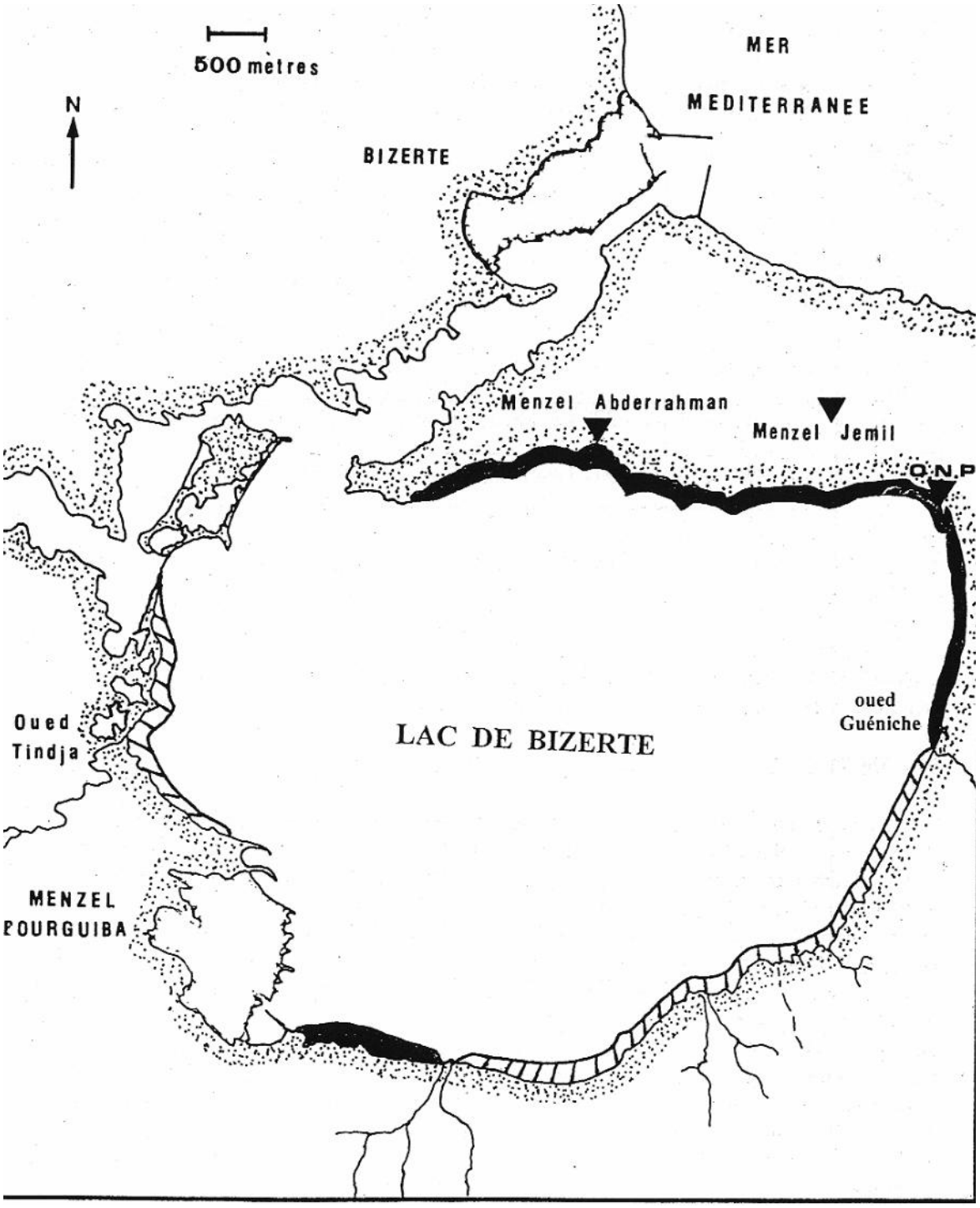


Figure 1 : Prospection des peuplements de *Gracilaria* (bande en noir) sur les bordures du lac de Bizerte entre Juinet Juillet 1997 (D'après Ksouri et Ben Said, 1998)

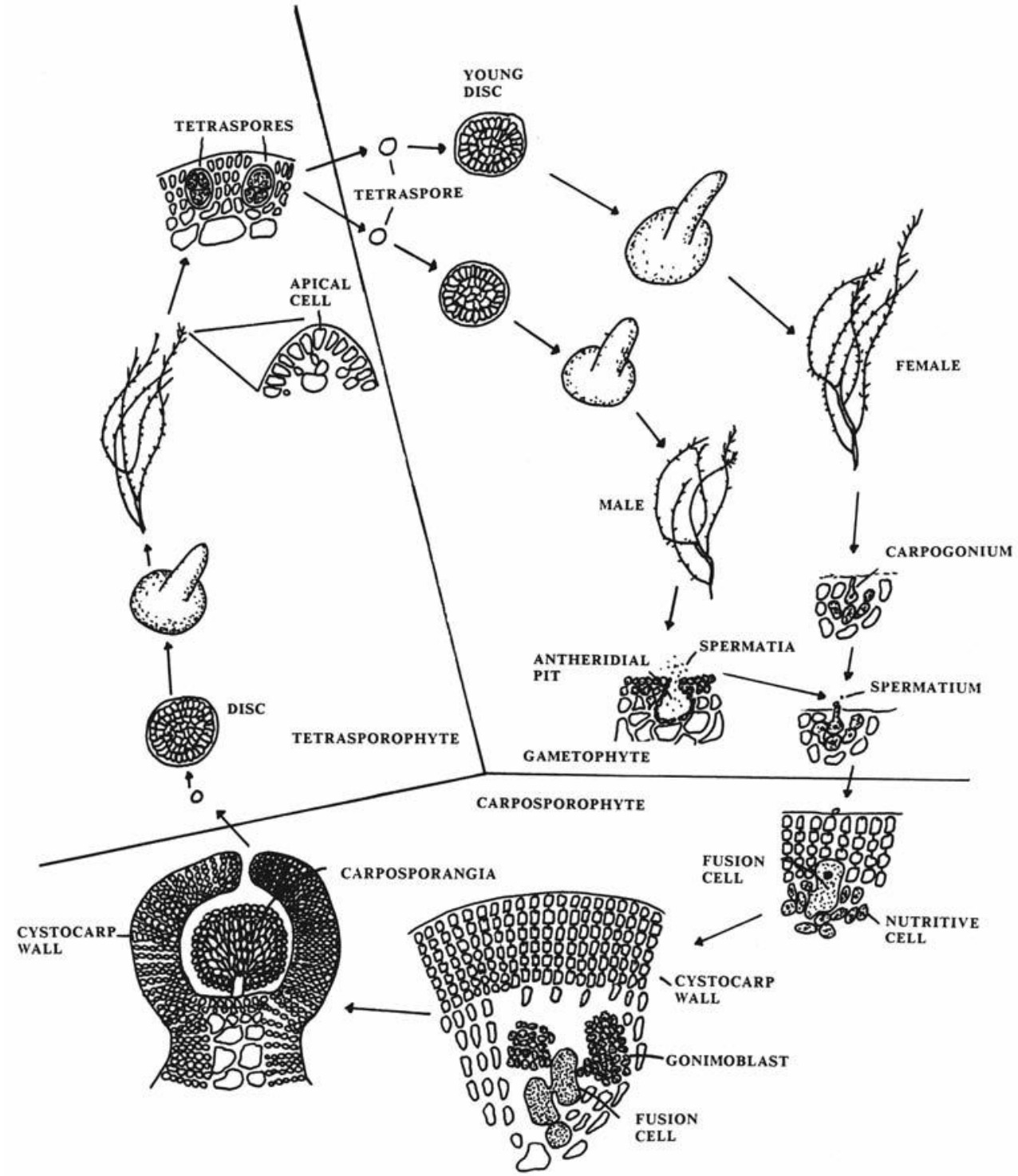


Figure 2 : Cycle de vie du *Gracilaria verrucosa* (D'après Ogata *et al.,* 1972.)

populations naturelles, les thalles femelles sont reconnaissables sans l'aide d'un microscope car ils sont porteurs de protubérances (cytstocarpes) hémisphériques aisément visibles à l'oeil nu.
Les frondes stériles grandissent indéfiniment et se propagent naturellement par multiplication végétative, technique largement utilisée actuellement pour la culture des *Gracilaria* à travers le monde.
Dans la lagune de Bizerte, Ben Said et Ksouri,(1999) ont montré que c'est au cours des mois de septembre et octobre que le pourcentage des touffes avec cystocarpes est le plus élevé.
La formation du cystocarpe, l'émission des carpospores, la germination et le développement des plantules a été décrite par Perez et al., (1997). La culture de *Gracilaria verrucosa* par la technique de bouturage est très répandue ; cependant, la maîtrise de la sporulation en conditions contrôlées fournirait une grande facilité de manipulation de l'algue.

Ecophysiologie

La croissance des algues dépend de la quantité et de la qualité de la lumière disponible pour la photosynthèse. La lumière est soumise en termes d'intensité et de spectre à des changements momentanés, diurnes et saisonniers (Talarico et Maranzana, 2000). L'intensité lumineuse reçue à la surface de l'eau est atténuée exponentiellement avec la profondeur selon la loi de Bière-Lamber ($Iz = I_0 \cdot e^{-Kd \cdot Z}$) et est associée aux phénomènes d'absorption et de diffusion liés aux substances optiquement actives présentes dans le milieu. Ce sont principalement les phytoplanctons, la matière organique dissoute, les particules en suspensions et l'eau elle-même (Loiselle *et al.*, 2008). En effet, la variation de l'un de ces composants affectera la pénétration de la lumière. Les lagunes peu profonds, comme c'est le cas du lac de Bizerte, sont très susceptibles à la re-suspension du sédiment dans l'eau (Hellström, 1991; Bengtsson et Hellström, 1992; Søndergaard *et al.*, 1992), ce qui entraîne l'augmentation du taux de particules en suspension et par conséquent le coefficient d'atténuation de la lumière dans l'eau.
La lagune de Bizerte est dominée par un vent Nord-ouest sur une longue période de l'année (200 jours). Ces vents sont généralement forts (6 à 8m/s). Les vents d'une vitesse inférieure à 1 m/s ne soufflant en moyenne que pendant 58 jours par an, les journées calmes sont rares (Mansouri, 1996). L'étude préliminaire de quelques propriétés physico-chimiques des sédiments de la lagune montre que la frange littorale de la lagune est généralement sableuse. En s'éloignant des côtes de la lagune, les sédiments prennent une texture limoneuse à argilo-limoneuse; les deux parties centrale et ouest de la lagune ont une texture plus lourde caractérisée par un pourcentage d'argiles sodiques (Helmi *et al.,* 2002). Eu égard à la faible profondeur moyenne de la lagune (7 m), à la nature des vents dominants et à la sédimentologie, il y a un brassage continu de la colonne d'eau, suivi d'une forte quantité de matières en suspension. De même, la lagune de Bizerte est servie par plusieurs oueds (Tinja, Mrezig, Garek, Ben Hassine et Gueniche) qui la nourrissent d'eau douce et d'une grande quantité de matériel argileux. Les matériaux argileux mis en suspension, augmentent la turbidité de l'eau de la lagune sur une grande partie de l'année.
Selon Middelboe et Markager (1997), si la profondeur maximale de colonisation pour une espèce est due exclusivement à la disponibilité de la lumière et si nous admettons que le pourcentage de la lumière de surface (% SI) à Zc (profondeur de colonisation) ainsi qu'à Zs (profondeur mesuré à l'aide de disque de Secchi) est constant, nous avons si nous restons dans la même latitude, une relation linéaire entre la profondeur de colonisation et la transparence de l'eau. Cette relation est la suivante : $Zc = w*Zs$ avec $w= \ln(Ic/Io)/ \ln(Is/Io)$, avec I_0, Is et Ic correspondant aux intensités lumineuses juste au dessous de la surface de l'eau, au niveau de la profondeur de secchi et au profondeur du maximum de colonisation, respectivement. Dans le cas de la lagune de Bizerte, Zs est comprise entre 1.5 et 4 m ; ceci donne une profondeur de colonisation de *Gracilaria verrucosa* bien supérieure à des profondeurs de 3 m.
L'espèce *Gracilaria verrucosa* supporte de très fortes intensités lumineuses allant jusqu'à 1000 µmol m^{-2} s^{-1}. A cette intensité, les frondes se décolorent et la croissance s'arrête. Selon Ksouri *et al.,* (1999), dans la lagune de Bizerte et à des profondeurs inférieures à 3 m, la croissance de *Gracilaria verrucosa* s'arrête fin mai sous l'effet d'un ensoleillement trôp fort. De même, cette espèce supporte de très faibles intensités lumineuses allant jusqu'à 80 µmol m^{-2} s^{-1}. La durée de vie des thalles dépend des valeurs extrêmes de l'intensité

lumineuse et de l'adaptation de l'algue aux conditions de stress lumineux. Selon Talarico et Maranzana (2000), les études paraissent suggérer que les algues rouges développent des mécanismes d'adaptation à la quantité et la qualité de la lumière. En plus de la qualité de la lumière, la modulation des rapports entre les composants spectraux paraît jouer le rôle de régulateur du métabolisme et la croissance des algues rouges. Dans ces conditions, ces algues développent des stratégies et des mécanismes d'adaptation à échelle individuelle, cellulaires (adaptation à court terme) et moléculaire (adaptation à long terme). Les adaptations à échelle individuelle impliquent des changements dans l'anatomie du thalle et des parois cellulaires ainsi que des différences dans la morphologie des chloroplastes et de l'organisation du thylacoïde. A échelle moléculaire, il y a modification dans la pigmentation et dans la composition de la membrane photosynthétique.

Les taux de croissance des végétaux marins, largement influencés par les saisons, accusent une augmentation pendant le printemps et l'été, et une chute pendant l'automne et l'hiver (Li *et al.,* 1984 ; Thom, 1990; Marinho-sorino *et al.,* 2006). Chez les algues rouges, les modèles de croissance sont réglés par l'insolation, la salinité et la température ou par une interaction entre ces différents facteurs (Friedlander et al.1990 ; Marinho-sorino *et al.,* 2006) ; l'irradiance, la température et la salinité étant reliées, il est difficile de séparer leurs effets.

De nombreux chercheurs considèrent la température comme un facteur fondamental de contrôle de la croissance saisonnière. En effet, chez *Gracilaria conferta*, le changement d'une unité de température occasionne une augmentation de la croissance deux fois supérieur à celui de la lumière (Friedlander et *al.,* 1990). Pour des cultures de *Gracilaria verrucosa* dans des bacs, une corrélation entre la température de l'eau et la croissance a été signalée (Silkin et Mironova 2007). En effet, la croissance augmente avec l'élévation de la température, qui passe de 15 °C au mois de mars à 26 °C au mois de juillet. Pour les températures qui dépassent les 30 °C, la croissance chute. La notion de saisonnalité disparaît, chez les espèces tropicales comme c'est le cas pour *Gracilaria cornea* (Feile-Pelegrin et Robledo, 1997).
Il est à noter qu'il y a une interaction entre la salinité et la température pour la croissance de *Gracilaria verrucosa*. Une croissance optimale est obtenue pour une température comprise entre 20 et 30 °C et une salinité comprise entre 25 et 30‰. Avec des températures se situant entre 25 et 30 °C et une salinité inférieure 25 ‰ il y a une chute de la croissance (Bird,1988 ; Choi *et al.,* 2006). Selon Daugherty et Bird (1988), transférer des plantes de *Gracilaria verrucosa* de 17 à 33‰ a entraîné une augmentation dans la production. De même, les valeurs élevées de salinité affectent la croissance de *Gracilaria* sp. Selon Marinho-soriano *et al.,* (2006), dans un milieu lagunaire (côtes Brésilienne) caractérisé par des températures optimales de croissance de *Gracilaria* sp. (26 – 29°C) et des valeurs de salinités élevées (34 et 38 %), les valeurs de la biomasse de *Gracilaria* sont faibles comparées à celles d'autres pays où la salinité est optimale pour la croissance de cette espèce (Anderson *et al.,* 1996; Anderson *et al.,* 1999). Les faibles salinités affectent la prolifération latérale (Boraso de Zaixso, 1987) ; La diminution des ramifications latérales implique une richesse du thalle en polysaccharides pariétaux. Ceci est en concordance avec les observations de Bird (1988) qui indique que les faibles salinités entraînent un rendement d'agar plus élevé avec une force de gel plus faible. La force de gel est liée à la richesse de l'algue en rameaux jeunes : plus ces rameaux sont abondants plus la force de gel est grande. Selon Cote et Hanisak (1986), dans les jeunes rameaux, l'agar est riche en 3.6 anhydrogalactose (3.6 AG) et pauvre en esters sulfates (Forte force de gel). Avec l'âge, il y a modification vers un agar riche en groupements méthyles et autres composants (faible force de gel). La diminution du nombre de rameaux affecte aussi la richesse de l'algue en pigments photosynthétiques comme la R-phycoérythrine.
Dans une perspective d'aquaculture de *Gracilaria*, il paraît que l'emplacement du site est déterminant. Les sites dont les variations de température sont modérées (22-32 °C) avec une entrée d'eau douce modérée ou des salinités océaniques constantes devraient être idéale. Dans la lagune de Bizerte, l'amplitude des fluctuations de la température et de la salinité très prononcée entre les saisons et les années explique les fortes variations de croissance des algues. Selon Mansouri (1996), durant la période pluvieuse, les précipitations provoquent une chute de la salinité jusqu'à des valeurs inférieures à 28 ‰. Par contre, pendant la saison estivale, les eaux du lac ont une

salinité tout à fait similaire à celle de l'eau de mer (38‰) pouvant atteindre des valeurs extrêmes de 41 ‰ (Oueryemi, 2003). En examinant les courbes d'évolution de la température et de la salinité, il paraît que dans la lagune de Bizerte, la période correspondant aux conditions optimales de croissance de *Gracilaria verrucosa* est très courte et ne dépasse pas deux mois (mars-avril).

L'azote est considéré comme l'élément nutritif le plus limitant pour la croissance des algues dans les écosystèmes naturels (Hanisak, 1990). Les concentrations des différentes formes d'azote varient considérablement dans l'espace et le temps. Les macroalgues ont des mécanismes physiologiques pour acquérir, utiliser et stocker plusieurs formes d'azote de l'environnement. Ces mécanismes physiologiques seraient variables en fonction de l'espèce.
Selon Hanisak (1990), il y a des différences dans la capacité des macroalgues à utiliser les sources d'azote inorganique (nitrates, nitrites, ammonium) et organique (forme d'urée). Dans les conditions naturelles, les deux principales formes d'azote habituellement utilisées par les algues rouges sont le nitrate et l'ammonium, avec une meilleure assimilation de l'ammonium dans certains cas (D'Elia et DeBoer, 1978 ; Ryther *et al.,* 1981 ; Thomas et Harrison, 1985 ; Rees, 2003) et des nitrates dans d'autre cas (Thomas *et al.,* 1987a). Une assimilation équilibrée pour les deux formes est aussi notée (Thomas *et al.,* 1987b). La capacité d'absorption des différentes formes d'azote changerait en fonction des conditions du milieu, surtout lorsqu'il y a déficience azotée. Selon Jones *et al.,* (1996), après incubation de *Gracilaria edulis* dans différentes sources d'azote (NH_4^+, NO_3^-et urée) la teneur des pigments photosynthétiques (phycoérythrine et chlorophylle a) et celle de l'azote total ont augmenté au niveau des tissus et ce en réponse à l'augmentation des concentrations d'ammonium ; il n'en est pas de même pour les nitrates et l'urée.
L'utilisation de l'ammonium est théoriquement moins coûteuse (par rapport au nitrate) sur le plan énergétique pour les algues (Vergara *et al.,* 1995). La réduction des nitrates en nitrites (catalysée par le nitrate reductase avec NADPH ou NADH comme donateur d'électrons) ensuite les nitrites en ammonium (catalysée par la nitrite reductase dans les chloroplastes avec la ferredoxine réduite comme donateur d'électrons), exige beaucoup plus d'énergie que l'assimilation directe de l'ammonium (Vergara *et al.,* 1995). En revanche, sous des conditions de déficience azotée, l'absorption préférentielle d'ammonium ne peut pas se produire (Thomas et Harrison, 1985 ; 1987). Sous ces conditions, l'algue est forcée à utiliser le nitrate pour subvenir à ses besoins. Les conditions de déficience sont caractérisées par un rapport C/N élevé. Chez *Gracilaria tikvahiae*, les taux élevés d'absorption des nitrates sont enregistrés avec les rapports C/N les plus hauts (D'Elia et DeBoer, 1978). L'absorption diminue lorsque le rapport C/N diminue.
À des niveaux ambiants bas, l'absorption par les algues d'un élément nutritif est habituellement une fonction hyperbolique de la concentration en celui ci. La quantification de l'absorption inclut la détermination de Vmax, le taux d'absorption maximal, qui se produit à des concentrations relativement élevées en éléments nutritifs. Le Km, constante de demi-saturation, mesure la concentration à laquelle la valeur d'absorption est égale à la moitié de l'absorption maximale. La valeur de cette constante est souvent utilisée pour mesurer l'affinité de l'espèce vis-à-vis de l'élément étudié. Les algues rouges ont généralement une affinité (mesurée par Km) et une efficience d'absorption (mesurée par le rapport Vmax/Km) plus élevées pour l'ammonium que pour les nitrates (D'Elia et DeBoer, 1978 ; Fujita, 1985; Thomas et al. 1987; Vergara et al. 1995 ; Smit, 2002). Selon Rees (2003), l'explication probable des valeurs élevées de Km de l'absorption d'ammonium par les algues, réside dans le fait que l'absorption de l'ammonium est dominée par un transporteur ayant une faible affinité mais une haute capacité.

D'après Hanisak (1990), la vitesse maximale d'absorption des différentes formes azotées (Vmax) ainsi que la constante de demi-saturation (Km) sont influencées par les conditions de l'environnement (lumière, température et mouvements d'eau). Il y a une corrélation positive entre la vitesse d'absorption du nitrate, l'intensité lumineuse et la température (Nishihara et al. 2005). Par contre, l'absorption d'ammonium, tout en étant indépendante de l'intensité lumineuse (Ryther *et al.,* 1981; Nishihara *et al.,* 2005), peut montrer une répartition journalière différente (Daily periodicity). Selon (Pereira *et al.,* 2008), l'algue rouge *Porphyra dioica*, absorbe 70% de

l'ammonium disponible le jour et seulement 35% la nuit.

Selon Lobban et Harrison (1994), la température a, d'habitude, un effet important sur l'absorption active d'ammonium. Cette absorption est caractérisée par un facteur Q10 égal à 2 (pour chaque augmentation de la température de 10 °C, il y a dédoublement du taux d'absorption de l'ammonium). Pour la diffusion passive, l'effet est minime, soit un Q_{10} entre 1 et 1.2. Selon Harlin et Craigie (1978), il y a une corrélation positive entre la température et la quantité d'ammonium absorbée par *Laminaria longicruris*. En effet, le facteur Q_{10} est égal à 2, lorsque la température passe de 5 à 15 °C. Chez *Porphyra,* la température n'a pas d'effet sur l'absorption d'ammonium lorsque la température passe de 5 à 15°C (Pedersena et al. 2004). Il semble que l'effet de la température sur l'absorption d'ammonium par les algues est spécifique à l'espèce.

Chez différentes espèces d'algues, le mouvement de l'eau et la turbulence sont d'importants facteurs influençant l'absorption des éléments nutritifs (Hurd *et al.,* 1994; 1996; Larned et Atkinson, 1997; Rydera *et al.,* 2004; Kyle *et al.,* 2006). Le mouvement de l'eau facilite les échanges des éléments nutritifs et du dioxyde de carbone entre la masse d'eau et les différentes parties de l'algue. En effet, ce facteur réduit la couche limite à travers laquelle se produisent les échanges de l'algue avec le milieu (Hurd, 2000) et élimine aussi les épiphytes qui se fixent sur l'algue. Chez *Gracilaria*, le mouvement de l'eau affecte d'une manière significative la croissance et la sporulation pour des vitesses allant jusqu'à 13 ms^{-1}(Rydera *et al.,* 2004).

Le rapport entre la morphologie et la capacité d'absorption de l'azote a été étudié chez plusieurs espèce de macroalgues (Rosenberg et Ramus, 1984; Hein *et al.,* 1995; Taylor et *al.,* 1998; Taylor et Rees, 1999). La morphologie est décrite généralement par le rapport surface /volume (SA/V) et il y a une corrélation positive entre ce rapport et le taux d'absorption de l'azote. Les algues ayant un rapport SA/V élevé, ont des taux de photosynthèse (Markager et Sand-Jensen, 1994; Taylor et Rees, 1999) et des taux de croissance (Nielsen et Sand-Jensen, 1990) élevés. La capacité de stocker l'azote est limitée chez les macroalgues ayant un rapport SA/V élevé par rapport à ceux dont le rapport est faible comme chez *Gracilaria* et *Codium.*

SYSTEME DE CULTURE

Dans le monde

Les differentes méthodes de cultures développées pour *Gracilaria* et décrites notamment par Santelices et Doty (1989) et Perez et al., (1997) concernent le milieu naturel et les milieux contrôlés. Nous nous intéressons dans cette analyse uniquement aux techniques de cultures utilisées dans le milieu naturel (figure 3). Dans ce cas, la culture généralement horizontale, se fait directement sur le substrat ou sur des structures flottantes. Dans le premier cas, les thalles sont enfouis dans le sédiment, généralement du sable, à l'aide d'un outil bifurqué (Santelices et Fonck, 1979). Pour *Gracilaria*, les thalles sont ancrés par des boudins de sable (tubes en polyéthylène de 0.1mm d'épaisseur, approximativement 4 centimètres de diamètre et un mètre de long). Le tube complètement rempli avec du sable, est noué à ces deux extrémités par un fil (Pizarro et Barrales, 1986). Pour la culture sur des structures flottantes des thalles entiers sont insérés sur des cordes linéaires, suspendues et étirées entre des pieux enfoncés dans le fond (Smith *et al.,* 1984).

De même, un système de radeau (figure 4) est aussi utilisé. Les radeaux sont soit flottants avec des cordages suspendus portant les boutures tous les 10 cm, soit fixés entre deux eaux auquel cas, les cordages portant les boutures sont horizontaux (Ren *et al.,* 1984). Ces modes de cultures ont été développés pour fournir de la biomasse, essentiellement pour l'industrie d'extraction de l'agar.

Une nouvelle optique pour la valorisation de *Gracilaria* s'élabore ces dernières années par l'intégration de cette espèce dans les systèmes d'aquaculture multitrophiques. Ces systèmes utilisent les algues comme biofiltre des déchets inorganiques produits par l'aquaculture intensive (Neori et al. 2007). Dans le cas de la polyculture *Gracilaria*/poissons d'élevage en cage et dans l'optique d'une meilleure exploitation des sels nutritifs, l'algue est placée dans la colonne d'eau de la surface jusqu'à 5 m de profondeur. En fonction des conditions du milieu, essentiellement la courantologie, il s'établit un gradient de sels nutritifs et une stratification lumineuse dans la

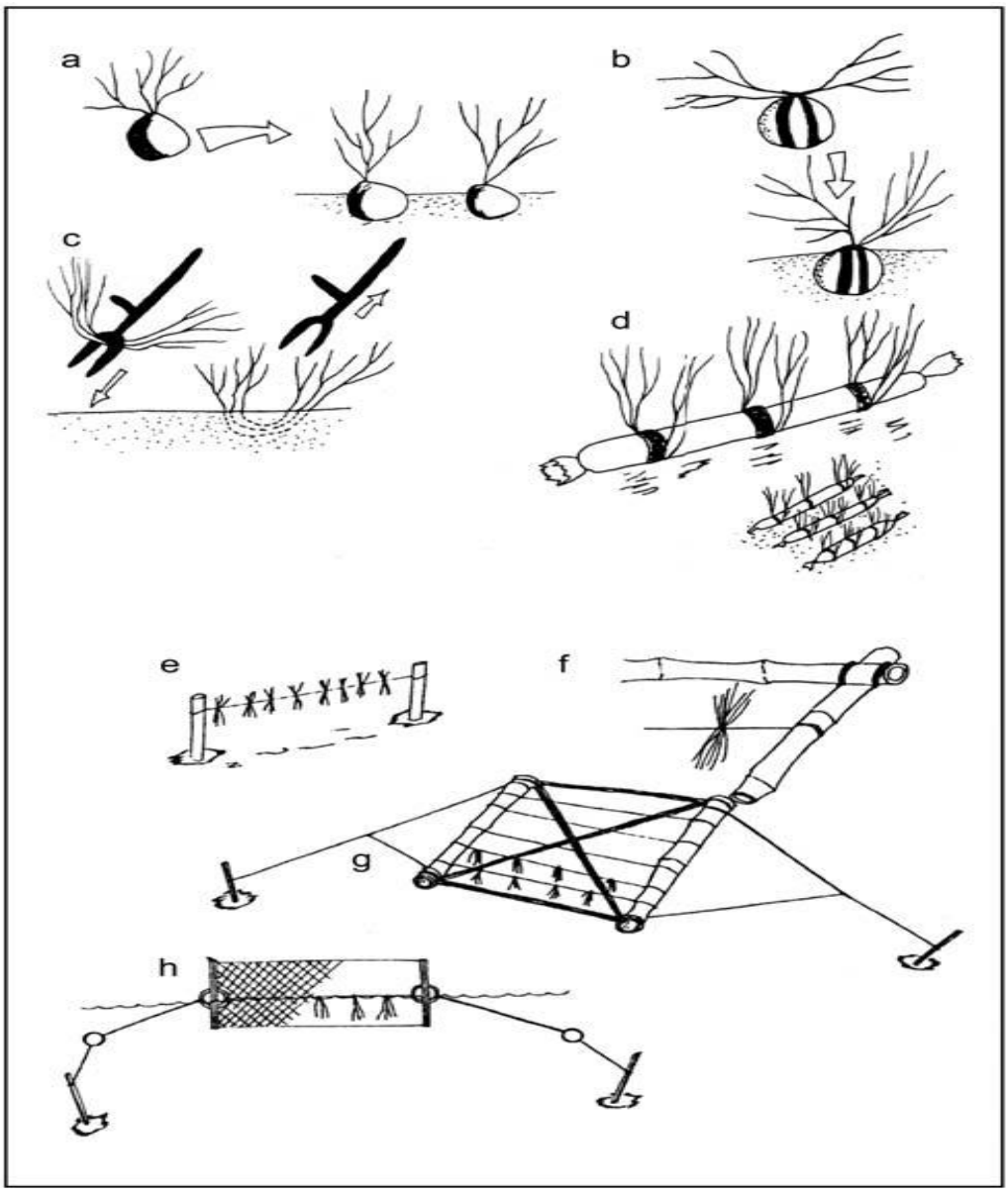


Figure 3 : Illustration générale des techniques de culture de *Gracilaria verrucosa*
(D'après Harrison et Berges, 2005)

(a) *Gracilaria* attachée à un substrat rocheux et transplanté à un nouvel emplacement. **(b)** *Gracilaria* attachée aux roches avec des bandes élastiques; méthode employée pour ancrer des touffes dans les sédiments mous. **(c)** Touffes insérées avec une fourchette directement dans les sédiments mous. **(d)** Touffes fixées sur des tubes en plastique remplis de sable; méthodes des boudins de sable **(e)** *Gracilaria* attachée à une corde étirée entre deux poteaux fixés dans les sédiments ; méthode de la corde tendue. **(f)** Attachement des touffes sur les cordes de culture **(g)** Mode de culture sur des radeaux. **(h)** Mode de culture sur des filets

colonne d'eau; ce qui peut se répercuter positivement sur les rendements de culture et sur la qualité de l'algue.
Selon Yang *et al.,* (2005), les résultats de 116 jours de culture sur des cordes ont montré que le poids frais moyen de *Gracilaria lemaneiformis* a augmenté de 89 fois, avec un taux de croissance spécifique moyen de 3.95% par jour. La couche d'eau la plus favorable pour son développement était entre 1.0 et 1.8 m au-dessous de la surface de l'eau, pour des profondeurs de culture allant jusqu'à 3m. Le taux de croissance spécifique enregistré est comparable à celui obtenu par un système de culture classique (Fei, 2000). Avec de tels systèmes, le taux de croissance spécifique peut atteindre des valeurs plus élevées que les cultures traditionnelles sur le fond (Abreu *et al.,* 2009). De même, pour *Gracilaria chilensis*, Torell *et al.,* (1997) ont trouvé des taux de croissance de 7% par jour à des profondeurs de 1 et 3 m et 4 % à des profondeurs de 5 m au dessous de la surface de l'eau. Ainsi la culture de *Gracilaria* en mode suspendu est intéressante par référence à la croissance. D'après Torell *et al.,* (1997), le rendement d'agar se situe entre 17 et 23 % de la matière sèche. Toutefois, ces résultats doivent être complétés par la qualité du produit obtenu (agar) et par une évaluation technico-économique de l'installation de ce type de culture.

En Tunisie
En Tunisie, le démarrage de la culture expérimentale de *Gracilaria et Gracilariopis* a débuté vers la fin des années 1990 dans la lagune de Bizerte. Plusieurs modes ont été testés (figure 5). La technique de la corde tendue (Ksouri *et al.,* 1999) s'est avérée la plus efficace. Dans ce cas, des thalles entiers sont insérés sur des cordes linéaires placées sur le fond et étirées entre des pieux enfoncés dans le sédiment. Les conditions optimales de la culture de cette espèce sont engendrées par un poids initial des touffes de 200 g , une distance entre les touffes de 30 cm et une période de culture de trois mois (Ksouri *et al.,* 2000). Toujours dans une optique d'optimisation des conditions de culture de *Gracilaria verrucosa* dans la lagune de Bizerte, des essais de régénération ont montré que l'algue ne s'apprête pas à une multitude de coupes et qu'il est préférable d'effectuer une seule coupe (Ksouri *et al.,* 2006). Cependant, une telle technique, n'est applicable que dans des zones où la profondeur est inférieure à 2 m, correspondant à seulement 10 % de la superficie de la lagune. Une restriction de la superficie utile pour la culture qui s'ajoute au fait que *Gracilaria* ne supporte pas la compétition avec les espèces nitrophiles (*Ulva* et *Chaetomorpha* en particulier). L'essai de la technique de culture en mode suspendu, évitant les problèmes antécédents, pourrait aboutir à des résultats plus concluants autant qu'elle pourrait se faire en polyculture avec les moules produites à une échelle commerciale.

ECOLOGIE DES CULTURES

Epiphytisme
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. Fletcher (1995) fournit une synthèse des travaux portant sur les impacts de l'épiphytisme sur la culture de *Gracilaria* en établissant une liste détaillée des principaux épiphytes et en décrivant les aspects écologiques et biologiques de ces derniers (Tableau II). De même, il aborde les effets exercés par les épiphytes sur les plantes hôtes et passe en revue les moyens physiques, chimiques et biologiques de lutte contre ce fléau. Si le problème d'épiphytisme est bien abordé pour les cultures classiques sur le fond, il n'en est pas de même pour les cultures en suspension. Pour ce dernier mode de culture, l'épiphytisme semble ne pas avoir un effet considérable sur la croissance de *Gracilaria* (Torell *et al.,* 1997 ; Abreu *et al.,* 2009).

Epifaune
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).

Les algues sont d'importants refuges pour les invertébrés (Nelson, 1979; Edgar et Aoki, 1993; Martin-Smith, 1993; Isakson *et al.,* 1994; Borg *et al.,* 1997) et constituent une source de nourriture (Kohn et Leviten, 1976; Leber, 1985; Dean et Connell, 1987a,b).

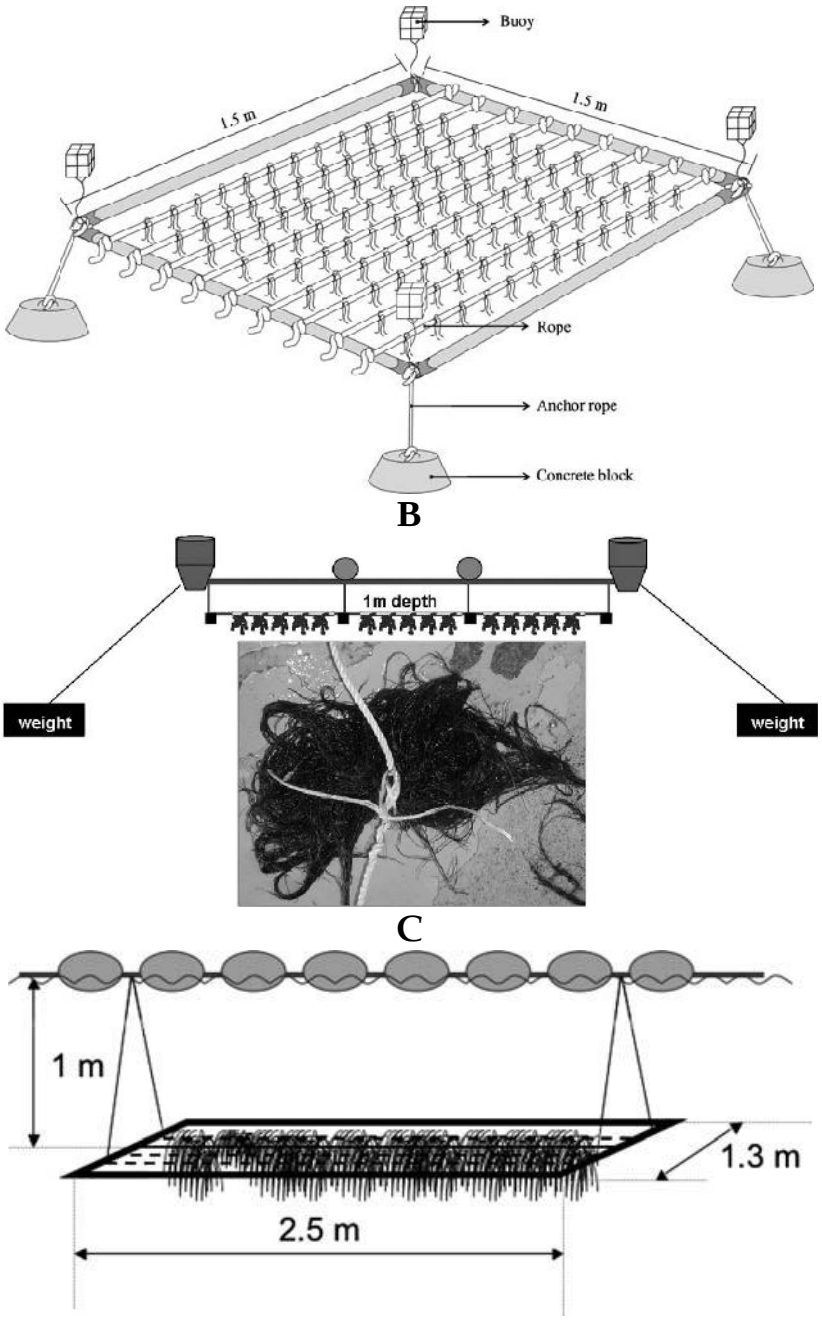
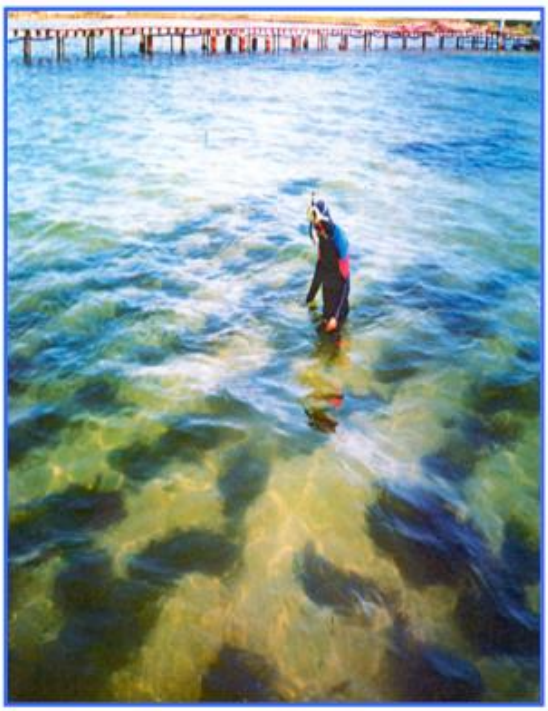


Figure 4 : Méthodes de culture de *Gracilaria verrucosa* en mode suspendu sur des radeaux (D'après Abreu et al., 1999 ; Halling et al., 2005)

Pesée et attachement des touffes



Installation d'une parcelle de culture

(a) Technique des boudins de sables

(b) Technique de la corde tendue sur le substrat

(c) Technique de la culture suspendue

Figure 5 : Techniques de cultures expérimentales de *Gracilaria* et *Gracilariopsis* dans le lac de Bizerte (photos Ksouri et Mensi).

Les préférences diffèrent d'une espèce à une autre (Edgar, 1983; Jacobi and Langevin, 1996; Knowles et Bell, 1998; Chemello et Milazzo, 2002; Edgar et Klumpp, 2003), selon les dimension et la forme du corps de l'animal (Hacker et Steneck, 1990; Taylor et Cole, 1994; Hull *et al.,* 2001). Pour certains auteurs (Viejo, 1999; Wernberg *et al.,* 2004), la faune associée n'est pas tout à fait spécifique du moins pour certaines algues. Les avis controversés entre les auteurs trouvent leur explication dans la différence de mobilité de différentes espèces ou groupes d'espèces (Knowles et Bell, 1998).

Gracilaria fournit l'habitat pour une faune diversifiée, répartie essentiellement entre les groupes zoologiques suivants, Crustacés, Mollusques et Annélides (Nicotri,1977 ; Anderson *et al.,* 1998 ; Smit *et al.,* 2003). Pour un grand nombre d'espèces appartenant à ces groupes zoologiques ainsi que pour certaines espèces de poissons herbivores (Ganesan *et al.,* 2006), *Gracilaria* est une source de nourriture. Par comparaison à plusieurs espèces appartenant aux différents phylum (*Caulerpa*, *Halimeda*, *Padina* et *Sargassum*), les Gracilaires sont les plus attaquées. Il parait que les autres espèces utilisent leurs morphologies et la sécrétion de certaines substances chimiques pour se défendre (Feeny, 1976 ; Hay et Fenical 1988 ; Ganesan *et al.,* 2006). 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 ; Njobeni, 2005).

Les moyens de lutte contre ce fléau dépendent essentiellement du mode de culture. Les mesures suggérées pour contrôler ces animaux nuisibles dans les systèmes de culture contrôlées sont les suivants : nettoyage des bacs, ramassage à la main, traitements mécaniques, utilisation des toxines et introduction de prédateurs (Nicotri, 1977; Shacklock et Croft, 1981; Aleem, 1988). Récemment, l'utilisation de l'eau douce seule ou en association avec le gaz carbonique a donné ses preuves (Smit *et al.,* 2003). Dans les milieux ouverts, la lutte est beaucoup plus difficile voire même impossible.

PERSPECTIVES

Les personnes impliquées vers les années 60 dans la culture de *Gracilaria* n'ont probablement eu aucune idée sur son développement et sa réussite. La production annuelle dépasse aujourd'hui les 15 Millions de tonnes mobilise un nombre considérable de fermiers. En outre, à travers la culture des gracilaires, le marché de l'agar agar a été révolutionné par la garantie d'un approvisionnement régulier en matière première. Cependant, 30 ans après, l'industrie de l'agar agar est encore confrontée aux problèmes concernant la qualité et les volumes des quantités produites. Il est temps de faire des efforts concertés afin d'assurer un futur prospère et durable pour la culture des *Gracilaires* et par conséquent pour l'industrie de l'agar. La demande pour cette matière première continue de s'accroître et de se développer avec le développement de nouveaux marchés.

Tableau II: Epiphytes des cultures de *Gracilaria et Gracilariopsis* (D'après : Fletcher, 1995) *(G = Gracilaria, Gs = Gracilariopsis)*

Epiphyte	Espece Hôte
General	
Epiphytes	*G. debilis*
Epiphytes	*Gracilaria* sp.
Epiphytes	*G. conferta*
Bivalves	*G. chilensis*
Bacillariophyceae	
Diatoms	*G. chilensis*
Diatoms	*Gs. Lemaneiformis*
Diatoms	*Gracilaria* sp.
Colonial diatoms	*Gracilaria* sp.
Cocconeis sp	*Gracilaria* sp.
Cyanophyta	
Blue-green algae	*Gracilaria* sp.
Chlorophyta	

Green algae	*G. tenuistipitata*
Green algae	*Gracilaria* sp.
Chaetomorpha sp.	*Gracilaria* sp.
Cladophora pellucida	*G. conferta*
Cladophora spp.	*G. tenuitipitata*
Enteromorpha compressa	*G. chilensis*
Enteromorpha compressa	*G. conferta*
Enteromorpha intestinalis	*G. tenuLvtipitata*
Enteromorpha intestinalis	*Gracilarias* sp.
Enteromorpha sp.	*G. chilenis*
Enteromorpha sp.	*Gs. lemaneiformis*
Enteromorpha sp.	*Gracilaria* sp.
Enteromorpha sp	*G. chilensis*
Rhizoclonium sp.	*G. chilensis*
Ulva rigida	*Gracilaria* sp.
Ulva rigida	*G. conferta*
Ulva lactuca	*G. chilensis*
Ulva sp.	*G. multipartite*
Ulva sp.	*Gracilaria* sp.
Ulva sp	
Prasinophyceae	*G. multipartita*
Platymonas suecica	
Phaeophyceae	*G. tenuistipitata*
filamentous browns	*Gracilaria* sp.
Colpomenia sinuosa	*G. conferta*
Ectocarpus siliculosus	*G. chilensis*
Ectocarpus sp.	*G. tenuistipitata*
Ectocarpus sp.	*Gracilaria* sp.
Ectocarpus sp.	*Gracilaria sp*
Giffordia sp.	*G. multipartita*
Streblonema sp.	
Rhodophyta	
Ceramiales	*G. chilensis*
Ceramiales	*Gracilaria* sp.
Acrochaetium sp.	*Gracilaria* sp.
Ceramium nodulosum	*G. chilensis*
Ceramium sp.	*Gracilaria* sp.
Polysiphonia sp.	*G. chilensis*
Polysiphonia sp.	*Gracilarias* sp.

Il est important que la recherche focalise plus d'efforts sur l'amélioration de la productivité des cultures et de la qualité des algues commercialisées. L'augmentation de la production peut se faire par l'introduction de cette culture dans des nouvelles régions là ou les conditions naturelles le permettent, tout en respectant les exigences de cette espèce. A l'intérieur de la même région, il est intéressant d'introduire des nouveaux systèmes de culture. L'amélioration de la productivité peut se réaliser par l'essai de nouveaux systèmes de culture et en faisant recours à l'ensemencement de plantules issues de développement des spores obtenues en conditions contrôlées.

BIBLIOGRAPHIE

Abbott, I.A., 1983. Some species of *Gracilaria* Rhodophyta from California, U.S.A. Taxon, 32 : 561-564.

Abreu, M. H., Varela, D. A., Henríquez, L., Villarroel, A., Yarish, C., Sousa-Pinto I., Buschmann, A. H., 2009.Traditional vs. Integrated Multi-Trophic Aquaculture of *Gracilaria chilensis* C. J. Bird, J. McLachlan & E. C. Oliveira: Productivity and

physiological performance. *Aquaculture*, 293 : 211–220.

Aleem, S.O., 1988. An assessment of tobacco waste for control of the gastropod *Thympanotonus fuscata* (Linnaeus) in brackishwater fish ponds. Aquaculture, 73:19–25.

Anderson, R.J., Levitt, G., Share, A., 1996. Experimental investigations for the mariculture of *Gracilaria* in Saldanha Bay, South Africa. J. Appl. Phycol. 8: 421–430.

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. *Aquaculture*, 169 : 99 – 109.

Anderson, R.J., Smit A. J., Levitt, G.J., 1999. Upwelling and fish-factory waste as nitrogen sources for suspended cultivation of *Gracilaria gracilis* in Saldanha Bay, South Africa. *Hydrobiologia*, 398/399: 455–462.

Antoine, E., Fleurence, J., 2003. Species identification of red and brown seaweeds using ITS ribosomal DNA amplification and RFLP patterns. *J. Sci. Food. Agric.*, 83 : 709–773.

Ben Maiz, N., 1993. Inventaire des algues et phanérogames marines d'intérêt économique : Bilan potentiel des ressources sur le littoral tunisien. Plan Directeur de l'aquaculture, Ministère de l'Agriculture de Tunisie, Projet PNUD : 1-65.

Ben Said, R., Ksouri, J., 1999. 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. Inst. Sci. Tech. Mer de Salammbô*, 26 : 127-136.

Bengtsson, L., Hellström, T., 1992. Wind-induced resuspension in a small shallow lake. *Hydrobiologia*, 241: 163–172.

Bird, K.T., 1988. Agar production and quality from *Gracilaria* sp. Strain G-16: effects of environmental factors. *Bot. Mar.*, 31 : 31- 39

Boraso de Zaixso, A.L., 1987. *Gracilaria verrucosa* in Golfo Nuevo, Chubut, Argentina. I. Population parameters and environmental factors. *Hydrobiologia*, 151/152: 238-244.

Borg, Å., Pihl, L. Wennhage, H., 1997. Habitat choice by juvenile cod (*Gadus morhua* L.) on soft bottoms with different vegetation types. *Helgol. Mar. Res*, , 51:197–212.

Chemello, R., Milazzo, M., 2002. Effects of algal architecture on associated fauna: some evidence from phytal mollusks. *Mar. Biol.*, 140 : 981–990.

Choi, H.G., Kim, Y.S., Kim, J.H., Lee, S.J., Park, E.J., Ryu, J. Nam, K.W., 2006. Effects of temperature and salinity on the growth of *Gracilaria verrucosa* and *G. chorda*, with the potential for mariculture in Korea. *J. Appl. Phycol.*, 18:269 - 277.

Cote, G.L., Hanisak, M.D., 1986. Production and properties of native agars, from *Gracilaria tikvahiae* and other red algae. *Bot. Mar.*, 24: 359-366.

D'Elia, C.F., DeBoer, J. A., 1978. Nutritional studies of two red algae. II. Kinetics of ammonium and nitrate uptake. *J. Phycol.* 14 : 266–272.

Daugherty, B.K., Bird, K.,T., 1988. Salinity and temperature effects on agar production from *Gracilaria verrucosa* Strain G-16. *Aquaculture,* 75 : 105 – 113.

Dean, R.L. Connell, J.H., 1987a. Marine invertebrates in algal succession. II. Tests of hypotheses to explain changes in diversity with succession. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.,* 109 : 217–247.

Dean, R.L., Connell, J.H., 1987b. Marine invertebrates in algal succession. III. Mechanisms linking habitat complexity with succession. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.,* 109 : 249–273.

Edgar, G.J., 1983. The ecology of South-East Tasmanian phytal animal communities. IV. Factors affecting the distribution of ampithoid amphipods among algae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.,* 70 : 205–225.

Edgar, G.J., Aoki. M., 1993. Resource limitation and fish predation: their importance to mobile epifauna associated with *Japanese sargassum*. *Oecologia*, 95 : 122–133.

Edgar, G.J., Klumpp, D.W., 2003. Consistencies over regional scales in assemblages of mobile epifauna associated with natural and artificial plants of different shape. *Aquat. Bot.*, 75 : 275–291.

Feeny, P., 1976. Plant apparency and chemical defense. *Recent Adv. Phytochem.* 10 : 1–40.

Fei, X.G., 2000. Solving the coastal eutrophication problem by large scale seaweed cultivation. *Hydrobiologia*, 512 : 145–151.

Feile-Pelegrin, Y., Robledo, D., 1997. Effects of season on the agar content and chemical characteristics of *Gracilaria corena* from Yucatan, Mexico. Bot. Mar., 40 : 285-290.

Fletcher, R. L., 1995. Epiphytism and fouling in Gracilaria cultivation: an overview. *J. Appl. Phycol.*, 7 : 325-333.

Friedlander, M., Noya, G., Farbstein, H., 1990. A model of seaweed growth in an outdoor culture in Israel. *Hydrobiologia,* 204/205 : 367-373.

Fujita, R.M., 1985. The role of nitrogen status in regulating transient ammonium uptake and nitrogen storage by macroalgae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 92 : 283–301.

Ganesan, M., Thiruppathi, S., Sahu, N., Veeragurunathan, V., Bhavanath, J., 2006. *In situ* observations on preferential grazing of seaweeds by some herbivores. *Curr. Sci.*, 91 : 1256-1260.

Goff, L. J., Moon, D. A., Coleman, W., 1994. Molecular delineation of species and species relationships in the red algal agarophytes *Gracilariopsis* and *Gracilaria*(Gracilariales). *J. Phycol.*, 30 : 521–537.

Hacker, S.D., Steneck, R.S., 1990. Habitat architecture and the abundance and body-size-dependent habitat selection of a phytalamphipod. *Ecology,* 71 : 2269–2285.

Halling, C., Aroca, G., Cifuentes, M., Buschmann A.H., Troell. M., 2005. Comparison of spore inoculated and vegetative propagated cultivation methods of *Gracilaria chilensis* in an integrated seaweed and fish cage culture. *Aquacult. Int.*, 13 : 409 – 422.

Hanisak, D.M., 1990. The use of *Gracilaria tikvahiae* (Gracilariales, Rhodophyta) as a model system to understand the nitrogen nutrition of cultured seaweeds. *Hydrobiologia*, 204/205 : 79 – 87.

Harlin, M. M., Craigie, J. S., (1978). Nitrate uptake by *laminaria longicruris* (phaeophyceae). *J. Phycol.*, 14 : 464 - 467

Harrison, P. J., Berges, J. A., 2005. Marine Culture Media. In : Andersen Robert A. (Ed), Algal Culturing Techniques. Elsevier Academic Press, Oxford, UK.

Hay, M.E., Fenical, W., 1988. Marine plant-herbivore interactions: the ecology of chemical defence. *Ann. Rev. Ecol. Syst.,* 19 : 111–145.

Hein, M., Pedersen, M. F., Sand-Jensen, K., 1995. Size-dependent nitrogen uptake in micro- and macroalgae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 118 : 1-3.

Hellström, T., 1991. The effect of resuspension on algal production in a shallow lake. *Hydrobiologia*, 213:183–190.

Helmi H., Naceur, J., Mitsuo Y., Mohamed, M., Ahmed, G., 2002. Quelques propriétés physico-chimiques des sédiments du Lac Bizerte Some Physico-Chemical Properties of Lake Bizerte Sediments. *Rapport INRST-JICA*, p.49-54.

Hull, S.L.,Winter, L.J., Scott, G.W., 2001. Habitat heterogeneity, body size and phenotypic diversity in *Idotea granulosa* (Isopoda) on the north-east coast of England. *J. Mar. Biol. Assoc.*, 81 : 949–954.

Hurd, C. L., 2000. Water motion, marine macroalgal physiology, and production. *J. Phycol.,* 36 : 453–472.

Hurd C. L., Quick, M., Stevens, Craig L., Laval, B. E., Harrison, P. J., Druehl, L. D., 1994. A low-volume flow tank for measuring nutrient uptake by large macrophytes. *J. Phycol.,* 30 : 892 – 896.

Hurd, C. L., Harrison, P. J., Druehl, L. D., 1996. Effect of seawater velocity on inorganic nitrogen uptake by morphologically distinct forms of *Macrocystis integrifolia* from wave-sheltered and exposed sites. *Mar. Biol.,* 126 : 205-214.

Isakson, I., Pihl, L., Van Montfrans, J., 1994. Eutrophication-related changes in macrovegetation and foraging of young cod (*Gadus morhua* L.): a mesocosm experiment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 177 : 203–217.

Jacobi, C.M., Langevin, R., 1996. Habitat geometry of benthic substrata: effects on arrival and settlement of mobile epifauna. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.,* 206 : 39–54.

Jones, A.B., Dennison, W.C., Stewart, G.R., 1996. Macroalgal responses to nitrogen source and availability: Amino acid metabolic profiling as a bioindicator using *Gracilaria edulis (*Rhodophyta). *J. Phycol.,* 32 : 757-766.

Joubert, Y., Ben Abdeladhim, L., Ksouri, J., Fleurence, J., 2009. Development of a molecular method for the rapid discrimination of red seaweeds used for agar production. *Food. Chem.*, 113 : 1384–1386.

Knowles, L.L., Bell, S.S., 1998. The influence of habitat structure in faunal-habitat associations in a Tampa bay seagrass system, Florida. *Bull. Mar. Sci.,* 62 : 781–794.

Kohn, A.J., Leviten, P.J., 1976. Effect of habitat complexity on population density and species richness in tropical intertidal predatory gastropod assemblages. *Oceocologia*, 25 : 199–210.

Ksouri, J., Ben Said, R., 1998. Potentialités en macroalgues: Cartographie et biomasse de l'agorophyte *Gracilaria* dans le lac Bizerte. *Bull. Inst. Sci. Tech. Mer de Salammbô*, 25 : 17-34

Ksouri, J., Ben Said, R. Pellegrini, M., 1999. Résultats des cultures experimentales de la rhodophycée *Gracilaria verrucosa* Papenfuss dans le lac Bizerte, Tunisie septentrionale. *Bull. Inst. Sci. Tech. Mer de Salammbô*, 26 : 113-127.

Ksouri, J., Mensi, F., Ben Said, R., 2000. Ajustement de certains paramètres de culture par bouturage de *Gracilaria verrucosa* (algue rouge), Hudson Papenfuss, dans le lac de Bizerte. *Bull. Inst. Sci. Tech. Mer de Salammbô*, 27 : 69-74

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). *Bull. Inst. Sci. Tech. Mer de Salammbô*, 33 : 59-68

Kyle, F. E., Catherine, A. Pfister , K. L., Van A., 2006. Nitrogen content in the brown alga *Fucus gardneri* and its relation to light, herbivory and wave exposure. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 336 : 99–109.

Lobban, C.S., Harrison. P.,J., 1994. Seaweed Ecology and Physiology, Cambridge University Press, Cambridge, London: 163–209

Larned, S. T., Atkinson, M. J., 1997. Effects of water velocity on NH4 and PO4 + uptake and nutrient-limited growth in the macroalga *Dictyosphaeria cavernosa*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 157: 295-302.

Leber, K.M., 1985. The influence of predatory decapods, refuge and microhabitat selection on seagrass communities. *Ecology*, 1951–1964.

Lewis, F.G., 1984. Distribution of macrobenthic crustaceans associated with *Thalassia, Halodule* and bare sand substrata. *Mar. Ecol., Prog. Ser.,* 19 : 101–113.

Li, R., Chong, R., Meng, Z,. 1984. A preliminary study of raft cultivation of *Gracilaria verrucosa* and *Gracilaria sjoestedtii*. *Hydrobiologia*, 116/117 : 252-254.

Loiselle,S., Nicholas A., Andres, C., Bracchini,L. Antonio, T, Arduino, D., Claudio, R., 2008. Variability in factors causing light attenuation in Lake Victoria. *Freshwater Biol*, 53 : 535–545

Mansouri, T. 1996. Application de la télédétection et des systèmes d'information géographiques à l'étude du fonctionnement hydrologique du lac de Bizerte et de son bassin versant. DEA, Fac. Sci. Tunis, 84p.

Marinho-Sorino, E., Fonseca, P.C., Carneiro, M.A.A., Moreira, W.S.C., 2006. Seasonal variation in the chemical composition of two seaweeds. *Bioresour Technol*, 97 : 2402-2406.

Markager, S., Sand-Jensen, K., 1994. The physiology and ecology of light-growth relationship in macroalgae. *Prog. Phycol. Res.*, 10 : 209-298.

Martin-Smith, K. M., 1993. Abundance of mobile epifauna: the role of habitat complexity and predation by fishes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 174, 243–260.

McHugh, D.J., 2003. A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries Technical paper N° 441. Rome, FAO. 105p.

Middelboe, A., L., Markager, S., 1997. Depth limits and minimum light requirements of freshwater macrophytes. *Freshwater Biol.*, 37 : 553–568.

Mizukami, Y., Kito, H., Kaminishi, Y., Murase, N., Kunimoto, M., 1999. Nucleotide sequence variation in the ribosomal internal transcribed spacer regions of cultivated (cultivars) and field-collected thalli of *Porphyra yezoensis*. *Fish. Sci.*, 65 : 788–789.

Nelson, W.G., 1979. Experimental studies of selective predation on amphipods: consequences for amphipod distribution and abundance. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 38 : 225–245.

Neori, A., Troell,M., Chopin, T., Yarish,C., Critchley,A., Buschmann, A., 2007. The need for a balanced ecosystem approach to blue revolution aquaculture. *Environnement*, 49: 38-42

Nicotri, M.E., 1977. The impact of crustacean herbivores on cultured seaweed populations. *Aquaculture*, 12 : 127-136.

Nielsen, S. L., Sand-Jensen, K., 1990. Allometric scaling of maximal photosynthetic growth rate to surface-volume ratio. *Limnol. Oceanogr.*, 35 : 177-181.

Nishihara, G.N., Ryuta, T., T., Noro., 2005. Effect of temperature and irradiance on the uptake of ammonium and nitrate by *Laurencia brongniartii* (Rhodophyta, Ceramiales). *J. Appl. Phycol*., 17 : 371-377.

Njobeni, A., 2005. The cultivation of *Gracilaria gracilis* (Rhodophyta) in an integrated aquaculture system, for the production of abalone feed and the bioremediation of aquaculture effluent. Master thesis, University of Cape Town.

Ogata, E., Matsui, T., Nakamura, H., 1972. The life cycle of *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyceae, Gigartinales) in vitro. *Phycologia*, 11:75–80.

Oueryemi, N., 2003. Influence de la densité d'élevage sur la croissance des moules Mytilus galloprovencialis dans le parc conchycole de Menzel Jemil. DEA, Fac. Sci. Bizerte, 89p.

Pedersena, A. , Kraemerb, G., Yarisha, C., 2004. The effects of temperature and nutrient concentrations on nitrate and phosphate uptake in different species of *Porphyra* from Long Island Sound (USA). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol*., 312 : 235– 252

Pereira, R., George, K., Charles, Y., Isabel, S., 2008. Nitrogen uptake by gametophytes of *Porphyra dioica (Bangiales, Rhodophyta)* under controlled-culture conditions. European Journal of Phycology http://www.informaworld.com/smpp/title~db=all~content=t713725516~tab=issueslist~branches=43 - v4343, 107 – 108.

Perez, R., Kaas, R., Arbault, S., Barbaroux, O., 1997. La culture des algues marines dans le monde. Edition IFREMER : 613p.

Pizarro, A., Barrales, H., 1986. Field assessment of two methods for planting the agar-containing seaweed, *Gracilaria*, in northern Chile. *Aquaculture*, 59: 31-34

Rees, T. A. V., 2003. Safety factors and nutrient uptake by seaweeds. *Mar Ecol Prog Ser*, , 263 : 29-42.

Ren, G., Wang, J., Chen., M., 1984. Cultivation of *Gracilaria* by means of low rafts. *Hydrobiologia*, 116/ 117: 72-76.

Rosenberg, G., Ramus, J., 1984. Uptake of inorganic nitrogen and seaweed surface area : volume ratios. *Aquat Bot*, 19 : 65-72.

Rydera, E., Stephen, G., Nelsona, C., M., Edward, P., Glenna, K., Fitzsimmonsa, S., N., 2004. Effect of water motion on the cultivation of the economic seaweed *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) on Molokai, Hawaii. *Aquaculture*, 238 : 207.

Ryther, J.H., Corwin, N., DeBusk, T.A., Williams, L.D., 1981. Nitrogen uptake and storage by the red algae *Gracilaria tikvahiae* (McLachlan, 1979). *Aquaculture*, 26: 107-115.

Santelices, B., Doty, M.S., 1989. A review of *Gracilaria* farming . *Aquaculture*, 78 : 95-1333.

Santelices, B., Fonck, E., 1979. Ecologia y cultivo de *Gracilaria lemanaeformis*. In B. Santelices (ed.), Actas I Symp. Algas mar. Chilenas. Subsecretaria de Pesca, Ministerio de Economia, Fomento y Reconstruccioéon, Santiago. p165 -200.

Shacklock, P.F., Croft, G.B., 1981. Effect of grazers on *Chondrus crispus* in culture. *Aquaculture*, 22 : 331–342.

Silkin, V.A., Mironova, N. V., 2007. Production properties of the red alga *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf. from the Black Sea under culture conditions. *Int. J. Algae*, 9 : 107.

Smith, A. H., Nichols, K., McLachlan, J., 1984. Cultivation of seamoss (*Gracilaria*) in St. Lucia, West Indies. *Hydrobiologia*, 116/117 : 249-251.

Smit, A. J., 2002. Nitrogen uptake by *Gracilaria gracilis* (Rhodophyta): adaptations to a temporally variable nitrogen environment. *Bot. Mar*., 45:196–209.

Smit A.J., Fourie, A. M., Robertson, D.R., 2003. Control of the herbivorous isopod, Paridotea reticulata, in *Gracilaria gracilis* tank cultures. *Aquaculture*, 217 : 385–393

Søndergaard, M., Kristensen, P., Jeppesen, E., 1992. Phosphorus release from resuspended sediment in the shallow and wind exposed Lake Arresø, Denmark. *Hydrobiologia*, 228: 91–99.

Talarico , L., Maranzana. G., 2000. Light and adaptive responses in red macroalgae: an overview. *J. Photochem. Photobiol. B–Biol*., 56 : 1–11.

Taylor, M. W., Rees, T. A. V., 1999. Kinetics of ammonium assimilation in two seaweeds, *Enteromorpha* spp. (Chlorophyceae) and *Osmundaria colensoi* (Rhodophyceae). *J. Phycol*., 35, 740-746.

Taylor, R.B., Cole, R.G., 1994. Mobile epifauna on subtidal brown seaweeds in northeastern New Zealand. *Mar. Ecol., Prog. Ser*., 115 : 271–282.

Taylor, R. B., Peek, J. T. A., Rees, T. A. V., 1998. Scaling of ammonium uptake by seaweeds

to surface area : volume ratio: Geographical variation and the role of uptake by passive diffusion. *Mar. Ecol.Prog. Ser.,* 169 : 143-148.

Thom, R.M., 1990. Spatial and temporal patterns in plant standing stock and primary production in a temperate seagrass system. *Bot. Mar.,* 33 : 497–510.

Thomas, T. E., Harrison, P. J., 1985. Effects of nitrogen supply on nitrogen uptake, accumulation and assimilation in *Porphyra perforata* (Rhodophyta). *Mar. Biol.,* 85 : 269-278.

Thomas, T. E., Harrison, P. J., 1987. Rapid ammonium uptake and nitrogen interactions in five intertidal seaweeds grown under field conditions. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 107 : 1-8.

Thomas, T. E., Harrison, P. J., Turpin, D. H., 1987a. Adaptations of *Gracilaria pacifica* (Rhodophyta) to nitrogen procurement at different intertidal locations. *Mar. Biol.*, 93 : 569-580.

Thomas, T. E., Turpin, D. H., Harrison, P. J., 1987b. Desiccation enhanced nitrogen uptake rates in intertidal seaweeds. *Mar. Biol.*, 94 : 293-298.

Torell, M., Halling, C., Nillsson, A., Buschmann, A.H., Kautsky, N., Kautsky, L., 1997. Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilaria, Rhodophyta) and salamon cages for reduced environnemental impact and increased economic outpout. *Aquaculture*, 156 : 45-61.

Vergara, J.J., Bird, K.T., Niell, F.X., 1995. Nitrogen assimilation following NH_4+ pulses in the red alga *Gracilariopsis lemaneiformis*: effect of C metabolism. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 122 : 253–263.

Viejo, R.M., 1999. Mobile epifauna inhabiting the invasive *Sargassum muticum* and two local seaweeds in northern Spain. *Aquat. Bot.,* 64 : 131–149.

Wernberg, T., Thomsen, M.S., Staehr, P.A., Pedersen, M.F., 2004. Epibiota communities of the introduced and indigenous macroalgal relatives *Sargassum muticum* and Halidrys siliquosa in Limfjorden (Denmark). *Helgol. Mar. Res.*, 58 : 154–161.

Yang, H., Zhou, Y. Mao, Y., Xiaoxu L., Ying, L., Zhang, F., 2005. Growth characters and photosynthetic capacity of *Gracilaria lemaneiformis* as a biofilter in a shellfish farming area in Sanggou Bay, China. *J. Appl. Phycol.*, 17 : 199-2006

ETUDE COMPARATIVE PAR EPIFLUORESCENCE ET CYTOMETRIE EN FLUX DES COMMUNAUTES BACTERIENNES DES EAUX DE LA RETENUE DU BARRAGE SIDI SALEM (TUNISIE SEPTENTRIONALE)

Samira BEN ROMDHANE[1,2] , M. ELBOUR [2], A.HAMZA[2] et M. M. KRAIEM [2]

1: Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie, 2: Institut National des Sciences et Technologies de la Mer (INSTM)-Tunisie

samirabenromdhane@yahoo.fr

ملخص

دراسة مقارنة المجموعات البكتيريا المتواجدة ببحيرة سد سيدي سالم(شمال تونس) باستخدام المجهر épifluorescence والتدفق الخلوي : تهدف هذه الدراسة, تقييم التغير المكاني والزمني للمجموعات الجرثومية أساسا (البكتيريات) في بحيرة سد سيدي سالم. مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير العوامل البيئية (درجة حرارة الماء , الشفافية ,الأوكسجين والمواد المغذية). وقعت المتابعة الشهرية على مداد سنتين (من فيفري 2009 الى جانفي 2011) لعينات المياه المأخوذة من المنبع, ومن المصب ومن وسط برج تجمع المياه في البحيرة. و قد تم تحليل وفرة و توزيع البكتيريا عن طريق الاستخدام المشترك للمجهر و التدفق الخلوي. أظهرت النتائج المتحصل عليها بالمجهر، الكشف عن جميع أنواع البكتيريا (الحية التي لا يمكن تربيتها اصطناعيا), فكانت النسب تتراوح بين 5,3 x10^4 و 1,2 x10^6 خلية/مل. وتمّ تسجيل بلوغ كثافة البكتيريا المتواجدة في العينات المأخوذة من وسط خزان السد، مستوياتها القصوى في فترة الخريف و في فترة الربيع لسنة 2010. كذلك أظهر تحليل العينات المأخوذة من منبع السد، نسبة كثافة عالية للبكتيريا، التي بدورها وصلت الى أعلى درجاتها في الفترة الشتوية لسنة 2010، مقارنة بالعيينات التي أخذت من المصب ، لكن تميزت هذه الأخيرة بعلاقة هامة بين مجموعات البكتيريا و بعض العوامل الفيزيوكيميائية (درجة الحموضة,الأكسيجين, مجموع النيتروجين و اليخضور"أ") . بعد تحليل مجموعات البكتيريا بطريقة التدفق الخلوي تمكنا من ملاحظة تباعد واضح بين LDNA و HDNA ، بكثافة تتراوح على التوالي من 1,3 x10^5 الى 4 x10^7 خلية/مل و من 6 x10^4 الى 2 x10^7 خلية/مل.

يبين هذا البحث أنه يمكن دراسة توزيع مختلف المجموعات البكتيرية وتعدادها بطريقتين, ومدى ارتباطها بأهم العوامل الفيزيو -كيميائية حتى يتسنى تقدير و لأول مرة ، أهمية التنوع البيولوجي و البيئي للمجموعات الجرثومية وخاصة منها البكتيرية لبحيرة سد سيدي سالم.

الكلمات المفاتيح: بحيرة سد سيدي سالم, بكتيريا, المجهر épifluorescence , التدفق الخلوي.

RESUME

Deux techniques de comptage par microscopie en épifluorescence et par cytométrie en flux ont été utilisées pour évaluer la variabilité spatio-temporelle des communautés bactériennes dans les eaux de la retenue du barrage Sidi Salem. Ceci, concerne les populations hétérotrophes englobant les formes cultivables et les formes viables non cultivables (VNC) en tenant compte de l'influence des paramètres du milieu (température, transparence, oxygène dissous et sels nutritifs). Ainsi, un suivi mensuel a été établi pendant deux ans (de février 2009 jusqu'à janvier 2011), pour analyser des échantillons d'eau prélevés en amont, en aval et dans la tour de prise de la retenue. Les résultats obtenus montrent que l'observation en épifluorescence révèle toutes les formes bactériennes viables non cultivables, dont l'abondance se situe entre 5,3 x10^4 et 1,2x10^6 cell/ml. Aussi, nous avons enregistré des charges bactériennes maximales en période automnale et printanière notamment au niveau de la tour de prise. Par ailleurs, la charge bactérienne totale en amont de la retenue est plus élevée que celle en aval et présente une corrélation significative avec certains facteurs physico-chimiques (pH, oxygène dissous, azote totale et chlorophylle a).

Pour l'analyse en cytométrie, les populations bactériennes sont séparées selon l'état de l'ADN en « Low DNA » (LDNA) et « High DNA » (HDNA) avec des abondances respectives variant entre 1,3x10^5 et 4x10^7 cell/ml et 6x10^4 à 2x10^7 cell/ml. Ces résultats soulignent la grande diversité bactérienne présente dans la retenue du barrage Sidi Salem en fonction des caractéristiques environnementales.

Mots clés **:** La retenue du barrage Sidi Salem, bactéries, microscope en épifluorescence, cytomètre en flux

ABSTRACT

Comparative study with epifluorescence microscopy and flow cytometry of the bacterial communities of water retention of the Sidi Salem dam (North of Tunisia) : Two counting techniques by epifluorescence microscopy and flow cytometry were used to assess the spatial and temporal variability of bacterial communities in the Sidi Salem reservoir. This concerned the heterotrophic populations, including the cultivable forms and viable non cultivable (VNC) once; taking into account the influence of environmental parameters (temperature, transparency, dissolved oxygen and nutrients). Thus, a monthly monitoring has been followed during two years (February 2009 to January 2011), to analyze water samples upstream, downstream and into the deepest area of the reservoir. The results show that the observation by epifluorescence microscopy reveals all viable non-

cultivable forms of bacteria, including their abundance ranges from 5.3 x 10^4 to 1.2 x 10^6 cells / ml. Also, we recorded the maximum bacterial loads during autumn and spring, especially at the deepest station of the reservoir. Otherwise, bacterial loads upstream of the reservoir are higher than those of downstream and significantly correlated with some physico-chemical factors (pH, dissolved oxygen, total nitrogen and chlorophyll a).

For cytometric analysis, bacterial populations are separated according to the state of the DNA "Low DNA" (LDNA) and "High DNA" (HDNA) with respective abundance ranging between 1.3 x10^5 and 4x10^7 cells / ml and from 6x10^4 to 2x10^7 cells / ml. These results emphasize the high bacterial diversity in the Sidi Salem dam based on the environmental characteristics.

Key words: Retention of Sidi Salem dam, bacteria, epifluorescence microscopy, flow cytometer

INTRODUCTION

Dans les écosystèmes aquatiques, les bactéries occupent une grande place au niveau des communautés planctoniques, tant par leur grand nombre que par leurs différents rôles. Un premier rôle joué par les bactéries est celui de leur participation à la chaîne trophique microbienne, (c'est-à-dire qu'elles utilisent et décomposent la matière organique présente dans les milieux aquatiques en la minéralisant en biomasse microbienne, tout en transformant une partie de cette matière organique en CO_2 respiré (Bianchi *et al.,* 2003)). D'autre part, les bactéries participent au cycle biogéochimique en libérant des nutriments inorganiques (Jaspers *et al.,* 2001). Finalement, les bactéries participent à la respiration et ont donc une influence sur la production du carbone dans le milieu (Smith, 1998; Gonzalez *et al.,* 2003). Dans la flore bactérienne totale on distingue : les bactéries viables et actives qui jouent un rôle dans la production de biomasse, les bactéries viables et inactives qui peuvent jouer un rôle dans la production bactérienne future et finalement les cellules mortes qui ne sont pas actives et qui sont prêtes à être décomposées (Bernard *et al.,* 2001). Plusieurs facteurs environnementaux et biologiques ont une influence sur les bactéries en termes de croissance, d'activité et de composition. Il existe plusieurs facteurs physico-chimiques qui peuvent agir sur la matière organique pour la transformer en biomasse (Bianchi *et al.,* 2003). L'écologie microbienne a connu un progrès considérable grâce à l'évolution des techniques de dénombrement direct, notamment la technique de comptage bactérien par microscopie en épifluorescence. Bien que très performante pour le dénombrement des bactéries viables dans les milieux aquatiques, cette technique est limitée comparée à la cytométrie en flux qui peut être utilisée pour l'analyse d'un plus grand nombre d'échantillons et un comptage spécifique du nombre et de l'état cellulaire.

L'objectif de ce travail est l'évaluation de la variabilité spatio-temporelle des communautés microbiennes essentiellement (les bactéries hétérotrophes) englobant les formes viables cultivables ou non cultivables (VNC), en tenant compte de l'influence des paramètres du milieu (température, transparence, oxygène dissous et sels nutritifs) au niveau de la retenue du barrage Sidi Salem.

MATERIELS ET METHODES

1-Site d'étude

La retenue du barrage de Sidi Salem prospectée est localisée sur l'oued Medjerda au Nord ouest de la Tunisie entre Oued Zerga et Testour (Fig. 1). Elle est située dans une région sous climat méditerranéen sub-humide avec des hivers doux (Nabli, 1995). Il s'agit de la retenue la plus importante de la Tunisie avec un bassin versant qui couvre une superficie totale de 18192 Km^2 et un volume de retenue moyen d'environ 485 Mm^3 (Tab.I). Le barrage de Sidi Salem a été construit en 1982, pour des fins agricole, hydroélectrique, alimentation en eau potable et piscicole.

2-Techniques de prélèvement

La récolte des échantillons pour l'analyse bactériologique et des sels nutritifs a été effectuée dans les trois stations suivantes :

* **Station1**: à l'entrée de la retenue (en amont) au niveau de l'oued Medjerda dans la région de Sidi Ismail.

* **Station 2** : la zone la plus profonde prés de la tour de prise (prélèvement en surface de la retenue)

***Station 3** : la sortie des eaux du barrage (aval de la retenue).

3-Paramètres physico-chimiques

Pour chaque station, la température ainsi que la salinité et la concentration en oxygène dissous sont mesurées in situ en utilisant une multisonde de terrain de type WTW. Les échantillons pour l'analyse des paramètres chimiques (nitrites, nitrates, ammonium, orthophosphates, l'azote total et le phosphore total) sont conservés à -20°C jusqu'à l'analyse par un auto-anlyseur de type 3 (BRAN + LUEBBE) selon le principe de koroleff (1969).

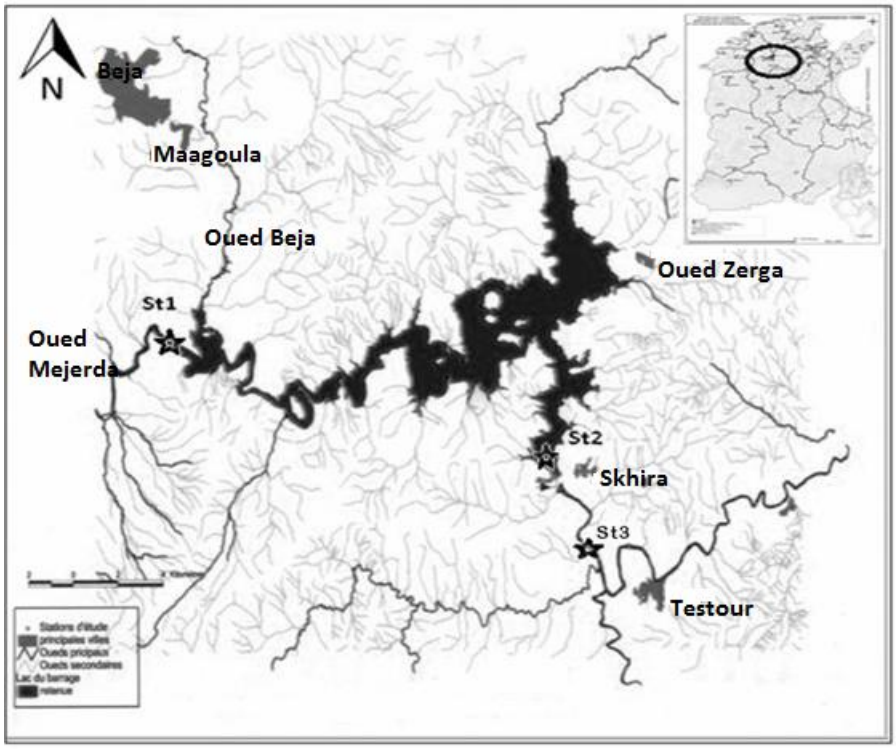


Fig. 1: Situation géographique de la retenue de Sidi Salem et localisation des stations d'étude (St1, St2, St3) (Mouelhi,2000)

Tableau I. Caractéristiques morphométriques et hydrologiques du réservoir de Sidi Salem. (INM et DGBTH, 2011)

	Réservoir de Sidi Salem
Latitude	9°23'34''N
Longitude	36°35'40''E
Construction	1981
Cours d'eau	Oued Medjerda
Superficie de la retenue (ha)	4710
Profondeur maximale (m)	57
Volume (Mm^3)	485
Température moyenne annuelle de l'eau (°C)	18
Moyenne annuelle de précipitation (mm)	450
Moyenne annuelle des apports (Mm^3)	334 ,3
Moyenne annuelle d'évaporation (mm)	1493,5
Moyenne annuelle d'envasemment (Mm^3)	6,8

4-Paramètres microbiennes

Microscopie à épifluorescence

La microscopie optique à épifluorescence a été utilisée pour visualiser les cellules et plus spécifiquement leur matériel nucléique après excitation par une source lumineuse (laser). Les échantillons analysés sont en général fixés, filtrés sur un filtre en polycarbonate noir à 0.22µm, éventuellement marqués par des fluorochromes (très souvent, le fluorochrome utilisé se fixe au niveau du matériel nucléique ADN ou ARN comme le DAPI le **D**i **A**minido **P**henyl **I**ndol qui est l'exemple choisi) et montés entre lame et lamelle pour être visualisés en microscopie à épifluorescence.

Cytomètrie en Flux

La cytomètrie en flux est une technique qui permet de compter individuellement les cellules d'un échantillon en suspension dans un liquide, de discriminer des sous-populations homogènes sur des critères de fluorescence et de taille, et éventuellement de les trier en fonction de leurs propriétés optiques. Le cytomètre en flux se compose de trois parties: une partie fluidique, une partie optique et une partie électronique/informatique. Cependant, 2 ml de chaque échantillon sont fixés avec du

paraformaldéhyde (2% de concentration finale) pendant 30 min dans l'obscurité, puis l'échantillon est congelé dans l'azote liquide et conservé à -80 ° C. Les bactéries hétérotrophes ont été comptées en utilisant un cytomètre de flux FACSCalibur (Becton Dickinson) équipé d'un refroidissement par air laser fournissant 15 mW à 488 nm. Avant l'analyse, les échantillons sont décongelés à 37 ° C, ensuite 5 µl de l'échantillon sont dilués dans 495 µl tampon TE filtré à 0,02 µm (0,1 mM de Tris-HCl et 1 mM d'EDTA, pH 8), et incubée avec SYBR Green I (à une finale 5.10 dilution de la solution commerciale d'achat d'actions; Molecular Probes), pendant 5 min à température ambiante, puis 10 min à 75 ° C, et 5 min après à la température ambiante, avant l'analyse de la CMF basé sur le protocole de Brussaard (2004) et modifié par Jacquet et *al.*(2013)

RESULTATS

Paramètres physico-chimiques

***** Les variations mensuelles des facteurs physico-chimiques durant la période d'étude (Fig.2), montrent une élévation de la température durant la période estivale avec des maxima enregistrés en juillet et août avec des écarts annuels faibles dans toutes les stations.

* Les teneurs en salinités sont faibles en période hivernale (l'évolution de ce paramètre dans la retenue est liée à la nature et à la quantité des apports en eaux).

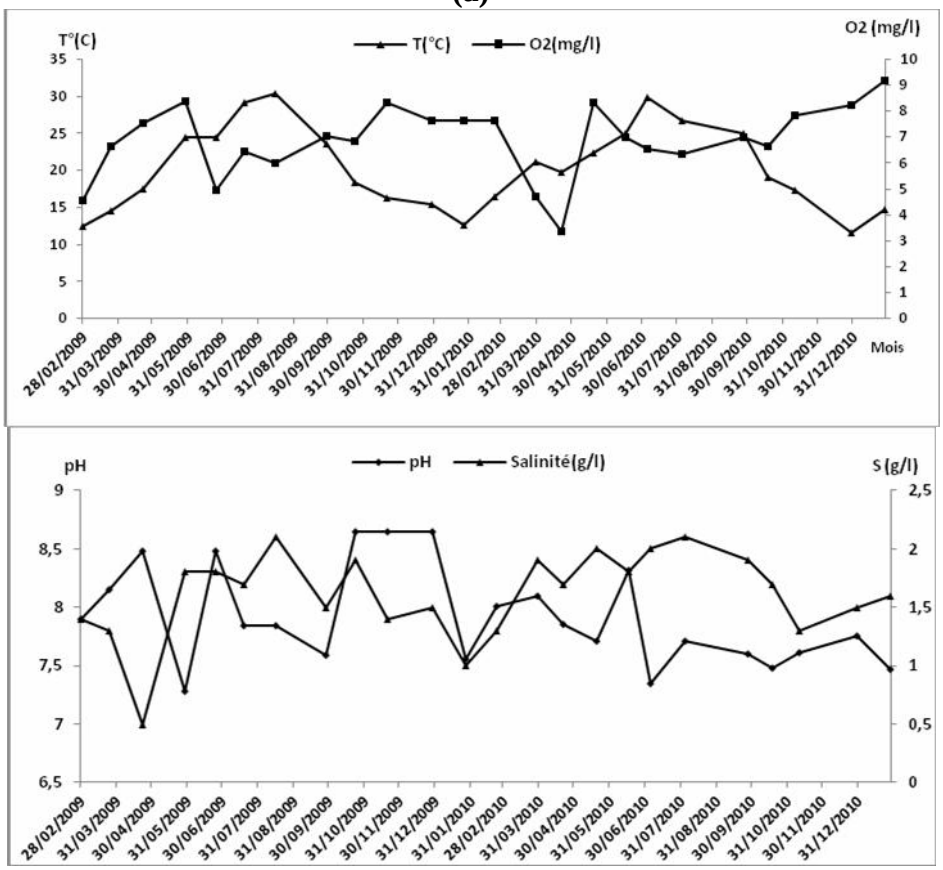
* Pour le pH, les variations entre les stations sont peu importantes, alors que les variations annuelles montrent une augmentation à partir des cycles mars 2009/mars 2010.

*La transparence présente une évolution mensuelle irrégulière et oscille entre les valeurs extrêmes de (0.7m et 3m), mais les variations annuelles révélées sont relativement faibles.

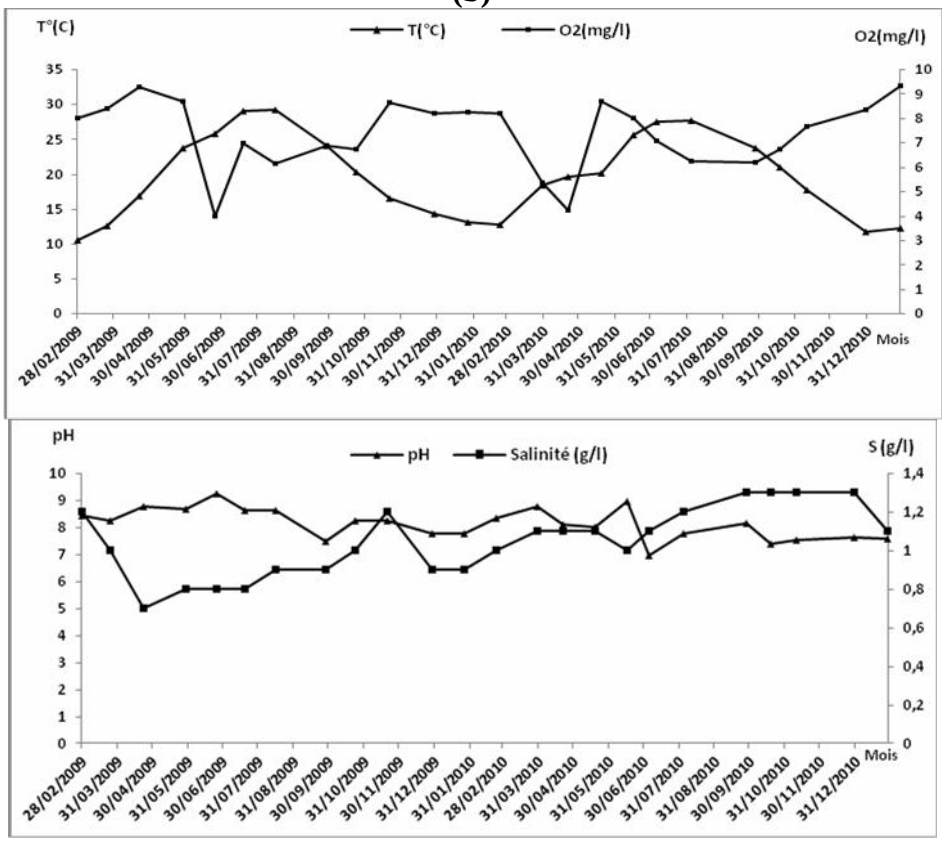
*Les concentrations en oxygène dissous ne montrent pas une grande variation annuelle, mais leurs évolutions mensuelles oscillent entre des maxima marqués surtout en période printanière.

*****Une évolution en dents de scie des composés azotés est remarquée dans les différentes stations de prélèvement, les teneurs maximales sont enregistrées en décembre 2010 en amont de la retenue. Les variations mensuelles et annuelles sont très irrégulières.

(a)



(b)



(c)

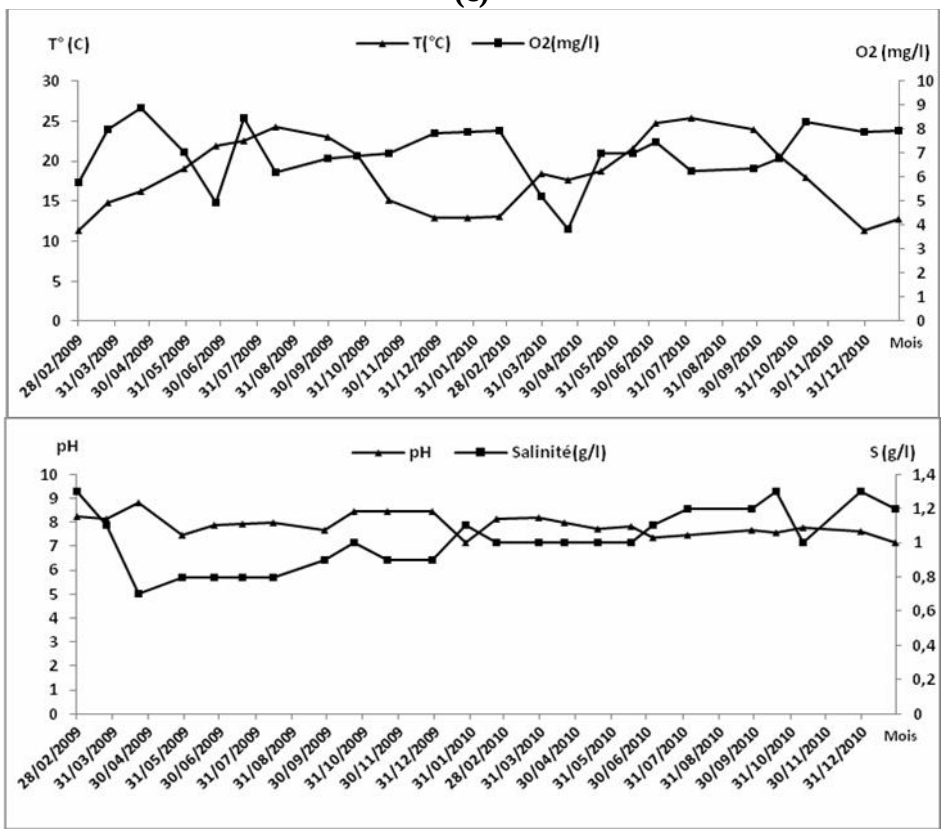


Fig.2: Variations spatio-temporelles des paramètres abiotiques à l'entrée du barrage (amont de la retenue) (a), au niveau de la tour de prise (surface de la retenue) (b), et à la sortie du barrage (aval de la retenue) (c)

* La grande fluctuation des teneurs en azote ammoniacal concordent avec les concentrations basses d'azote total. L'évolution annuelle des teneurs en chlorophylle a est très fluctuante avec des maxima enregistrés surtout en période estivo-automnale qui peut coïncider avec une forte production algale (Fig.3). Tous ces paramètres caractérisent un état méso-eutrophe de cette retenue selon Ryding et Rast (1994).

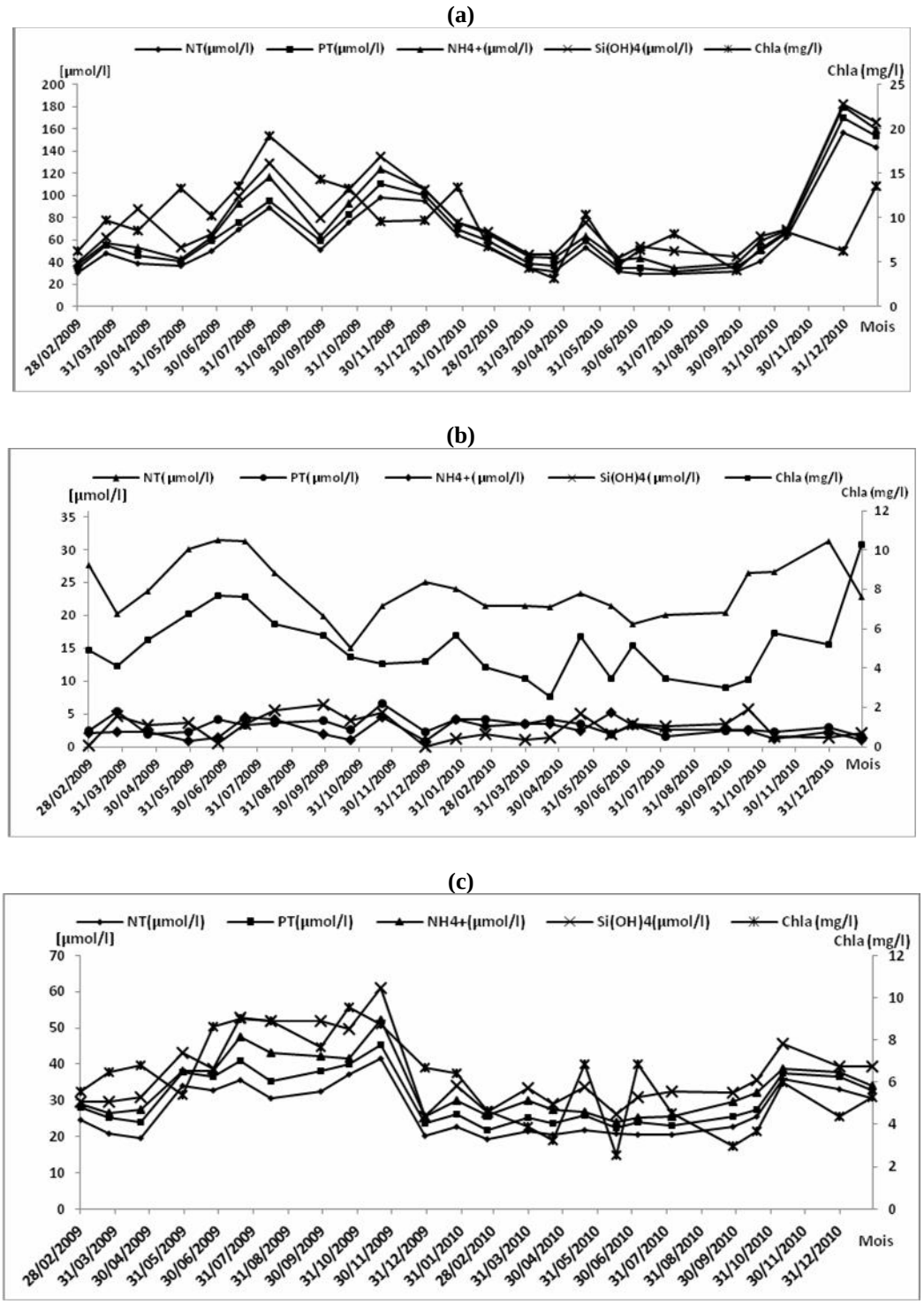


Fig.3: Variations spatio-temporelles des nutriments et de la chlorophylle **a** à l'entrée du barrage (amont de la retenue) (a), au niveau de la tour de prise (surface de la retenue) (b), et à la sortie du barrage (aval de la retenue) (c)

Analyse microbienne

L'analyse par microscopie en épifluorescence (Fig.4), montre une fluctuation mensuelle importante, et une variation annuelle très irrégulière de la densité bactérienne dans les différentes stations prospectées. La charge bactérienne en amont de la retenue atteint son maximum en période automnale et hivernale, alors qu'en aval et au niveau de la tour de prise les teneurs atteignent leur maximum en période printanière.

En revanche, l'analyse par cytométrie en flux, montre que les bactéries hétérotrophes comptées, gardent le même profil que celui obtenu par épifluorescence, à l'exception des pics estivaux enregistrés en amont et en aval de la retenue. Les concentrations bactériennes non définies enregistrées en amont de la retenue en juillet, août et septembre 2010, n'indiquent pas l'absence des bactéries mais plutôt la charge importante des eaux en matière en suspension à cette période (Fig. 5). Cette méthode nous a permis en plus, d'enregistrer des cytogrammes dévoilant une séparation claire entre les bactéries qui ont une forte affinité pour l'ADN: les (HDNA), et les bactéries qui ont une faible affinité pour l'ADN: les (LDNA). La densité des HDNA est faible au niveau de la tour de prise à l'inverse de ce qui a été enregistré en amont et en aval de la retenue (Fig.6). Les LDNA présentent une forte teneur en aval de la retenue et à la surface au niveau de la tour de prise (où les eaux sont plus transparentes), alors qu'en amont, elles n'ont pas pu être détectées à cause de forte charge des eaux en matières en suspension.

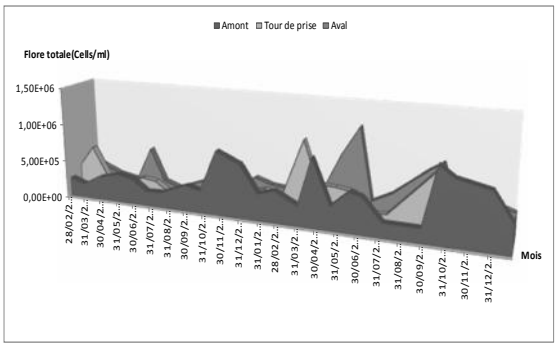


Fig.4: Variations spatio-temporelles de la flore totale dans les différentes stations d'échantillonnage du barrage (par microscopie en épifluorescence)

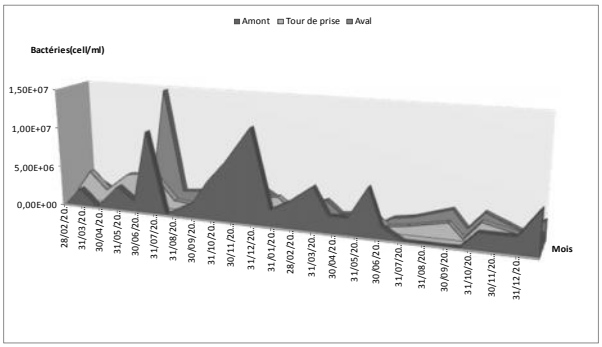


Fig.5: Variations spatio-temporelles des bactéries hétérotrophes dans les différentes stations d'échantillonnage du barrage (par cytométrie en Flux)

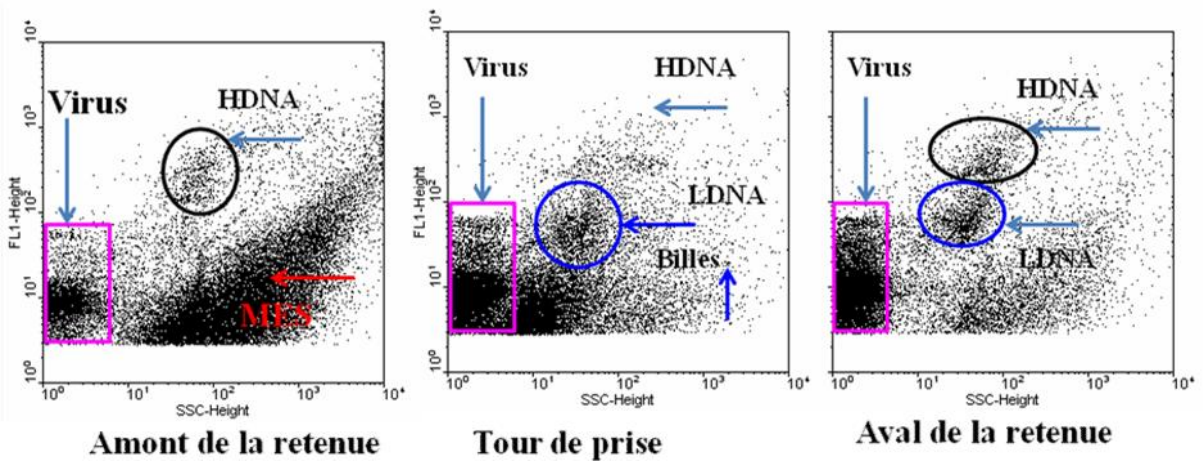


Fig.6 : Cytogrammes montrant la séparation des bactéries HDNA et les LDNA dans les différentes stations de prélèvements

Analyses statistiques

L'analyse des corrélations selon Pearson (Tableau II), a montré des corrélations positives hautement significatives entre les bactéries hétérotrophes et les bactéries LDNA et HDNA en aval et au niveau de la tour de prise de la retenue (r=0.96, r=0.89, r=0.96, respectivement). Alors que la flore totale ne présente qu'une faible corrélation négative avec la salinité et la chlorophylle a. En amont de la retenue, les LDNA et les HDNA sont très corrélées négativement avec la température du milieu (r= -0.81, r=-0.9), et

positivement avec l'oxygène dissous (r=0.88, r=0.92), l'azote total (r=0.81, r=0.88), et chlorophylle a (r=0.62, r=0.7). Pour les bactéries hétérotrophes ont une faible corrélation positive (r=0.5) avec la chlorophylle a et le pH du milieu, et des faibles corrélations négatives avec l'azote ammoniacal et les orthophosphates, inversement révélé pour la flore totale.

Au niveau de la zone avale, les charges en bactéries hétérotrophes et leur groupes présentent une faible corrélation positive avec l'azote total, le phosphore total et aussi avec la chlorophylle a.

Tableaux II : Matrices de corrélation (test de Pearson) réalisées avec XL-stat entre les différents variables hydrologiques et bactériologiques dans les différents stations de prélèvement du réservoir Sidi Salem au cours des deux années de suivi (* p<0.05; ** p<0.001, *** p<0.0001)

Amont

Variables	T°	pH	O2	NO3-	PO43-	NH4+	Nt	Pt	Si	Salinité	Chla	Bacterie	LDNA	HDNA	Flore totale
T°	**1**	0,201	-0,856	-0,818	-0,849	-0,587	**-0,956**	-0,828	-0,106	**0,890**	-0,543	-0,024	-0,819	**-0,906**	-0,356
pH		**1**	-0,186	-0,675	-0,457	-0,385	-0,363	-0,673	**-0,888**	-0,060	-0,149	0,774	0,210	0,105	0,028
O2			**1**	0,796	0,540	0,164	**0,940**	0,650	0,325	-0,704	0,860	0,302	**0,880**	**0,929**	-0,084
NO3-				**1**	0,825	0,574	**0,921**	**0,955**	0,595	-0,520	0,536	-0,335	0,573	0,644	0,016
PO43-					**1**	**0,913**	0,788	**0,943**	0,153	-0,635	0,107	-0,473	0,508	0,576	0,418
NH4+						**1**	0,473	0,778	-0,037	-0,390	-0,307	-0,660	0,227	0,257	0,475
Nt							**1**	0,860	0,347	-0,767	0,686	0,005	0,810	**0,887**	0,124
Pt								**1**	0,464	-0,560	0,312	-0,502	0,476	0,563	0,243
Si									**1**	0,113	0,472	-0,425	-0,133	-0,036	-0,293
Salinité										**1**	-0,521	-0,234	-0,696	-0,837	-0,625
Chla											**1**	0,489	0,620	0,706	-0,192
Bacterie												**1**	0,474	0,423	-0,217
LDNA													**1**	**0,968**	-0,067
HDNA														**1**	0,111
Flore totale															**1**

Tour de prise (en surface)

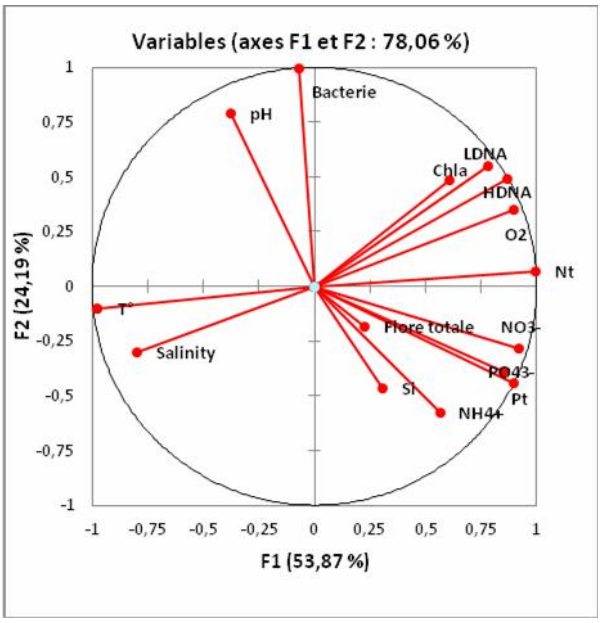
Variables	T°C	secchi	pH	O2	Salinité	Nt	Po43-	NH4+	NO3-	Si	chla	Bacterie	LDNA	HDNA	Flore totale
T°C	**1**	-0,324	-0,081	**-0,523**	-0,210	-0,294	-0,367	0,220	-0,348	0,317	0,050	-0,137	-0,123	-0,100	-0,166
secchi		**1**	-0,053	0,024	0,298	-0,171	0,217	0,167	-0,206	-0,345	**-0,441**	-0,113	-0,118	-0,166	0,279
pH			**1**	0,022	**-0,498**	-0,305	0,005	0,291	**-0,422**	-0,111	-0,038	0,355	0,160	0,226	0,133
O2				**1**	0,066	0,136	-0,191	-0,031	0,127	0,204	0,180	0,290	0,213	0,318	-0,105
Salinité					**1**	0,269	0,085	-0,319	0,276	-0,050	-0,336	-0,173	0,033	-0,169	**0,406**
Nt						**1**	0,231	-0,013	**0,900**	-0,317	0,165	-0,076	0,097	-0,073	-0,222
Po43-							**1**	-0,371	0,253	-0,267	0,016	-0,077	0,006	-0,177	-0,023
NH4+								**1**	-0,239	-0,147	0,001	-0,186	-0,162	-0,134	-0,047
NO3-									**1**	-0,194	0,245	-0,065	0,063	-0,017	-0,254
Si										**1**	**0,467**	0,063	0,044	0,173	-0,113
chla											**1**	-0,008	-0,031	0,091	**-0,579**
Bacteria												**1**	**0,891**	**0,962**	0,170
LDNA													**1**	**0,860**	0,337
HDNA														**1**	0,101
Flore totale															**1**

Aval

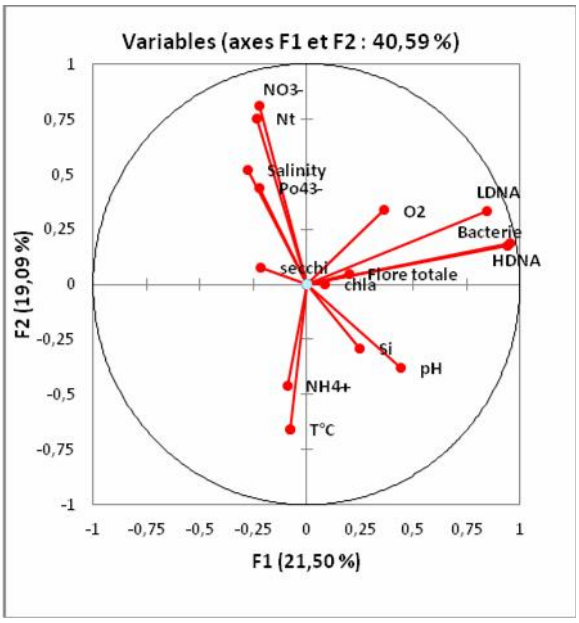
Variables	T°	pH	O2	NO3-	PO43-	NH4+	Nt	Pt	Si	Salinité	Chla	Bacterie	LDNA	HDNA	Flore totale
T°	**1**	-0,088	-0,242	-0,154	-0,244	**0,524**	0,043	0,139	**0,543**	-0,241	0,110	0,196	0,064	0,268	-0,292
pH		**1**	-0,022	-0,043	**0,491**	0,109	0,029	0,304	-0,071	**-0,576**	0,389	0,042	0,002	0,075	-0,462
O2			**1**	0,289	-0,021	-0,157	0,318	0,040	0,108	-0,230	0,413	0,284	0,327	0,261	0,184
NO3-				**1**	-0,026	-0,333	**0,748**	-0,401	0,456	0,135	0,353	0,004	0,015	-0,025	0,413
PO43-					**1**	-0,195	0,033	0,184	0,043	-0,064	0,121	-0,278	-0,345	-0,167	-0,213
NH4+						**1**	0,187	**0,513**	0,427	**-0,520**	0,343	0,384	0,281	0,426	-0,347
Nt							**1**	0,091	**0,647**	-0,155	**0,624**	0,406	0,392	0,448	0,059
Pt								**1**	0,179	**-0,629**	**0,505**	0,379	0,321	**0,510**	-0,388
Si									**1**	-0,371	**0,608**	0,107	-0,011	0,180	-0,042
Salinité										**1**	**-0,658**	-0,310	-0,218	-0,313	0,342
Chla											**1**	0,404	0,319	0,471	-0,228
Bacterie												**1**	**0,967**	**0,961**	-0,056
LDNA													**1**	**0,918**	-0,084
HDNA														**1**	-0,189
Flore totale															**1**

L'analyse en composantes principales, appliquée à l'ensemble des paramètres abiotiques et biotiques relatifs à la période d'étude (Fig.7), montre que les deux premiers axes absorbent plus de 78,06 % de la variabilité des paramètres abiotiques et biotiques en amont de la retenue. L'axe F1 absorbant 53,87%

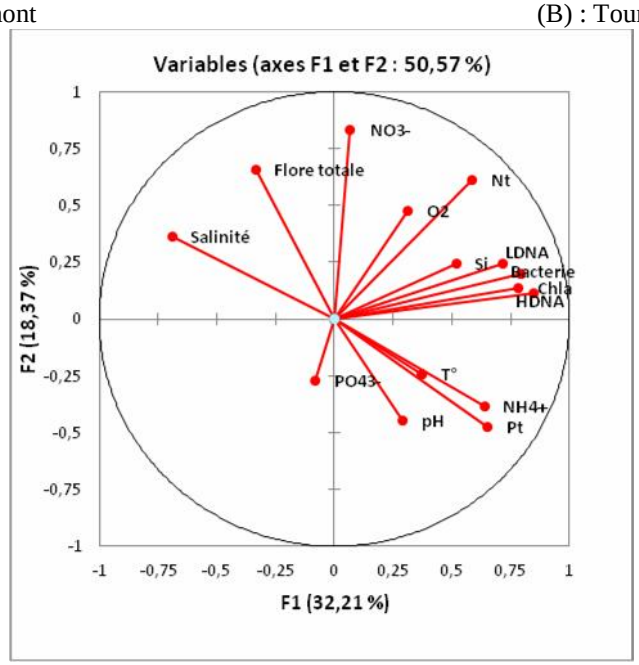
de la variabilité de l'ensemble de paramètres, est corrélé essentiellement avec les variables suivantes : LDNA, HDNA ,oxygène dissous et chlorophylle a. L'axe F2 qui absorbe 24,19% de la variabilité des paramètres étudiés est corrélé principalement avec les paramètres biotiques relatifs à l'évolution des bactéries hétérotrophes et le pH du milieu. Par contre, au niveau de la tour de prise de la retenue, les axes 1 et 2 absorbent respectivement 21,50% et 19,09 % de la variation globale. L'axe F1 montre une corrélation entre la charge bactérienne et la chlorophylle a et l'oxygène dissous du milieu. Au niveau de l'aval, la projection des variables sur le plan factoriel montrent que les deux premiers axes absorbent plus de 50,57% de la variabilité hydrobiologique, avec l'axe F1 expliquant 32,21% de la variabilité de l'ensemble de paramètres, et discrimine essentiellement les paramètres suivants : LDNA, HDNA , bactéries hétérotrophes, oxygène dissous, azote totale et chlorophylle a . L'axe F2 qui absorbe 18,37% de la variabilité des paramètres étudiés est corrélé principalement avec la flore totale et la salinité du milieu.



(A) : Amont



(B) : Tour de prise



(C) :L'Aval

Fig.7 : Analyse en Composante Principale (ACP) des différents variables hydrologiques et bactériologiques dans les différentes stations de prélèvement du réservoir Sidi Salem

CONCLUSIONS ET DISCUSSION

En conclusion, la retenue de Sidi Salem peut être classée dans la gamme des retenues d'eaux douces tempérées, avec une tendance polymictique, à pH alcalin et à salinité faible (1g/l). Son état trophique oscille entre les niveaux mésotrophe et eutrophe qui corroborent les résultats trouvés par Mouelhi (2000). L'évolution des paramètres hydrologiques est principalement régie par le caractère hydrodynamique des eaux du réservoir qui engendre un mélange relativement fréquent. Les fluctuations de la flore bactérienne totale détectée pendant la période d'étude, ont montré une forte charge à tous les niveaux, avec une teneur très importante en période printanière et hivernale, ceci peut être expliqué par la capacité d'adaptation de ces germes et leurs fortes résistances aux différentes conditions de stress du milieu aquatique. Selon Gauthier et *al* (1990), les bactéries ne meurent pas systématiquement dans l'eau mais peuvent y entrer dans un état de dormance dit « viable mais non cultivable» (forme VNC). Cette situation peut être considérée comme un processus adaptatif répondant à la carence alimentaire. Les populations de bactéries hétérotrophes énumérées par microscopie en épifluorscence et par cytométrie en flux dans les différentes stations de prélèvements montrent des fluctuations importantes et irrégulières durant la période de suivi. Aussi, nous avons pu distinguer par cytomètrie en flux, différentes catégories de bactéries hétérotrophes: les HDNA et LDNA, en plus des virus. Les charges bactériennes présentes sont corrélées positivement au pH, à la chlorophylle **a** et à l'azote total, en amont et à la surface de la retenue ce qui dénote un apport anthropique continu dans la retenue. Aussi, une corrélation négative avec la salinité à la surface de la retenue, implique la présence de charges bactériennes non halophiles.

La charge bactérienne atteint son maximum en période automnale et hivernale en amont, au niveau de la tour de prise et en aval de la retenue, ce qui concorde avec les résultats trouvés par Personnic *et al*. (2009), dans le lac d'Annecy. Les bactéries hétérotrophes ont montré une corrélation négative avec la chlorophylle a, le même résultat a été obtenu par Zhang *et al*. 2013 à l'estuaire de la rivière des Perles. Cependant, de nombreux chercheurs ont observé une corrélation significative entre les bactéries et chlorophylle a dans divers écosystèmes, y compris la baie de Chesapeake (Ducklow *et al.*, 1999), le panache du fleuve Mississippi (Liu *et al.*, 2004), l'estuaire Danshui (Tsai *et al* ., 2011) et le sud de la mer de Chine méridionale (Yuan *et al.*, 2011), indiquant que la production primaire fournit la majorité du carbone nécessaire à la production de bactéries hétérotrophes dans ces milieux. Dans de nombreux environnements estuariens, la relation entre les bactéries hétérotrophes et la production primaire est faible ou inexistante (Shiah et Ducklo, 1994; Kelley *et al*, 1998) parce que le carbone organique dissous et la croissance bactérienne dépend surtout d'autres sources phytoplanctoniques non carbonées (Fouilland et Mostajir 2010). La production bactérienne et la chlorophylle**a** se sont avérées significativement plus élevées dans le bassin eutrophes du lac Érié, et de l'Ohio aux Etats-Unis, que dans les bassins les moins productifs (DeBruyn *et al*. 2004). Certains nutriments, plus particulièrement l'azote et le phosphore, limitent la croissance des bactéries hétérotrophes car plus il y aura d'azote et de phosphore disponibles, plus la croissance bactérienne augmentera (Felip *et al.*, 1996; Vadstein *et al.*, 2003). De plus, une température plus élevée engendre une augmentation du métabolisme des bactéries tandis qu' une température plus basse entraine un ralentissement de leur métabolisme (Felip *et al.* 1996; Addy et Green, 1997). Pour les facteurs biologiques, on retrouve les prédateurs, comme le zooplancton, les flagellés et les ciliés, ainsi que les virus qui correspondent aux bactériophages principaux dans la retenue de Sidi Salem (Ben Romdhane *et al*. 2014).

La présente étude, permet de distinguer deux groupes de bactéries marquées par leur degré fluorescence de leur ADN lors de la coloration avec le Syber green I. Les bactéries à affinité élevée pour l'ADN (HDNA) représentent la fraction active. Les HDNA semblent avoir une contribution se situant entre 77% et 100% de la production bactérienne totale, tout dépendant des milieux, et les LDNA contribuent en moyenne 5 à 20% de la production bactérienne (Lebaron *et al.* 2001; Zubkov *et al.* 2001; Servais *et al.* 2003). Ainsi, les HDNA sembleraient participer à la plus grande partie de la transformation de la matière en biomasse. Les bactéries contenant un taux élevé de (HDNA) sont considérées comme étant les plus actives. De ce fait, les HDNA sont considérées comme étant le groupe dynamique de la communauté bactérienne totale de la chaine aquatique, compte tenu de leur croissance plus rapide.

La distribution des deux groupes dans cette étude était très semblable, nos résultats sont identiques à ceux présentés par Li & Dickie (2001), qui ont énuméré les bactéries de la surface des eaux côtières au cours des cycles annuels successifs et constatent que les tendances de l'abondance saisonnière étaient très similaires pour les deux groupes.

BIBLIOGRAPHIE

Addy K. and Green L. 1997-Dissolved oxygen and temperature. *Natural Ressources Facts.* Fact Sheet no. 96-3

Ben Romdhane S., El Bour.M, Hamza A., Akrout F., Kraiem M.M. and Jacquet S. 2014 Seasonal patterns of viral, microbial and planktonic

communities in Sidi Salem: A freshwater reservoir (North of Tunisia). *Ann. Limnol. - Int. J. Lim*. 50 : 299–314.

Bernard L. Courties C., Duperray C., Schäfer H., Muyzer G., and Lebaron P., 2001- A new approach to determine the genetic diversity of viable and active bacteria in aquatic ecosystems. *Cytometry*. 43:314-321

Bianchi A. Tholosan O., Garcin J., Polychronaky T., Tselepides A., Buscail R., Duineveld G., 2003. Microbial activities at the benthic boundary layer in the Aegean Sea. *Progress in Oceanography*. 57:219-236

Brussaard C. P. D., 2004- Optimization of procedures for counting viruses by flow cytometry. *App. and Environ. Microb. 70*. 1506–1513.

De Byun JM, Leigh-Bell JA, McKay RML, Bourbonniere RA, Wilheim SW, 2004- Microbial distributions and the impact of phosphorus on bacterial activity in Lake Erie. *Journal of Great Lakes Research* , 30 : 166–183.

Ducklow, H.W., Schultz, G., Raymond, P., Bauer, J., Shiah, F.K., 1999- Bacterial dynamics in large and small estuaries. In: Bell C. R., Brylinsky, M., Johnson-Green, P. (Eds.). Microbial ecology of estuaries. Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax Canada,. 105-111

Felip M., Pace ML. and Cole JJ. 1996- Regulation of planktonic bacterial growth rates: the effects of temperature and resources. *Microbial Ecology*. 31:15-28

Fouilland, E., Mostajir, B., 2010- Revisited phytoplanktonic carbon dependency of heterotrophic bacteria in freshwater, transitional, coastal and oceanic waters. *FEMS Microbiology Ecology* 73, 419-429.

Gauthier M.J., G.N. Flatau, R.L. Clément, 1990 - Influence of phosphate ions and alkaline phosphatase activity of cells on survival of Escherichia coli in seawater. *Microb. Ecol.*, 20 245-251

Gonzalez N., Anadon R. et Viesca L.2003. Carbon flux through the microbial community in a temperate sea during summer: role of bacterial metabolism. *Aquatic Microbial Ecology*. 33: 117-126

Jacquet S., Dorigo U. and Personnic S., 2013- A few tests prior to flow cytometry and epifluorescence analyses of freshwater bacterioand virioplankton communities, in: Flow Cytometry: Principles,Methodology and Applications, Chapter 1, Related Nova publication, Nova Publishers Inc., New York, 1–30 p.

Jaspers E., Nauhaus K., Cypionka H.,and Overmann J., 2001- Multitude and temporal variability of ecological niches as indicated by the diversity of cultivated bacterioplankton. *FEMS Microbiology Ecology*. 36: 153-164

Kelley, C.A., Coffin, R.B., Cifuentes, L.A., 1998- Stable isotope evidence for alternative bacterial carbon sources in the Gulf of Mexico. *Limnology and Oceanography* 43, 1962-1969.

Koroleff, F, 1969-Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. *Information on technique and methods for sea-water analysis interlab*. Rep 3: 19-22

Lebaron P., Servais P., Agogue H., Courties C., Joux F.,2001-Does the high nucleic acid content of individual bacterial cells allo us to discriminate between active cells and inactive cells in aquatic system? *Applied and Environmental Microbiology*. 76:1775-1782

Li, W. K. W. & P. M. Dickie, 2001-Monitoring phytoplankton, bacterioplankton, and virioplankton in a coastal Inlet (Belford bassin) by flow cytometry. Cytometry 44: 236–246.

Liu, H. B., Dagg, M., Campbell L., Urban-Rich, J., 2004.- Picophytoplankton and bacterioplankton in the Mississippi River Plume and its adjacent waters. *Estuaries* 27, 147–156.

Mouelhi, S., 2000.-Etude écologique de la retenue de Sidi Salem : Aspects physico-chimiques des eaux et dynamique des peuplements zooplanctoniques. Thèse de doctorat en sciences biologiques, université de Tunis II. 289 p.

Nabli M.H., 1995- Essai de synthèse sur la végétation et la phyto-écologie Tunisienness. Imprimerie officielle de la République Tunisienne. 542p.

Personnic S., Domaizon I., Dorigo U., Berdjeb L., and Jacquet S., 2009- Seasonal and spatial variability of virio-, bacterio-, and picophytoplanktonic abundances in three peri-alpine lakes.– *Hydrobiologia* 627: 99–116

Ryding S.O., Rast W., 1994.-Le contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs. Collection Sciences de l'environnement. Masson UNESCO Paris. 261p

Servais P., Casamayor E.O., Courties C., Catala P., Parthuisot N., Lebaron P 2003-Activity and diversity of bacterial cells with high and low nucleic acid content. *Aquatic Microbial Ecology*. 33:41-51

Shiah, F.K., Ducklow, H.W., 1994.- Temperature regulation of heterotrophic bacterioplankton biomass, production and specific growth rate in the Chesapeake Bay. *Limnology and Oceanography* 39(6), 1243-1258.

Smith E. 1998 - Coherence of microbial respiration rate and cell-specific bacterial activity in a

coastal planktonic community. *Aquatic Microbial Ecology*. 16:27-35

Tsai, A.Y., Gong, G.C., Chiang, K.P., Chao, C.F., Liao, H.K., Shiah, F.K., 2011-Temporal and spatial variations of picoplankton and nanoplankton and short-term variability related to stormy weather in the Danshui River estuary in northern Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Science* 22, 79-89.

Vadstein, O., Olsen, L.M., Busch, A., Andersen, T. and Reinertsen, H.R.2003- Is phosphorus limitation of planktonic heterotrophic bacteria and accumulation of degradable DOC a normal phenomenon in phosphorus-limited system? A microcosm study. *FEMS Microbiology Ecology*. 46:307-316

Yuan, X.C., He, L., Yin, K.D., Pan, G., Harrison, P.G., 2011- Bacterial distribution and nutrient limitation in relation to different water masses in the coastal and northwestern South China Sea in late summer. *Continental Shelf Research* 31, 1214-1223.

Zhang Xia, Zhen Shi, Qingxia Liu, Feng Ye, Lei Tian, Xiaoping Huang ., 2013-Spatial and temporal variations of picoplankton in three contrasting periods in the Pearl River Estuary, South China. *Continental Shelf Research*, 1-40.

Zubkov M.V, Fuchs B.M., Burkill P. H., and Amann R, 2001-Comparison of cellular and biomass specific activities of dominant bacterioplankton groups in stratified waters of the Celtic Sea. *Applied and Environmental Microbiology*. 67: 5210-5218

La dynamique sédimentaire au voisinage du port de pêche de Zarzis

Mouldi Brahim, S. Hosni et A. ATOUI
Institut National des Sciences et Technologies de la Mer- Salammbô-Tunis 28, rue de 2 mars 1934, 2025 Salammbô, Tunisie.
mouldi.brahim@instm.rnrt.tn

ملخص

ديناميكية الرواسب على حواف ميناء الصيد بجرجيس: إن التحاليل التي وقع إجراءها على الرواسب البحرية بيّنت تواجد ثلاثة أحجام من الرواسب، وهي متكوّنة من رمال دقيقة ومتوسطة وخشنة.
وهي متوزعة بطبقات متفاوتة ، إذ نلاحظ تراصف الرمال الدقيقة على حواف المرسى **بالمرفأ**.
ويعود تواجد الرمال الدقيقة بهذه الأماكن إلى الأمواج الهائلة التي تحملها إلى هناك خلال العواصف **الكبرى**.
وقد بين تحليل هذه الجزئيات الدقيقة تواجد الطين والسيلت بنسب متفاوتة إذ تفوق كمية السيلت المتواجد كمية الطين.
أما تحليل نسبة تواجد المعادن فقد أظهر تواجد مادة الرمل والكلسيت والطين.
الكلمات مفاتيح: حجم الرواسب، المعادن، ديناميكية الرواسب، ميناء الصيد بجرجيس، خليج قابس.

RESUME

L'analyse des sédiments montre que les courbes cumulatives semi-logarithmiques de la granulométrie grossière (>63 µm) sont en forme de S dans la majorité des échantillons Il montre que les sables sont transportés dans un milieu plus au moins agité. L'analyse granulométrique des sédiments de surface montre la présence des trois faciès bien distincts. Ces faciès sont constitués de sables fins, de sables moyens et de sables grossiers. Ces sables sont mal classés à modérément classés. On constate une accumulation des sables fins à l'amont et juste à l'aval de la jetée du port. La jetée joue un rôle essentiel de piégeage des sédiments fins à l'amont. La présence à l'aval de la jetée des sédiments fins est la conséquence du transport de ces sédiments par les houles pendant les grandes tempêtes.
L'analyse de la fraction fine des sédiments montre qu'il ya des argiles et les silts à des proportions variables. En effet, les silts présentent un pourcentage plus important que celui des argiles. Ces sédiments fins auraient pu être piégés dans des milieux très calmes ou transportés par un courant de turbidité.
L'analyse minéralogique montre que les minéraux non argileux sont constitués de Quartz, de la calcite, de la calcite magnésienne, de la dolomite et des feldspaths. Le quartz est le minéral le plus abondant. Les minéraux argileux sont formés de l'Illite, de la Kaolinite et du Chlorite. Le minéral le plus abondant est l'Illite.
Mots clés : Granulométrie, minéraux, Dynamique sédimentaire, port de pêche de Zarzis, Golfe de Gabès.

ABSTRACT

Sediment dynamics in the vicinity of the fishing port of Zarzis : The sediment analysis shows that the semi-logarithmic cumulative curves of the coarse particle size (> 63 microns) are S-shaped in the majority of samples. It shows that the sands are transported in an environment more or less agitated. Particle size analysis of surface sediments shows the presence of three distinct faces. These faces are made up of fine sand, medium sand and coarse sand. These sands are poorly sorted to moderately sort. There is an accumulation of fine sands upstream and just downstream of the harbor jetty. The pier plays an essential role trapping fine sediments upstream. The presence downstream of the pier fine sediments is the consequence of this sediment transport by waves during major storms.
The analysis of the fine fraction of the sediments shows that there are clays and silts in varying proportions. In fact, silts have a higher percentage than that of clays. These fine sediments could be entrapped in very quiet environments or transported by turbidity current.
Mineralogical analysis shows that the non-clay minerals consist of quartz, calcite, magnesium calcite, dolomite and feldspar. Quartz is the most abundant mineral. Clay minerals are composed of Illite, kaolinite and Chlorite. The most abundant mineral is Illite.
keywords: Grain size, minerals, sedimentary dynamics, fishing port of Zarzis, Gulf of Gabes

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est située au Sud-est de la Tunisie. Elle est située entre 33°32' et 33°26' de latitude Nord et 11°05' et 11°06' de longitude Est, entre Souihel et Al'Alandayah. Elle est bordée au Nord-ouest par l'île de Djerba et à l'Est par la mer Méditerranée. Elle est très appréciée par son microclimat, entre désert et mer (DGSAM, 1997).

De nombreuses zones côtières sont soumises à une érosion grave menaçant les sites côtières du patrimoine national (Paskoff, 2004; Oueslati, 2004). En Tunisie, l'une des régions les plus touchées par la pression de l'érosion est le golfe de Gabès qui représente 65% de la production de poisson tunisienne (DGAP, 2005-2009), et abrite l'île de Djerba, Tunisie plus importante attraction touristique. Plus précisément, l'île de Djerba érosion a eu lieu principalement dans la zone située entre Ras Taguermess et Ras Marmour où perturbation et de dégradation ont été signalés en raison de son budget sédimentaire (Paskoff, 2004; Oueslati, 2004; Masmoudi et al. 2005, 2010).

Le littoral de la presque île Zarzis appartient à la plaine côtière de Jeffara qui s'étend des reliefs de plateau Dahar jusqu'à la mer. Cette dernière montre des formations marines et continentales (Bouaziz et al, 2003; Jedoui, 1980, 2000).

Dans une tentative d'identifier les facteurs à l'origine d'un tel déséquilibre du bilan sédimentaire, les études ont montré que des facteurs naturels tels que le vent, les vagues, les marées, les activités anthropiques sont responsables de ce déficit d'approvisionnement de sédiments des terres d'origines exoréique (Miossec et Paskoff, 1978; Bourgou, 1993; Oueslati, 2004; Rekik et al., 2012)

La plage, dite l'abattoir, située contre la face septentrionale du port de pêche, a connu un élargissement assez sensible ; elle est aujourd'hui large de 50 à100 m sur environ 300 m de front de mer. De l'autre côté, l'érosion s'est accélérée. La vitesse avec laquelle le rivage a reculé a donc pu atteindre une valeur voisine de 8 m par an (Oueslati, 2004).

Ce travail s'intègre dans une étude multidisciplinaire et il s'implique dans un projet national intitulé « la modélisation de la dynamique sédimentaire et la dispersion des polluants entre houmet Essouk et le port de pêche de Zarzis » et financé parle ministère de la recherche scientifique. Nous nous intéressons dans ce travail à étudier la dynamique sédimentaire à travers une étude granulométrique et minéralogique.

.

MATERIELS ET METHODES

Nous avons effectuées deux campagnes d'échantillonnage à Zarzis. Des prélèvements des sédiments des petits fonds ont été effectués à des profondeurs varient entre -2m et -10m, au total de 37 échantillons sur 8 radiales (tableau I1). La première compagne a eu lieu du 02 au 05 juillet 2013, nous avons effectué 20 échantillons. La deuxième compagne a été effectuée du 13 au 16 Novembre 2013, nous avons effectués 17 échantillons à bord d'un Zodiac de l'Institut National des Sciences et Technologies de Mer et par des plongés sous-marines. La position de chaque prélèvement a été effectuée à l'aide d'un GPS de type Radar).

Analyses granulométriques

Les échantillons des sédiments dont les tailles sont supérieures à 63 µm, ont été séchés à 50°C. Ils ont été ensuite tamisés sur une série de tamis de type AFNOR dont les mailles sont de dimensions : 1200,1000,800, 630, 500, 400, 315, 250,200, 160,100 et 63 µm.

Nous avons établi une courbe granulométrique semi logarithmique du diamètre des grains en fonction du pourcentage cumulé pour chaque échantillon et nous avons calculé des indices granulométriques tels que la moyenne (Mz), l'indice de classement (б), l'indice d'asymétrie (Skewness) et l'uniformité (U) (Folk et Word, 1957).

La micro granulométrie à été effectuée à l'aide du " Granulat Meter laser " sur la fraction inférieure à 63 µm. C'est une technique utilisée pour la détermination de la répartition des particules argileuses et de silts. Son but est de déterminer le pourcentage de la fraction argileuse fine inférieure à 4µm et à la détermination du volume des particules et leurs pourcentages cumulés. L'appareil utilisé est le "granulomètre laser Masterseizer" qui comprend un logiciel de traitement des données **(**Delaune et al, 1991)**.**

Le principe consiste à l'introduction de la substance à étudier dans la cellule de l'appareil ; un faisceau laser émis par une source passe dans cette cellule et mesure le volume des particules circulant à travers cette cellule. Le logiciel calcule, par la suite, le pourcentage cumulé des refus et donne une courbe micro-granulométrique. La gamme de volumes des particules mesurés est comprise entre 0,01µm et 3000 µm. Les résultats fournis par le granulomètre laser Masterseizer sont représentés sous forme de courbes cumulatives dans un diagramme semi-logarithmique

Analyses minéralogiques

Les analyses minéralogiques consistent à déterminer les minéraux argileux et non argileux par diffraction aux rayons X, en utilisant un diffractomètre menu d'un monochromateur à anticathode de cuivre qui sert à émettre la radiation Kα du cuivre (Rivière, 1952, 1953; Deng et al. 2009).

Cette méthode consiste à utiliser la propriété de diffraction d'un faisceau monochromatique de rayons

X par les plans réticulaires, en se basant sur la loi de Bragg

a-Détermination des minéraux non argileux

Les minéraux non argileux sont déterminés à partir de l'analyse minéralogique du sédiment total par la " la méthode de poudre ". Cette méthode consiste à irradier l'échantillon bien broyé par les rayons X.

Le pourcentage semi-quantitatif de chaque minéral est déterminé par le rapport de hauteur du pic principal du minéral sur la somme des hauteurs des pics principaux des autres minéraux présents.

b - Détermination des minéraux argileux

Les minéraux argileux sont déterminés par analyse des fractions fines concernées.

Les minéraux sont reconnus sur les diffractogrammes grâce à leurs raies caractéristiques. La teneur semi-quantitative de chaque minéral est déterminée en mesurant les surfaces des pics .

Tableau I: Pourcentages des fractions fines (% < 63 µm) et grossières (% > 63 µm):

Station	Latitude	Longitude	Date	Profondeur (m)	%>63µm	%<63µm
P1	N33°29.511'	E11°07.012'	03/07/2013	2.3	97.418	2.582
P2	N33°29.590'	E11°07.172'	03/07/2013	2.9	93.775	6.225
P3	N33°29.563'	E11°07.238'	03/07/2013	4.1	95.457	4.543
P4	N33°29.203'	E11°07.498'	03/07/2013	5.2	97.488	2.512
P5	N33°28.789'	E11°07.801'	03/07/2013	7.8	99.779	0.221
P6	N33°28.657'	E11°07.986'	03/07/2013	8.1	99.062	0.938
A1	N33°29.319'	E11°07.875'	03/07/2013	6.2	98.719	1.281
A2	N33°29.524'	E11°07.603'	03/07/2013	5.0	98.436	1.564
A3	N33°29.604'	E11°07.372'	03/07/2013	3.0	99.245	0.755
A4	N33°29.789'	E11°07.262'	03/07/2013	2.2	99.849	0.151
V1	N33°28.575'	E11°06.904'	04/07/2013	1.1	98.505	1.495
V2	N33°28.472'	E11°07.126'	04/07/2013	3.0	98.808	1.192
V3	N33°28.418'	E11°07.299'	04/07/2013	4.0	98.518	1.482
V4	N33°28.332'	E11°07.530'	04/07/2013	4.4	99.524	0.476
V5	N33°28.239'	E11°07.843'	04/07/2013	6.0	99.502	0.498
V6	N33°27.886'	E11°06.906'	05/07/2013	0.8	99.027	0.973
V7	N33°27.841'	E11°07.029'	05/07/2013	1.5	99.710	0.290
V8	N33°27.808'	E11°07.173'	05/07/2013	2.9	98.564	1.436
V9	N33°27.674'	E11°07.597'	05/07/2013	3.1	90.653	9.347
V10	N33°27.847'	E11°07.950'	05/07/2013	4.2	97.083	2.917
Aj1	N33°31.649'	E11°07.028'	14/11/2013	3,2	98.754	1.246
Aj2	N33°31.652'	E11°07.176'	14/11/2013	4,8	100.000	0.000
Aj3	N33°31.629'	E11°08.290'	14/11/2013	9,8	96.887	3.113
Aj4	N33°30.909'	E11°07.117'	14/11/2013	2,4	100.000	0.000
Aj5	N33°30.932'	E11°07.178'	14/11/2013	4,6	96.417	3.583
Aj6	N33°30.807'	E11°09.114'	15/11/2013	9,9	97.319	2.681
Aj7	N33°30.405'	E11°07.151'	15/11/2013	2,3	100.000	0.000
Aj8	N33°30.382'	E11°07.498'	15/11/2013	5.0	99.895	0.105
Aj9	N33°30.156'	E11°09.176'	15/11/2013	9,9	97.797	2.203
Aj10	N33°27.951'	E11°08.833'	15/11/2013	6,6	99.860	0.140
Aj11	N33°26.974'	E11°06.829'	16/11/2013	5,6	91.167	8.833
Aj12	N33°27.460'	E11°06.717'	16/11/2013	1.0	99.479	0.521
Aj13	N33°27.322'	E11°06.768'	16/11/2013	1,2	99.251	0.749
Aj14	N33°27.288'	E11°06.915'	16/11/2013	1,6	99.060	0.940
Aj15	N33°27.235'	E11°06.996'	16/11/2013	2.0	98.031	1.969
Aj16	N33°27.017'	E11°07.653'	16/11/2013	3,6	99.950	0.050
Aj17	N33°26.779'	E11°07.844'	16/11/2013	6,3	99.551	0.449

ANALYSE GRANULOMETRIE

1- La granulométrie grossière (d> 63µm)

Les sédiments de surface au voisinage du port de pêche de Zarzis présentent une fraction grossière (> 63 µm) qui varie entre 91 et 100%. La fraction fine (< 63 µm) présente des teneurs faibles, comprises entre 0 et 9% (tableau I). Les teneurs de la fraction fine sont inférieures à 10%. Les fortes teneurs de la fraction fine sont localisées au alentour de la jetée dans la partie amont et aval.

La majorité des sédiments prélevés au alentour du port sont caractérisés par des courbes cumulatives ayant la forme d'un S (Rivière, 1952, 1953; Lafond, 1953, 1965; Desprairies, 1974) peu régulière et plus au moins étalé (figure 1). Leur allure indique qu'il s'agit des sables homogènes à classement moyen et dans un milieu plus ou moins agité.
Les sédiments prélevés à l'aval du port sont caractérisés par un faciès hyperbolique, indiquant une hétérogénéité du stock sableux (figure 2). Ces sédiments sont donc déposés par décantation dans un milieu plus au moins calme où l'énergie est faible pour les remettre en suspension.
Cependant, quelques échantillons dont les courbes cumulatives semi-logarithmiques sont assimilables à des droites, présentent un faciès logarithmique (Figure 3). Ce faciès indique un dépôt par excès de charge lorsque la vitesse des courants diminue et se présente au niveau des deux stations V4 et V9.
Les courbes cumulatives semi-logarithmiques des sédiments prélevés au voisinage du port de pêche de Zarzis ont des formes plus ou moins hétérogènes. Cette différence est du à la variation de la dynamique.

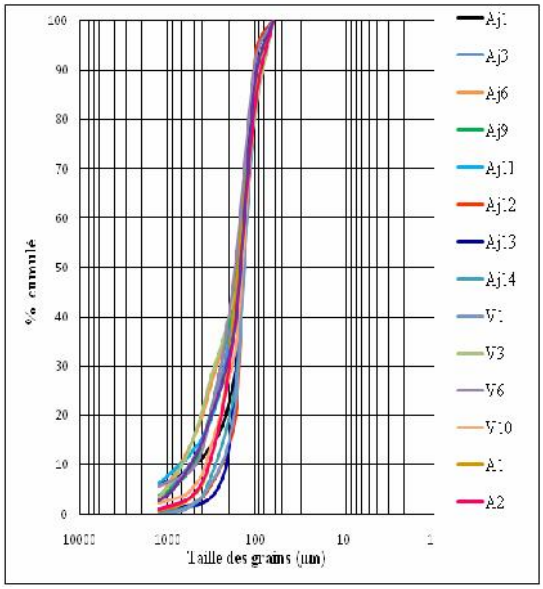


Figure 1: Courbes cumulatives en forme de S

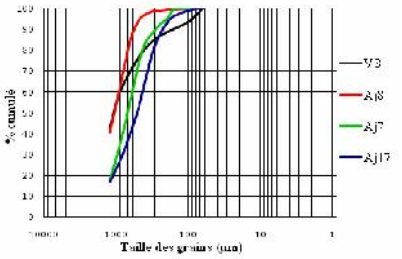


Figure 2: Courbes cumulatives en forme hyperbolique

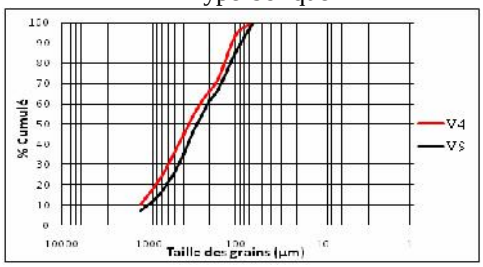


Figure 3: Courbes cumulatives en forme logarithmique

Moyenne
Les valeurs de la moyenne (Folk and Ward, 1957) de tous les échantillons varient entre 63 µm et 1400 µm (figure 4). Le sable fin est majoritaire, il présente 65% des échantillons, le sable grossier présente 19% alors que le sable moyen forme seulement 16%. Des sables fins sont accumulés en amont du port, les sables fins de la partie avale de la jetée sont accumulés en saison des grandes tempêtes. Les sables surmontent la jetée et se décantent à l'intérieur du port.
La courantologie dans la frange littorale de Zarzis est due à l'effet conjuguée de la marée et de la houle. La houle Nord-Est engendre des courants de dérive du Nord-ouest vers le Sud-est dans la frange littoral de Zarzis (Sammari et al. 2006 ; Brahim et al. 2014) qu'est à l'origine d'un transport sédimentaire de nord de Zarzis vers le port de pêche de Zarzis. Ceci est confirmé par l'accumulation des sédiments fins du côté du port de Zarzis et le tri granulométrique s'effectue du Nord vers le Sud. Le fond marin entre 0 et 20 m de profondeur est tapissé par trois faciès sableux du fin au grossier (Atoui et al. 2011, Brahim et al., 2014).

L'écart type :
Les valeurs de la l'écart type sont comprises entre 0.28 et 2.72. Elles permettent de différencier les groupes de sables suivants :

- Les sables très mal classé
- Les sables mal classés
- Les sables modérément classés

La majorité des échantillons prélevés au voisinage du port modérément classée à l'exception de quelques échantillons localisés au centre du port et vers l'aval et qui sont mal classés. Les stations Aj12 et Aj13 situées à l'aval du port à 1 m de profondeur, est caractérisés par des sables bien classés (Figure 5).

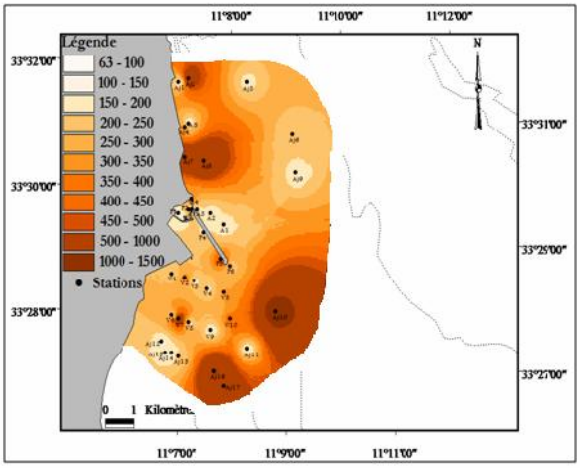


Figure 4: Distribution de la taille moyenne des grains

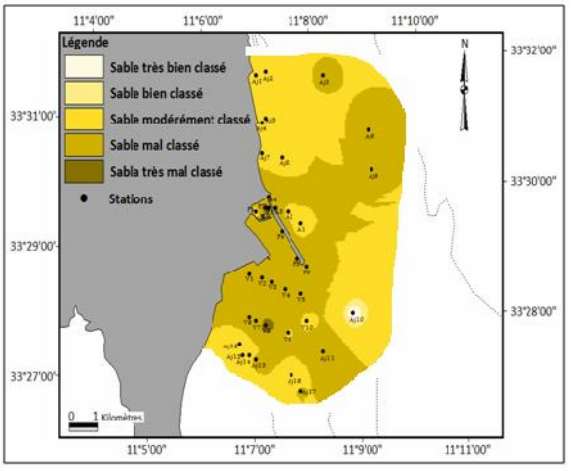


Figure 5: Distribution du classement

L'indice d'asymétrie (Ski)

L'indice d'asymétrie des sédiments varie de -0.44 à 0.74φ (tableau II) Les courbes granulométriques sont tous presque des courbes très asymétriques et asymétriques vers les gossiers. Les sédiments (P2, P5, A4, V5, V7, Aj13, Aj15 et Aj17) présentent des courbes presque symétriques, ainsi, les sédiments V2 et Aj7 présentent des courbes avec une asymétrie vers les fins et les courbes granulométriques des échantillons (V8, V9, Aj8, Aj10 et Aj16) sont très asymétriques vers les fins.

Le coefficient d'uniformité (U)

Le coefficient d'uniformité est inférieur à 2 pour tous les échantillons dont les sables présentent une granulométrie uniforme (tableau II).

Tableau II : Les indices granulométriques des sédiments des petits fonds

Station	Moyenne (MZ)	Nature du sable	L'écart type (σ)	Classement Du sable	Indice d'asymétrie (Ski)	U	Coefficient d'uniformité
P1	2.899	Sable fin	0.730	Mal classé	-0.120	0.454	Uniforme
P2	2.155	Sable fin	2.719	Très mal classé	0.021	0.087	Uniforme
P3	2.357	Sable fin	1.719	Mal classé	-0.127	0.156	Uniforme
P4	2.343	Sable fin	1.128	Mal classé	-0.239	0.247	Uniforme
P5	1.177	Sable moyen	1.053	Mal classé	-0.030	0.297	Uniforme
P6	2.201	Sable fin	1.285	Modérément classé	-0.413	0.153	Uniforme
A1	2.652	Sable fin	0.790	Mal classé	-0.121	0.414	Uniforme
A2	2.700	Sable fin	0.810	Mal classé	-0.170	0.391	Uniforme
A3	2.486	Sable fin	1.005	Mal classé	-0.447	0.247	Uniforme
A4	1.502	Sable moyen	1.046	Modérément classé	0.016	0.331	Uniforme
V1	2.223	Sable fin	1.297	Modérément classé	-0.409	0.154	Uniforme
V2	1.617	Sable moyen	1.274	Mal classé	0.127	0.292	Uniforme
V3	2.418	Sable fin	1.207	Modérément classé	-0.383	0.199	Uniforme
V4	2.389	Sable fin	1.190	Modérément classé	-0.404	0.2	Uniforme
V5	1.722	Sable moyen	1.055	Mal classé	0.002	0.339	Uniforme
V6	2.293	Sable fin	1.091	Mal classé	-0.274	0.248	Uniforme
V7	2.727	Sable fin	0.963	Mal classé	-0.149	0.343	Uniforme

V8	1.461	Sable moyen	0.907	Mal classé	-0.048	0.367	Uniforme
V9	0.433	Sable grossier	1.284	Mal classé	0.697	0.553	Uniforme
V10	2.422	Sable fin	2.651	Mal classé	0.330	0.158	Uniforme
Aj1	2.704	Sable fin	1.035	Mal classé	-0.366	0.264	Uniforme
Aj2	0.541	Sable grossier	0.645	Modérément classé	-0.250	0.464	Uniforme
Aj3	2.429	Sable fin	1.063	Mal classé	-0.372	0.263	Uniforme
Aj4	1.570	Sable moyen	1.006	Mal classé	-0.215	0.273	Uniforme
Aj5	3.165	Sable fin	0.716	Modérément classé	-0.196	0.400	Uniforme
Aj6	2.294	Sable fin	1.112	Mal classé	-0.460	0.200	Uniforme
Aj7	0.524	Sable grossier	0.837	Modérément classé	0.131	0.448	Uniforme
Aj8	-0.119	Sable grossier	0.702	Modérément classé	0.080	0.460	Uniforme
Aj9	2.408	Sable fin	0.999	Modérément classé	-0.435	0.306	Uniforme
Aj10	-0.525	sable grossier	0.285	très bien classé	0.285	0.829	Uniforme
Aj11	2.466	Sable fin	1.152	Mal classé	-0.393	0.214	Uniforme
Aj12	2.805	Sable fin	0.454	Bien classé	-0.212	0.532	Uniforme
Aj13	2.758	Sable fin	0.435	Bien classé	-0.014	0.650	Uniforme
Aj14	2.774	Sable fin	0.651	Modérément classé	-0.155	0.450	Uniforme
Aj15	2.081	Sable fin	1.212	Mal classé	0.008	0.263	Uniforme
Aj16	-0.581	Sable grossier	1.194	Mal classé	0.283	0.386	Uniforme
Aj17	0.800	Sable grossier	1.048	Mal classé	-0.120	0.261	Uniforme

Le mode de déplacement : diagramme de Passega

La représentation sur le diagramme de Passega (Garlan, 2004), nous a permis de distinguer que les stations sont réparties sur deux modes de transports principales : les segments PQ et OP et ON (figure 6).

- Le segment QP représente les sédiments transportés par saltation
- Le segment PO représente les sédiments transportés essentiellement par charriage.
- Le segment ON représente les sédiments transportés par roulement.

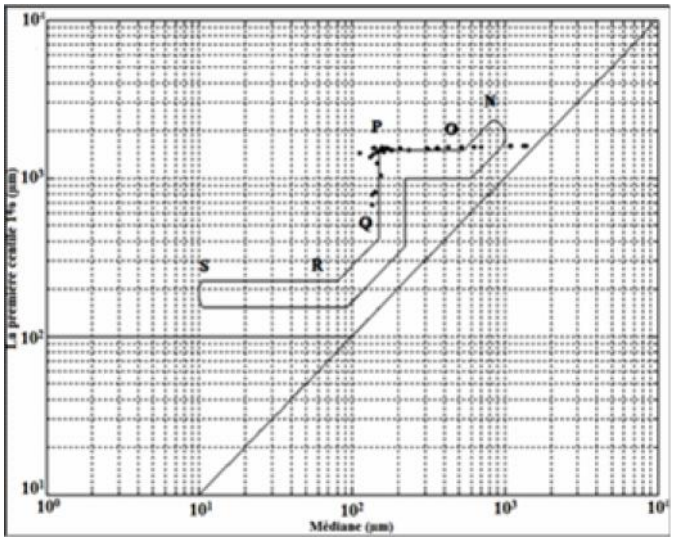


Figure 6: Diagramme de Passega

2- La granulométrie de la fraction fine :

Les courbes granulométriques cumulatives semi-logarithmiques montrent une ressemblance remarquable pour les échantillons analysés. Elles montrent l'hétérogénéité des stocks sédimentaires (Rivière, 1977). Ces stocks sont constitués d'argile et de silts.

La fraction de l'argile (diamètre < 4 µm) ne présente qu'un faible pourcentage de la microgranulométrie totale. Cette fraction présente un faciès hyperbolique (Barusseau and Venec-Peyre, 1973).. Cette fraction aurait été piégée dans un milieu calme. Elle représente le matériel interstitiel des sédiments de tailles plus grandes et qui ont une vitesse de chute plus grande. Ils se sont déposés dans un premier temps (Rivière, 1977). La fraction (diamètre > 4 µm) qui caractérise le silt, présente le pourcentage le plus important de l'échantillon total.

L'analyse de la micro granulométrie de la fraction fine des sédiments superficiels prélevés a permit d'identifier donc l'argile et le silt (Tableau III).

Tableau III: Teneurs en % des différents faciès granulométriques de la fraction fine

Echantillon	Profondeur	Argile	Silt			
			Très fin	Fin	Moyen	Grossier
		0 - 4 µm	4 - 8 µm	8 - 16 µm	16 - 30 µm	>30 µm
P2	2.9	13	9	17	26	35
P3	4.1	10	7	15	25	43
V9	3.1	6	4	5	14	71
Aj11	5.4	6	5	7	20	62

D'après les teneurs des différentes composantes de la fraction fine, on remarque que le pourcentage du silt est plus important que celui de l'argile. Le pourcentage de l'argile varie de 6% à 13%, alors que celui du silt varie de 87% à 94%. Les teneurs de l'argile les plus importantes sont localisées dans le port de pêche de Zarzis**.**

ANALYSE MINERALOGIQUE

1- Minéraux non argileux

L'analyse minéralogique des sédiments superficiels par diffraction aux rayons X montre que les principaux minéraux non argileux sont le Quartz, la Calcite, la Calcite magnésienne, le Feldspath (Rutile), la Dolomite et l'Halite (figure 7).

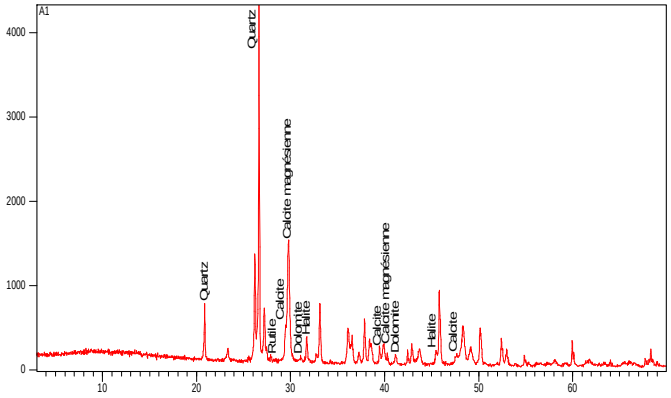


Figure 7: Diffractogramme aux rayons X des minéraux non argileux

- Le Quartz est le minéral le plus dominant. Il présente les plus fortes teneurs qui varient entre 12% et 91% (figure 8). Les teneurs du quartz diminuent en allant vers le large. Le Quartz aurait pour origines l'érosion de la formations géologiques limitrophes, les apports éoliens et es apports fluviatiles terrigènes détritiques.
- La Calcite magnésienne présente des teneurs comprises entre 3% et 54% (figure 8). Les teneurs les plus élevées de la calcite et la calcite magnésienne sont localisées vers le large. Ces minéraux auraient pour origine les débris coquilliers présent dans le secteur d'étude. La Calcite et la Calcite magnésienne peuvent être transportées par les cours d'eau.
- La Dolomite et les Feldspaths (Rutile) ont des teneurs qui varient entre 0% à 24% de l'échantillon total. Ces minéraux sont présents dans tout le secteur étudié. Ils auraient pour origine les apports détritiques terrigènes qui affleurent dans l'arrière pays.

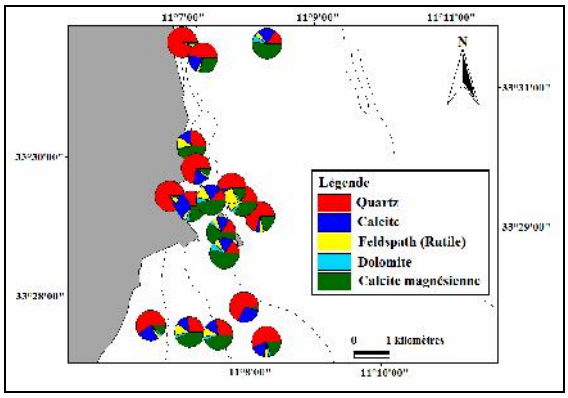


Figure 8: La répartition des pourcentages des minéraux non argileux

2- Minéraux argileux

L'analyse des minéraux argileux n'a été possible que dans quelques échantillons à cause du nombre réduit d'échantillons ayant une proportion appréciable de la fraction inféreieure à 4 µm. L'analyse par diffraction X des argiles a permis d'identifier les minéraux suivants : Illite, Kaolinite et Chlorite (tableau IV)

Tableau IV: Pourcentage des minéraux argileux dans les sédiments de surface

Echantillon	Illite	Kaolinite	Chlorite
P3	55	24	21
P2	79	10	11
V9	74	12	14
Aj11	95	2	3

La Kaolinite, l'Illite et le Chlorite sont localisés dans la plage sous-marine à des profondeurs allant de 5 à 10 m. La répartition de ces minéraux argileux permet de constater que l'Illite est le minéral le plus abondant (tableau IV). Il présente une teneur comprise entre 55% et 95 %, alors que les teneurs de la Kaolinite et du Chlorite sont faibles.

Le dépôt de l'illite se fait par gravité vue sa taille relativement grande. Il tend à se déposer dans les secteurs les plus calmes.

La Kaolinite héritée des formations géologiques bordières. Ce minéral est associé aux sédiments ayant un faciès typique de décantation (faible hydrodynamisme).

Le dépôt du Chlorite s'effectue en général à la faveur d'un phénomène de floculation électrochimique ou organon-minérale.

CONCLUSION

Les analyses granulométriques et minéralogiques ont pu montrer le rôle important que joue la jetée du port de pêche de Zarzis sur la dynamique sédimentaire dans la région.

Ces analyses ont pu montrer les conclusions suivantes :

- Les courbes cumulatives des sables des petits fonds de la plage sous-marine montrent que les sables sont transportés dans un milieu plus au moins agité avec évacuation des particules vers le large par les courants de retour.
- L'analyse granulométrique des sédiments de surface prélevés au voisinage du port de pêche de Zarzis montre que la plage sous-marine est tapissée par des sables fins, des sables moyens et des sables grossiers. Ces sables sont mal classés à modérément classés. Ils sont transportés, essentiellement, par charriage et par suspension gradée.

Les sables fins couvrent la partie amont du port de pêche et aussi l'aval de la jetée du port. La jetée du port de pêche de Zarzis joue un rôle très important sur la dynamique des sédiments au voisinage du port. En effet, elle piège les sédiments fins à l'amont. La houle de direction nord-est transporte ces sédiments fins à l'aval de la jetée pendant les grandes tempêtes.

- Les sables des petits fonds ne montrent pas un grano-classement net des grossiers vers les fins de la côte vers le large. Ceci est du à l'existence d'une énergie importante causée par la houle de direction nord-est et de la marée qui est importante dans la région.
- L'analyse microgarnulométique a montré l'existence des argiles et des silts à des proportions variables. Les sédiments fins sont transportés par suspension dans un milieu calme ou ils sont transportés par un courant de turbidité.
- L'analyse minéralogique montre que les minéraux non argileux les plus abondants sont le Quartz qui provient essentiellement de l'érosion des formations géologiques limitrophes et des apports éoliens et hydriques, la Calcite magnésienne et la Calcite qui ont pour origine les apports détritiques et les débris des coquilles, le Feldspath (Rutile) et la Dolomite (avec des faibles pourcentages).
- Les minéraux argileux sont constitués d'Illite de la Kaolinite et du Chlorite. Le minéral le plus abondant est l'Illite qui provient des apports solides transportés par les cours d'eaux limitrophes de la lagune de Boughrara.

La dynamique sédimentaire de la frange littorale de Zarzis est liée essentiellement à la houle de direction nord-est qui peut devenir très vulnérable et transporte les sédiments fins de l'amont à l'aval de la jetée. Elle est liée aussi à la marée qui est très importante dans cette région du golfe de Gabès

La jetée du port de pêche de Zarzis joue le rôle d'un mur de soutènement dont les sédiments transportés par la houle de direction Est et Nord-Est sont piégés dans la partie amont du port. Ces sédiments sont transportés par la houle à l'aval de la jetée pendant les saisons des grandes tempêtes.

Le phénomène d'érosion est du essentiellement à la forte énergie des houles et à la marée. Il est lié fortement à l'intervention de l'homme par les constructions balnéaires près de la plage (port de pêche, le port commercial et la construction balnéaire.

BIBLIOGRAPHIE

Atoui A., Mouldi B. et Chérif S. (2011), Contribution à l'étude hydrodynamique sédimentaire de la frange littorale de Zarzis (Tunisie), Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, EDITION 2, TANGER, MAROC.

Barusseau, J.P., Venec-Peyre, M.T., 1973. Interprétation des vasières de la plateforme Sud-Armoricaine (Golfe de Gascogne). C. R. Acad. Sci. Paris 18, 2505–2508.

Brahim, M., Atoui, A., Sammari, C., Aleya, L., 2014. Surface sediment dynamics along the eastern coast of Djerba Island (Gabes Gulf, Tunisia). J. Afr. Earth Sci. 92, 45–54.

Bouaziz, S., Jedoui, Y., Barrier, E., Angelier, J., 2003. Néotectonique affectant les dépôts marins tyrrhéniens du littoral sud-est tunisien: implications pour les variations du niveau marin. C. R. Géosci. 335, 247–254.

Delaune, M., Reiffsteck, M., Feller, C., 1991. L'analyse de sols et sédiments à l'aide du microgranulomètre «Sedigraph 5000 ET». Comparaison avec la méthode «pipette Robinson». Cah. Orstom, Sér. Pédol. 26, 183–189.

Deng, Y., White, G.N., Dixon, J.B., 2009. Soil Mineralogy Laboratory Manual. 11th ed. Published by the authors, Department of Soil and Crop Sciences. Texas A&M University, College Station, Texas, pp. 77843–2474.

Desprairies, A., 1974. Degré de représentativité des groupes de grains dans le rythme. Bull. Soc. Geol. De Fr. 7 XVI, p. 624.

Direction Générale des Ressources en Eau (1992), Ministère de l'Agriculture, Publication de la Ressources en Eau De Tunisie N°13.

Direction Générale des Services aériens et maritimes (1995-1997), L'étude de protection du littoral Tunisien contre l'érosion marine, phase I, rapport2, Actualisation des données météorologiques et de simulation de la houle.

Direction générale des services aériens et maritimes (1997), Etude d'extension du port de commerce de Zarzis, recueil des données de base et étude comparative des variantes.

Folk, R., Ward, W., 1957. Brazors river bars, a study in significance of grain size parameters. J. Sedim. Petrol. 27, 13–27.

Garlan, T., 2004. Apports de la modélisation dans l'étude de la sédimentation marine récente. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Techniques de Lille, 196 pp.

Jedoui, Y., 1980. Etude hydrologique et sédimentologique d'une lagune en domaine méditerranéen: Le bahiret el Boughrara (Tunisie). Thèse de 3èmecycle.Université de Bordeaux I, 190 pp.

Jedoui Y. (2000), Sédimentologie et géochronologie des dépôts littoraux quaternaires : reconstitution des variations des paléoclimats et du niveau marin dans le Sud-est tunisien. Faculté des sciences de Tunis, 338p.

Lafond, L.R., 1965. Etudes littorales et estuariennes en zone tropicale humide. Thèse de Doctorat d'Etat, Orsay, 201pp.

Lafond, L.R., 1953. Sur l'évolution granulométrique des sédiments dans le Bassin de la Vilaine. Bull. Soc. Geol. De Fr. 6, 75p

Masmoudi, S., Yaich, Ch., Kamoun, M., 2005. Evolution et morphodynamique des îles barrières et des flèches littorales associées à des embouchures microtidales dans le Sud-Est tunisien, Bulletin de l'institut Scientifique, section Sciences de la Terre, pp. 65–81.

Masmoudi S. (2010), Evolution morphologique sédimentologique et variation du niveau de la mer de l'holocène à l'actuel : cas du système de côtes barrières de Jerba-Zarzis (Sud-est tunisien). Faculté des sciences de Sfax, Tunis, 307p.

Miossec, J.M., Paskoff, R., 1979. L'érosion des plages dans le sud tunisien: exemples à Jerba (côte est et sud-est) et à Zarzis. Revue Tunisienne de Géographie 2, 137–155.

Oueslati, A., 2004. Littoral et aménagement en Tunisie. Des enseignements de l'expérience du vingtième siècle et de l'approche géoarchéologique à l'enquête prospective. Faculté des Sciences humaines et Sociales Tunis. ISBN 534p.

Paskoff R. (2004), L'érosion des côtes : le cas des plages de l'île de Djerba (Tunisie), la houille blanche/N°1-2004.

Paskoff R. (2010), Les littoraux : impact des aménagements sur leur évolution, Géographie, ARMAND Colin, 3ème collection.

Paskoff, R., Sanlaville, P., 1978. Sur l'origine de la formation Tlêt et sa place dans la stratigraphie du Quaternaire récent de la région de Jerba-Zarzis (Sud tunisien). C.R. Acad. Sci., Paris, Série D, t.287(14), pp. 1265–1268.

Rekik, A., Drira, Z., Guermazi, W., Elloumi, J., Maalej, S., Aleya, L., Ayadi, H., 2012. Impacts of an uncontrolled phosphogypsum dumpsite on summer distribution of phytoplankton, copepods and ciliates in relation to abiotic variables along the near-shore of the southwestern Mediterranean coast. Mar. Pollut. Bull. 64, 336–346.

Rivière, A., 1952. Expression analytique générale de la granulométrie des sédiments meubles. Bull. Soc. Géol. Fr. 61, 155.

Rivière, A., 1953. Méthode d'interprétation des granulométries des sédiments meubles. Rev. Inst. Fr. du Pétrole et Annales des combustibles liquides, vol. 8, pp. 102–1952.

Roberge, C., Long, B., 2003. Etude de l'estimation de transport sédimentaire sur le littoral Nord-Est de Jerba, Tunisie, Conférence canadienne sur le littoral, 17pp.

Sammari, Ch., Koutitonsky, V.G., Moussa, M., 2006. Sea level variability and tidal resonance in the gulf of Gabes, Tunisia. Cont. Shelf Res. 26, 338–350

Etude descriptive de l'évolution saisonnière des dunes bordières de la plage de Korba (façade orientale, Cap Bon) par la méthode des Modèles Numériques de Terrain Résiduel

Zouhour YAHYAOUI[1], N. RBAI[2] et A. SAADI[1]

[1]Faculté des Sciences de Tunis Université Tunis El Manar, 2092, Tunis, E-mail : zouhour80@yahoo.fr; saadi.abdeljaoued@fst.rnu.tn

[2] Université Tunis El Manar/Faculté des Sciences de Tunis Département de Géologie. Unité de recherche UR 11ES14 Dynamiques des bassins sédimentaires et structures géologiques. *rebainoamen@gmail.com*

ملخص

دراسة وصفيّة للتطوّر الموسمي للكثبان الرّمليّة الحديثة المحيطة بشاطئ قربة (الواجهة الشرقيّة، البرج الطّيّب) بمنهج نموذج التضاريس الرّقمي المترسّ : دراسة ديناميكيّة الكثبان الرّمليّة التي تحد شاطئ قربة من الأعلى تتمحور حول تحليل و قياس تطوّرهم الموسمي من خلال منهجية رقميّة و توبوغرافيّة. هذه الأخيرة تتبلور في تمثيل مورفولوجية الكثبان الرمليّة الحديثة ووصف تطوّرهم من خلال نماذج التضاريس الرّقميّة.

أهمّ النّتائج التي تحصّلنا عليها من خلال هذه المتابعة، تثبت أنّ التطوّر المورفولوجي للكثبان الرمليّة الحديثة يتجسّد في ثلاث مناطق، بنوعين من المقاطع: مقطع شتوي، يتميّز بعجز في المخزون الرّملي في كلّ من الشاطئ و الكثبان الرّمليّة التي تحدّه من الأعلى و مقطع صيفي و يتميّز بتضخّم في الشاطئ و إعادة بناء للكثبان.

نتائج هذه القياسات التوبوغرافيّة خلال موسمين متشابهين و أخرى خلال موسمين مختلفين، مكّنتنا من إحداث نماذج تضاريسيّة رقميّة مترسّبة و هم بمثابة حساب الفرق بين نموذجين رقميّين اثنين. هذا المنهج، مكّننا من قياس التغيّر التّوبوغرافي للكثبان الرّمليّة المحيطة بفعل العوامل المناخيّة (الرّياح، الأمواج،...) و الإحيائيّة (نباتات، حيوانات، الإنسان،...) كما مكّنت من تقدير حجم حركيّة الكثبان الرمليّة الموسميّة. فهو يقدّر ببعض الملّيمترات بين فترات صيفيّة متباعدة في الزّمن إلى بعض السنتيمترات ثمّ المتر إثر العبور من فترة شتويّة متقلّبة إلى فترة صيفيّة هادئة.

المغزى من هذه الدّراسة، يتمثّل في إضافة معلومة موثوق بها و دقيقة حول الديناميكيّة الموسميّة للكثبان الرّمليّة الحديثة التي تحيط بشاطئ قربة قصد إدماج خاصيّات هذه الوحدة الجيومرفولوجيّة في سياق التّخطيط لحماية الشّريط السّاحلي

الكلمات المفاتيح : شاطئ قربة, الكثبان الرّمليّة, نماذج التضاريس الرّقميّة, نماذج تضاريسيّة رقميّة مترسّبة, الديناميكيّة الموسميّة.

RESUME

L'étude de la dynamique des dunes bordières de la plage de Korba consiste à analyser et quantifier leur évolution saisonnière en se basant sur une approche numérique et topographique. Celle-ci se traduit par une représentation de la morphologie des dunes bordières et la qualification de leur évolution par la création des Modèles Numériques de Terrain (MNT). Les principaux résultats obtenus au cours de cette étude montrent que l'évolution morphologique des dunes s'exprime, suivant trois zones, par deux types de profils : un profil d'hiver avec l'amaigrissement de la plage et des dunes bordières et un profil d'été marqué par l'engraissement et la reconstitution des dunes. Nous avons généré à partir des levés topographiques, sur deux époques différentes, les Modèles Numériques de Terrain Résiduels. Ces derniers ont permis de quantifier la variation topographique des dunes bordières contrôlée par les facteurs climatiques (houles, vents, tempêtes,…) et écologiques (faune et flore). Cette démarche, a permis l'estimation de l'ampleur du mouvement dunaire au cours des saisons. Il est de l'ordre de quelques millimètres entre deux périodes estivales successives et de l'ordre de quelques centimètres à un mètre en passant d'une période hivernale agitée à une période estivale calme. L'objectif de cette étude est de fournir une information fiable et facilement accessible sur la dynamique et la cinématique saisonnière des dunes bordières afin d'intégrer les spécificités de cette unité géomorphologique dans la politique de planification de la protection du littoral.

***Mots-clés*:** Dunes bordières, Modèles Numériques de Terrain (MNT), Modèles Numériques de Terrain Résiduels (MNTR), Évolution saisonnière, Plage de Korba

ABSTRACT

Descriptive Study of the seasonal evolution of bordering dunes of Korba beach (Northern East of the Cap Bon - Tunisia) using Residual Digital Terrain Model Method : The study of the dynamic of bordering dunes of the beach of Korba consist of analyse and quantify their seasonal evolution according to numerical and topographic approach. This is defined by representation of the morphologyof bordering dunes and the qualification of their evolution by using the Digital Terrain modeling (DTM). The principal results obtained show that the morphological evolution of dunes can be synthesized according to two profiles, in reaction to

hydrodynamic variability. The winter profil, when the conditions of agitations increase in autumn, bordering dune and beach are destructed and summer profil when the conditions of agitation are week, we marqued an accretion of both of dune and beach. We have generated from the topographic sunrises, on two different periods, the Residual Digital terrain Model. The latter allowed quantifying topographic variation of bordering dunes controlled by climatic and ecological factors. This approach allowed the estimation of the scale of seasonal dune mobility. It is of the order of few millimeters between two different summer periods and some centimeters in one meter between winter and summer periods.
The aim of this study is to provide reliable information of dynamics and seasonal kinematics of bordering dunes in order to integrate specificities of this geomorphologic unit in the politics of planning to protect the coast.
Key words: bordering dunes, Digital Terrain Model, Residual Digital Terrain Model (RDTM), seasonal Evolution, Korba beach

INTRODUCTION

Les dunes côtières, à l'échelle de la planète, subissent en permanence des pressions d'origine naturelle ou anthropique (Carter, 1988 ; Paskoff, 1983). La mise en évidence de l'action de ces forçages est difficile car ces milieux sont naturellement très dynamiques et les modifications morphosédimentaires sont le résultat d'interactions complexes entre la topographie, le couvert végétal et les processus éoliens et hydrauliques (Hesp , 2002 ; Andrew et *al.*, 2002 ; Vallejo et *al.*, 2006) auxquelles s'ajoute l'action anthropique (Pye., 1990). L'évaluation de leur vulnérabilité et de leur potentiel de résilience constitue un enjeu surtout lorsqu'elles jouent un rôle de défense des côtes basses fortement aménagées (Suanez et Stéphan, 2006).

En outre, si un consensus est aujourd'hui établi autour de la nécessité de préserver la mobilité naturelle des milieux dunaires (Durand, 1999), ce principe n'est pas toujours appliqué et des zones où des dunes côtières sont en voie d'urbanisation : c'est le cas d'une partie du littoral de Korba (fig.1). Cette étude portant sur la dynamique côtière des dunes bordières repose sur trois levés topographiques successifs (hiver et été) qui sont traités et représentés par un MNT à chaque cycle de mesures (mesures en été et en hiver).

Le MNT Résiduel est la différence entre deux MNT représentant les ecteurs en érosion et en accrétion entre 2 levés topographiques. Cette approche souvent appliquée est considérée intéressante pour l'étude des dunes bordières. Elle se traduit par la quantification de l'évolution spatio-temporelle des dunes basée sur les levés topographiques en X, Y, Z. Ainsi, l'objet de notre étude est d'analyser et d'estimer l'évolution physiographique des dunes bordières sur de courtes périodes (entre 2 saisons : été et hiver) en utilisant les MNT résiduels. L'analyse de la mobilité des dunes, étant un facteur déterminant dans la compréhension de l'évolution du littoral (Demba et *al.*, 2006 ; Psuty and Silveira, 2009), afin d'anticiper les changements physiographiques des dunes sur de longues périodes pluriannuelles et delà optimiser les plans d'aménagement et de protection des littoraux.

SECTEUR D'ETUDE

1 Localisation et cadre géomorphologique

La ville de Korba se situe sur le littoral Nord oriental du Cap Bon à environ 20 Km au nord de la ville de Nabeul (entre les parallèles 36°30' et 37°3' de latitude Nord et entre les méridiens 10°52' et 10°55' de longitude Est).

Le littoral de Korba présente une morphologie côtière relativement homogène (fig. 1). Il est notamment marqué par l'extension de deux Km environ du cordon dunaire et d'une plage large entre 40 à 100 m et à faible pente (< 1%) (Oueslati, 2004) délimitée par les oueds « Chiba » au nord et « Korba » au sud (fig. 2). Le cordon dunaire y est assez régulier et ; celui-ci est recouvert par une végétation diversifiée (Exemple : Amophilia arenaria, Eruguim maritimum, Salsola Kali, Mesembrianthemum edule, Saccharum..) dont le taux de recouvrement est de l'ordre de 35% (Yahyaoui, 2006).

Sur une linéaire côtier de 2 Km, la côte est rectiligne, sableuse, adossée, à un système de dunes bordières actives plus ou moins stabilisé par la végétation. Du sud au nord, son profil passe de la simple avant-dune (foredune) à des structures polygéniques présentant plusieurs générations de dunes (Fig. 1 et 2).

Leurs altitudes ne dépassent pas 4 m. En allant vers la partie sud du secteur d'étude (direction Oued Korba), les dunes sont fortement dégradées et leurs altitudes ne dépassent pas 1 m. Les causes de dégradation sont principalement : le régime nettement dominant des vents de terre, limitant le développement des avant-dunes, des sables difficilement mobilisables par les vents de mer et la forte fréquentation estivale ayant engendré une dégradation importante des avant-dunes (E.R.I, 2000).

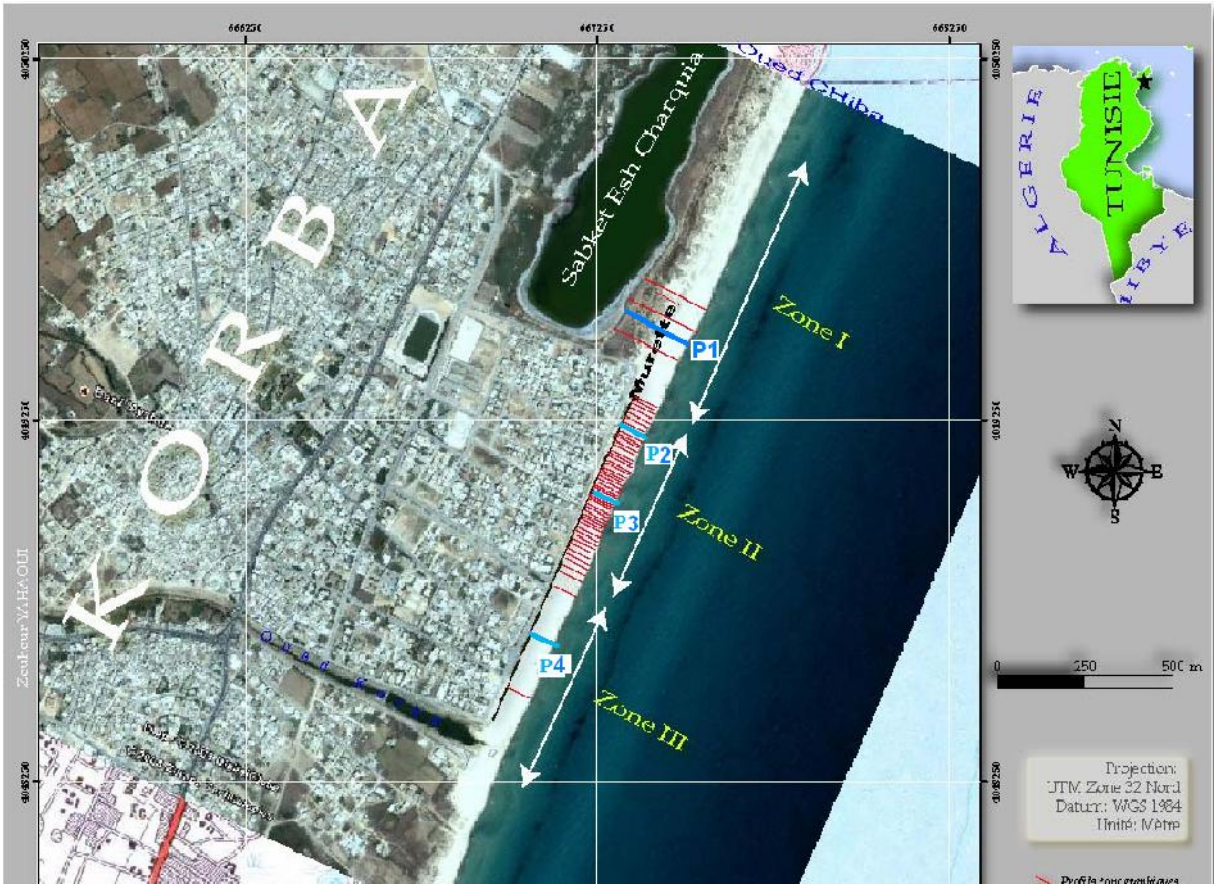


Fig. 1 : Découpage de la zone d'étude et localisation des profils topo-morphologiques

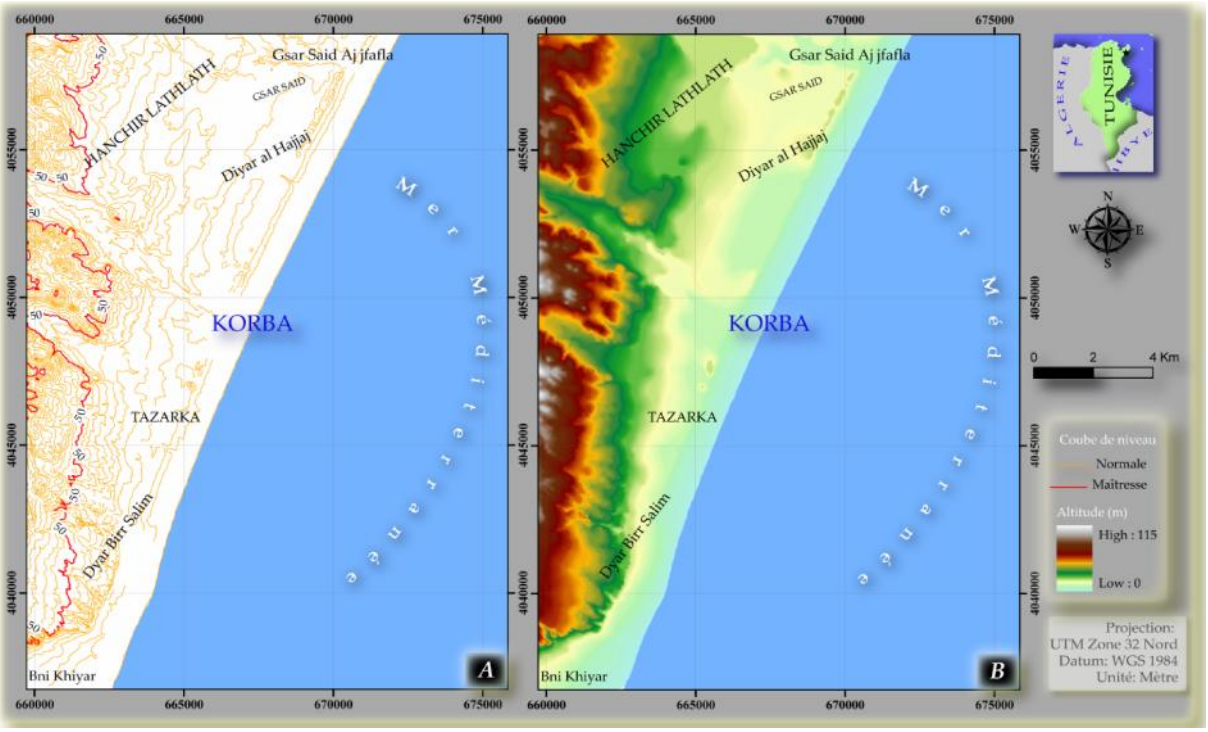


Fig. 2 : Contexte morphologique du terrain : A : couverture topographique B : Modèle Numérique de Terrain (MNT)

2 Conditions hydro-climatiques

La région de Korba se classe dans l'étage bioclimatique méditerranéen semi - aride à hiver chaud. Comme toutes les régions méditerranéennes, le climat est caractérisé par quatre saisons. La région de Korba est caractérisée par un été chaud et sec débute en mai et se prolonge jusqu'à fin septembre et un hiver humide et frais à pluviométrie irrégulière qui s'étend d'octobre à avril.

La région côtière de Korba forme une entité hydrologique drainée principalement par trois cours d'eau descendant de Djebel Sidi Abderrahmane et se déversant en Méditerranée. Ainsi, le réseau hydrographique est caractérisé principalement par les trois Oueds Abidis, Ed Dine et Chiba (fig. 3).

Le vent dominant de la région est du secteur Ouest à Nord-Ouest avec une vitesse de 2 à 20 $m.s^{-1}$ (fig. 4). En effet, les vents provenant du Nord-Ouest amortissent la propagation des vagues, en réduisant leur hauteur et en ralentissant leurs avancées. D'autre part, il existe une tendance des vents en provenance de la mer pendant l'été. En revanche, pendant l'hiver, c'est le vent de terre qui est dominant.

Les hauteurs de la marée, semi-diurne et de type microtidal, varient de 30 centimètres aux mortes eaux à 45 cm en période de vives eaux (Baccar et al., 2001). A cette marée d'allure régulière et périodique, se superposent des variations de hauteur d'eau d'origine météorologique, appelées surcotes et décotes, dont l'étude relève essentiellement de méthodes statistiques. La moyenne des surcotes maximales varie de 0,30 m pour une période de retour de 5 ans, jusqu'à 0,40 m pour une période de retour supérieure à 10 ans. La moyenne des décotes maximales estimées en ce point ne dépasse pas -0,30 m (Baccar et *al*., 2001).

Étant donné l'orientation de la côte, les houles qui atteignent le rivage ont des directions Nord-Est, Est à Sud-Est en hiver, du Nord-Est, de l'Est et Sud-Est en printemps, de Nord-Est à Sud-Est en été et de direction Nord-Est , Est à Sud-Est en automne. Leur hauteur varie de 1 à 2,5 m pour la plupart des cas et peuvent atteindre 5 m pour des périodes de 1 à 10 s (Baccar et *al*., 2001 ; Zâara, 1996). Les courants principaux se dirigent du sud vers le nord tandis que, durant la période estivale, on observe une direction prédominante vers le Sud/ Sud-Est, avec une vitesse de 0,68 $m.s^{-1}$.

MATERIELS ET METHODES

Lors de cette étude le suivi topo-morphologique est réalisé par l'intermédiaire d'une station totale de type Leica et la stratégie d'échantillonnage est basée sur le suivi dans le temps de profils cross-shore (2D). Cette méthode permet une observation très simplifiée des morphologies et correspond à une vision classiquement rencontrée dans l'étude des plages microtidales (Certain, 2002 ; Amrouni et Abdeljaouad 2009 ; Ferrer, 2010). Ce travail d'observation consiste à positionner les ruptures de pente, sommets des dunes et les siffles-vent (déflations éoliennes). C'est une étape capitale car la qualité des analyses géomorphologiques dépendront en grande partie de la pertinence des points mesurés.

Les profils cross-shore s'étalent de la mer jusqu'aux dunes bordières (ou avant-dunes) (fig. 1).

Le premier levé a été réalisé en novembre 2004 au début de la saison hivernale et après une tempête, le deuxième en juin 2005 au début de la période estivale et le troisième en septembre 2005 à la fin de la période estivale. Ces transects doivent permettre d'évaluer les changements saisonniers, l'impact des tempêtes, la vitesse de reconstruction sur la face marine de la dune et la plage et de détecter l'évolution de l'altitude des dunes.

Après le transfert des données sur un ordinateur, grâce au logiciel Geosys®, le traitement et l'exploitation sont réalisés avec Excel®. Sous le Microsoft Surfer® on a pu représenter, en 2D et 3D, la topographie de la plage et d'approcher par le calcul les volumes sédimentaires déplacés (érosion, engraissement).

1 Calcul des Modèles Numériques de Terrain

Le MNT consiste en un échantillon de données spatiales qui donne une représentation partielle du terrain réel : la représentation des valeurs de l'altitude par un MNT est effectuée de manière discontinue et par intention. Or, le relief est un phénomène géographique quantitatif spatialement continu, il représente des valeurs distinctes en chaque point de l'espace (Charleux-Démargne, 2001).

L'altitude d'un point quelconque sera alors calculée par interpolation ou extrapolation à partir des altitudes connues des points voisins : les altitudes sont dites alors distribuées. La fonction mathématique

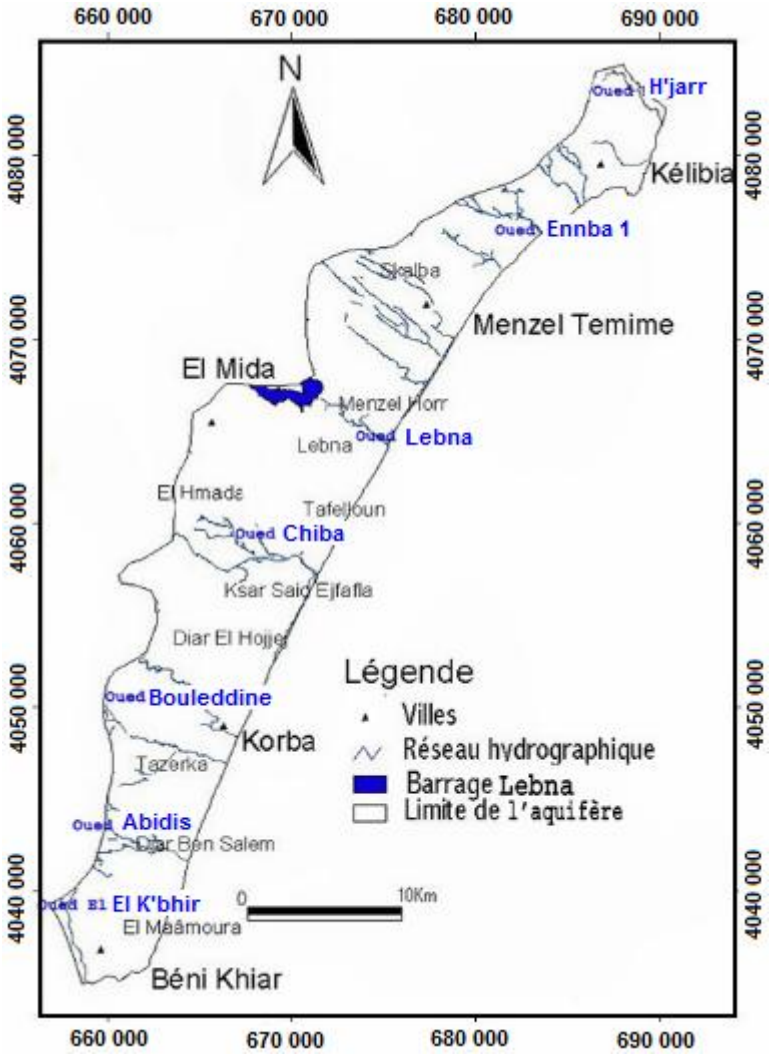


Fig. 3 : Réseau hydrographique du secteur d'étude (Zgbibi, 2007 in Ben Hammouda, 2008)

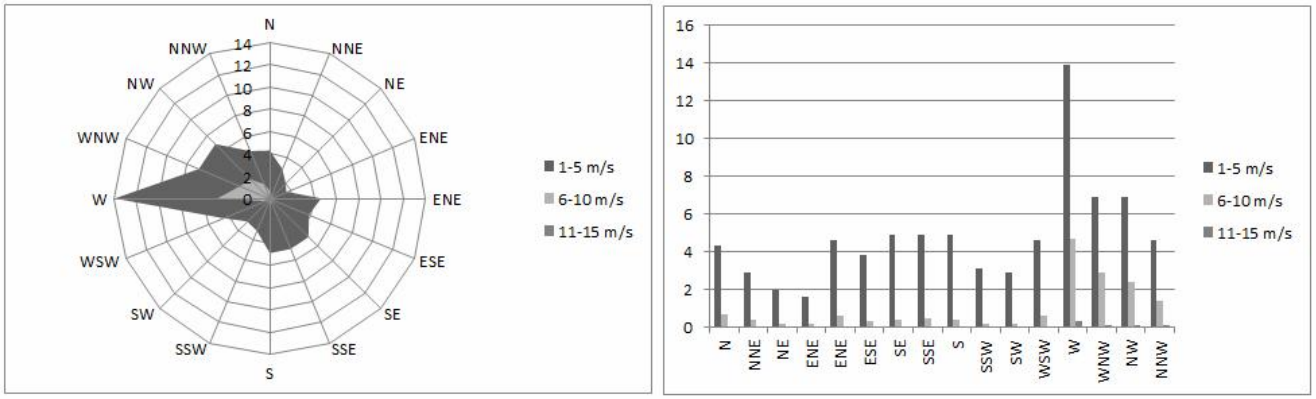


Fig. 4 : La vitesse des vents enregistrées à la station Kélibia entre 1993 et 2004 ainsi que la rose des vents (STEG, 2009).

d'interpolation ou d'extrapolation est choisie pour reproduire à partir de l'échantillon les informations altimétriques nécessaires à une application donnée, et si possible pour un maximum d'applications différentes. L'échantillon des points X, Y, Z constituant la donnée initiale acquise suite à un levé topographique sur terrain, avec Z l'altitude du point de coordonnées planimétriques (X, Y) dans une projection définie. Dans notre cas, c'est la projection Lambert Nord IGN.

Le format de MNT utilisé est en profils ; l'altitude est représentée par des points situés le long de profils dans une direction horizontale donnée. L'intervalle entre deux points côtés d'un même profil est variable et s'est adaptée à la morphologie locale.

Lors de son élaboration, le calcul des points du MNT final est basé sur l'interpolation des coordonnées tridimensionnelles des points à partir du jeu de points de référence (les points de nivellement connus en X, Y et Z).

Le cadre de cette étude est alors de valoriser l'information des MNT pour le suivi de la variation spatio-temporelle du comportement du système plage/dune du littoral étudié vis-à-vis de la variation des conditions du milieu. L'élaboration de ces MNT est faite suite à l'exploitation des mesures topographiques effectuées sur les avant-dunes ainsi que sur la plage qui la bordent tout le long du littoral de Korba. La création des MNT s'est effectuée à l'aide du logiciel Surfer® (Golden software). La méthode de maillage choisie est une interpolation triangulaire linéaire (*triangular linear interpolation*). Ce choix est fonction de plusieurs facteurs incluant la pertinence de la représentation graphique et la qualité des levés qui incluent les points hauts et les points bas. Ce choix se trouve être le meilleur compromis entre ces facteurs. La maille d'interpolation choisie est de 5 m suivant la distance long-shore et de 5 m suivant la distance cross-shore.

A partir des MNT, on a pu extraire les profils significatifs (les plus complets) perpendiculaires au rivage. La superposition des différents profils appartenant à des périodes de levés distinctes permet d'évaluer l'évolution spatio-temporelle du cordon littoral émergé, en particulier d'évaluer la mobilité des sommets des dunes et la variation de la largeur de la plage en allant du nord au sud de la zone d'étude. Ainsi trois profils ont été choisis : P1 situé au niveau de la zone I, P2 et P3 au niveau de la zone II et P4 situé au niveau de la zone III. Les deux zones II et III sont marquées par l'activité anthropique par contre la zone I semble être à l'état naturel. Cette dernière (que l'on peut considérer comme « dune témoin » est censée représenter la tendance naturelle de l'évolution de l'unité géomorphologique du système dunaire.

Afin de répondre à cet objectif et dans le but de mettre en évidence les zones érodées et les zones engraissées on a eu recours à un calcul différentiel entre les différents MNT appartenant à des périodes distinctes et des périodes similaires (fig. 5).

Ainsi, on a pu déterminer la variation altimétrique des crêtes et des creux qui composent le prisme littoral y compris les avant-dunes, le haut de plage et la plage proprement dite.

La validation des MNT élaborés pour chaque période est basée sur l'estimation de l'Erreur Quadratique Moyenne (RMSE) de chaque MNT (Charleux-Demargne, 2001 ; Rebai et *al.*, 2007) en appliquant la formule suivante:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - P_i)^2}{n}}$$

n est le nombre des points échantillonnés; $\mathbf{O_i}$ et $\mathbf{P_i}$ sont respectivement les valeurs mesurées sur le terrain et les valeurs calculées après interpolation dans un emplacement **i** de coordonnées **(x, y)** dans l'espace géographique bidimensionnel.

Les résultats du calcul du RMSE pour chaque MNT de la période novembre, juin et septembre montrent une cohérence avec une valeur plus importante pour le MNT du mois de novembre mais la moyenne des RMSE pour les trois époques reste relativement faible de 0.019 (Tab. I), sachant que plus la valeur du RMSE est faible plus l'interpolateur est crédible. Pour notre cas pour exploiter les résultats des MNT résiduels nous avons utilisé l'interpolateur TIN.

Les marges d'erreur inhérentes à la mesure tachéométrique, calculées par méthode statistique, sont comprises entre 5 et 7 cm en X et Y et restent inférieures à 3 cm en Z (Suanez *et al.*, 2005).

2 Spécificités des modèles numériques mathématiques (MNT et MNTR)

Pour chaque compagne de levé topographique on a pu créer des cartes présentées en 2D et 3D (MNT), d'où l'obtention d'une base de données assez complète qui permettra d'en tirer les informations nécessaires qui entre dans le cadre d'étude du système dune/plage. A partir de cette base de données, on peut évaluer les mouvements de sables enregistrés entre deux relevés topographiques. Cette information a permis de créer des cartes résiduelles (MNTR) d'une mission à l'autre afin de déterminer les variations altimétriques au niveau des avant-dunes, du haut de plage et de la plage et de quantifier les changements volumétriques mis en jeu en évaluant les bilans sédimentaires enregistrés.

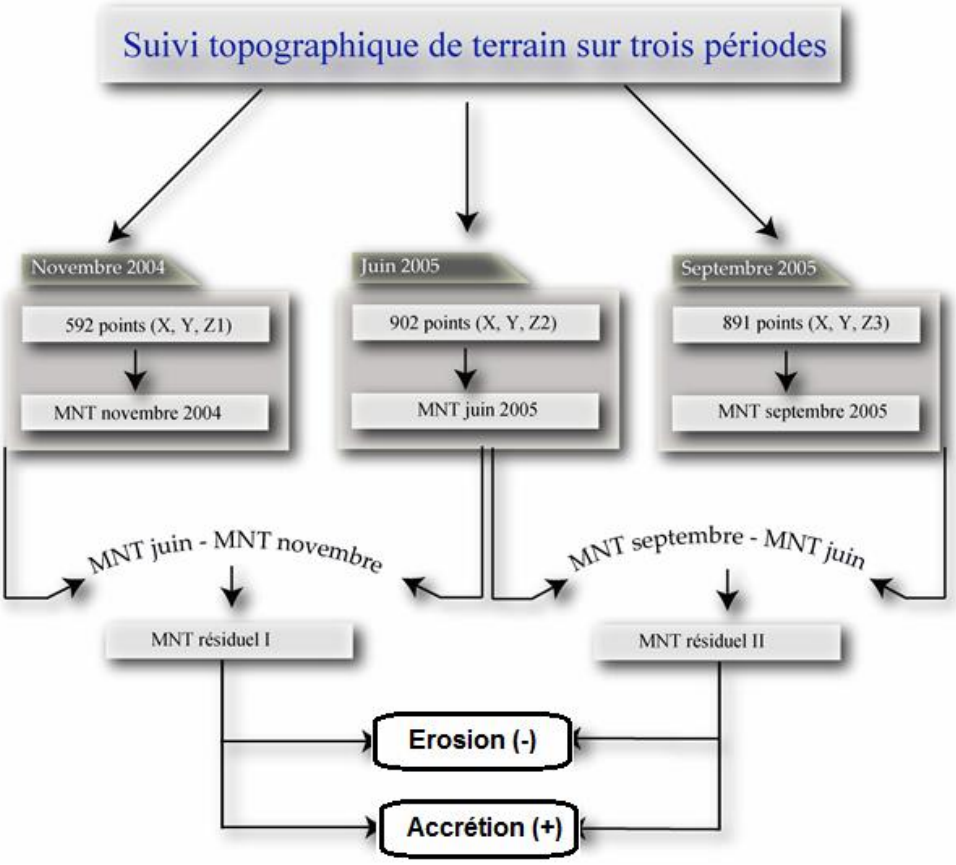


Fig. 5 : Organigramme de la création des MNT Résiduels : la différence de nombre de points entre novembre, juin et septembre est liée à la période de suivi (période de morte eaux ou vives eaux et à l'inondation de la plage en période de tempête ce qui empêche le levé d'un certain nombre de points au niveau de la plage)

Tableau I : Estimation de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) des MNT pour les mois de novembre 2004, juin 2005 et septembre 2005

MNT novembre 2004		**MNT juin 2005**		**MNT septembre 2005**	
Oi (m)	**Pi (m)**	**Oi (m)**	**Pi (m)**	**Oi (m)**	**Pi (m)**
1.38	1.3961	3.01	3.0166	2.81	2.801
2.28	2.2803	2.94	2.9272	2.3	2.3024
1.42	1.4185	1.9	1.9062	2.66	2.6524
1.5	1.5015	1.94	1.9404	1.7	1.7026
2.67	2.668	2.7	2.7028	2.71	2.7107
2.68	2.671	2.64	2.6483	2.36	2.3687
2.67	2.14	1.83	1.8338	1.54	1.5564
4.14	4.1377	3.27	3.3002	3.28	3.253
1.36	1.3605	3.23	3.2049	2.48	2.4253
RMSE=0.028		RMSE=0.01		RMSE=0.02	

Cette démarche a permis de définir les zones érodées et les zones engraissées.

RESULTATS ET INTERPRETATION

1. Analyse descriptive de la morphologie dunaire

Ce qui valorise le secteur d'étude, c'est la coexistence sur une courte distance (de l'ordre de 2500 m) de trois zones qui se caractérise chacune par un stade d'évolution et des entités morphologiques différentes.

La zone I, située au nord du site d'étude, représente le domaine le plus stable et se caractérise par la présence des différents stades d'évolution des dunes côtières en passant de la dune lette fixée par une végétation dense et dont le taux de recouvrement est de l'ordre de 60 %, jusqu'aux avant-dunes mobiles dont le taux de recouvrement de la végétation est moins important (de l'ordre de 30 % de recouvrement). Ces dernières sont soumises à l'action des facteurs naturels (en particulier vent, houle) et sont à l'abri de l'action anthropique (absence de constructions au dépend des dunes). Le haut de plage est bien développé et la plage large de 80 à 100 m en moyenne.

La zone II correspond à un secteur anthropisé où le cordon dunaire est affecté par des constructions balnéaires (maisons, route, murette de protection (1.5 m) ce qui explique la mobilité du matériel sableux en dehors du cordon dunaire vers l'intérieur de la route et la dégradation du couvert végétal protecteur de l'écosystème dunaire. Les avant-dunes sont donc plus ou moins fixées et les crêtes sont assez développées marquées par une végétation dunaire assez dense dont le taux de recouvrement est de l'ordre de 30% (*Eryngium maritimum, Diotis maritime, Ammophilia arenaria*). En allant vers le sud les avant-dunes disparaissent progressivement et la végétation est beaucoup moins dense avec un taux de recouvrement de l'ordre 15% (*Agropyrum, Ammophilia arenaria*) (Jaballah, 2003 ; Yahyaoui 2006). La plage large de 65 m en moyenne a reculé d'environ 25 m par rapport à la largeur de la plage mesurée au niveau de la zone I.

Au niveau de la zone III, le cordon dunaire est quasi absent. Le profil de la plage se présente sous la forme d'un bourrelet qui domine un secteur d'érosion limité en arrière par une murette de protection de 1 m d'hauteur. La largeur de la plage est moins importante (de l'ordre de 50 m en moyenne).

De point de vue sédimentologie, l'évolution de la morphologie dunaire du secteur nord au secteur sud, marque un tri granulométrique. L'essentiel du matériel sableux à calibre fin est situé au niveau des avant-dunes alors que celui à calibre fin à moyen intéresse la plage et principalement la zone de haute et basse mer (zone de Swatch) où l'on note la présence de sables grossiers et de débris de coquilles. Donc, la taille des grains des sédiments sableux diminue avec des sables grossiers au niveau des zones dépressionnaires et des sables fins au niveau des crêtes (zone dunaire) (Yahyaoui, 2006).

2. Suivi de l'évolution saisonnière de la plage aérienne (novembre 2004-juin 2005)

IV.2.1. Evolution transversale

Cette évolution est mise en évidence pour la période qui s'étale de novembre 2004 à juin 2005 (fig. 8). Ces levés ont été réalisés avant l'implantation des dispositifs de ganivelles afin de révéler le comportement du système dune/plage dans les conditions d'évolution naturelle.

Le premier levé a été réalisé juste après une tempête alors que le second l'a été dans des conditions climatiques très calmes.

Du point de vue morphologie, le profil d'été (juin 2005) montre la présence d'une plage large (100 m en moyenne) avec un haut de plage développé suite à un apport de sédiment du côté mer en faveur du cordon dunaire. Aussi, il est caractérisée par la présence d'une berme en bas de plage sous l'action de la houle de beau temps de direction NE. En revanche, le profil d'hiver (novembre 2004) montre, un rétrécissement de la plage suivi d'un abaissement du profil, résultat prévisible après un épisode tempétueux survenu en mois de novembre (13 novembre 2004) pendant la période des vives-eaux. Cette tempête est caractérisée par une vitesse de vent de l'ordre de 300 Km/h et une direction Sud Est au Nord Est (INM, 2004). Cette épisode a engendré une surcote qui a provoqué la submersion de la plage. Par conséquent, la comparaison des relevés topographiques effectués en novembre 2004 et en juin 2005 (fig. 7) s'avère très intéressante, à la fois pour localiser désormais les zones de faiblesse morphologique du cordon des dunes bordières et pour déterminer son comportement lors des tempêtes, en l'absence d'ouvrage de protection perturbant les processus naturels.

Au niveau de la zone I, pour l'ensemble de la période de novembre 2004 à juin 2005, le cordon des avant-dunes a enregistré un gain sédimentaire équivalent à +10.95 m^3/m.1 pour le profil P1.

Au niveau de la zone II, une accrétion sédimentaire respectivement équivalente à 11 et 6 m^3/m.1, a été enregistrée, au niveau des profils P2 et P3 au profit des avant-dunes.

Au niveau de la zone III, le calcul des bilans sédimentaires au niveau du profil P4 a enregistré une accumulation des sédiments de l'ordre de 3 m^3/m.1 au niveau du haut de plage.

Ainsi, un fonctionnement saisonnier a été marqué au niveau des trois zones (fig. 6). Il est caractérisé par des phases de perte sédimentaire essentiellement pendant l'hiver alors que le système enregistre un gain sédimentaire au cours de la période estivale et où le cordon des avant-dunes est de nouveau réalimenté.

Cet engraissement est maximal durant l'été avec des hauteurs d'eau faibles et où la dynamique éolienne de direction NE plus efficace assure un transit sédimentaire important de la plage vers l'avant-dune. Ce résultat répond au modèle classique de variation saisonnière du système dune/ plage élaboré par Sonu (1973) et Bowen et *al.* (1980).

IV.2.2. Bilans sédimentaires

Le MNT, réalisé par comparaison des deux levés topographiques réalisés entre novembre 2004 et juin 2005, montre que la racine dunaire marque tout le long du secteur d'étude une tendance à l'évolution positive traduite par une accumulation du sédiment au niveau du haut de plage et des sommets (crête) des dunes bordières (fig. 7). Ces niveaux d'accrétion sont interrompus par quelques stades d'érosion observés en particulier au niveau des siffle-vents et au niveau de la dépression inter-dunaire qui constitue un grau de communication entre la lagune (Sabkhet Ech Charquia) et la mer (zone I) (fig. 7).

Au niveau de la zone I, la crête des avant-dunes marque une variation altimétrique négative de l'ordre de -0.4 à -1.2 m avec une accrétion du haut de plage de l'ordre de 0.8 à 1.2 m.

Au niveau de la zone II, nous avons enregistré un abaissement altitudinal, de l'ordre de 80 cm en moyenne au niveau des avant –dunes sur une distance d'environ 300 m. Néanmoins, la majeure partie de cette zone a bénéficié d'un exhaussement du haut de plage par accumulation du sédiment provenant du large sous l'action de la houle oblique de direction nord-est et déplacé par déflation par les vents dominants du secteur Nord-Est vers la racine dunaire permettant ainsi l'édification du nouveau bourrelet de haut de plage.

Au niveau de la zone III, nous avons enregistré une accumulation de sédiments de l'ordre 20 cm, en front de la murette permettant la formation d'un bourrelet de haut de plage.

Au cours de cette période, la racine dunaire à montré une stabilité assez importante (zones colorées en blanc). Le sommet de la dune, bien fixé par l'oyat et l'agropyrum n'a connu aucune évolution. Seul le haut de plage a subi un exhaussement. Au niveau du secteur central (zone II), les anciennes déflations, ne sont ré-ouvertes à l'occasion de cette tempête, même si localement la crête a connu un abaissement de l'ordre de 40 à 80 cm en moyenne.

D'où sur l'ensemble du site d'étude, nous avons enregistré, au niveau du cordon des dunes bordières, une accumulation de l'ordre de +0.89 $m^3/m^2 \pm 0.5$ et une perte de sédiments de l'ordre -0.65 $m^3/m^2 \pm 0.5$. Au niveau de la plage, une perte de l'ordre de -0.07 $m^3/m^2 \pm 0.5$ et un gain de +1.9 $m^3/m^2 \pm 0.5$, ont été enregistrés. D'où l'obtention d'un budget sédimentaire positif de l'ordre de +2.79 $m^3/m^2 \pm 0.5$ sur la totalité du site d'étude.

3. Suivi de l'évolution intra-saisonnière de la plage aérienne (juin 2005-septembre 2005)

Evolution transversale

Cette évolution est mise en évidence pour la période qui s'étale de juin 2005 à septembre 2005 (fig. 8).

La morphologie du profil P1 montre l'existence d'une dépression (bâche) entre la berme et la dune (fig. 8-A). D'où la pente calculée entre le pied de dune et la berme est de l'ordre de 0.75 %. Cette morphologie particulière ressemble à celle décrite par Augustinus et *al.* (1990), sur les plages du golfe de Beauduce, Suanez et Provansal (1993), sur celles de Piémanson et de Napoleons et Sabatier et *al.* (2007) sur le site de Rousty en France.

Au niveau de la zone I, le calcul du bilan sédimentaire sur le profil P1 (fig. 8-A) indique un gain en sédiment équivaut à 4.5 m^3/m.1. Cet engraissement se traduit par une avancée du front de dune estimée à 1.4 m/an.

Au niveau de la zone II, les profils P2 (fig. 8-B) et P3 (fig. 8-C) montrent une morphologie ressemblante à celle de P1 sauf que les pentes ainsi calculées entre le pied de dune et la berme sont moins faibles que celles calculées sur P1. Elles sont de l'ordre de 0.56 % sur P2 et 0.51 % sur P3.

A ce niveau, le cordon des avant-dunes a enregistré un gain en sédiments de l'ordre de 11 et 5 m^3/m.1 respectivement sur les profils P2 et P3. Cet engraissement se traduit par une avancée du front de dune égalant 0.9 m/an. D'autre part, le budget enregistré au niveau du P2 est beaucoup plus important que celui calculé au niveau de P3.

Le profil P4, montre une morphologie du haut de plage relativement ressemblante à celle observée sur P1, P2 et P3, mais la pente ainsi calculée entre le haut de plage et la berme de l'ordre de 2.5 % est considérée relativement importante par rapport à celles calculées au niveau des profils P1, P2 et P3.

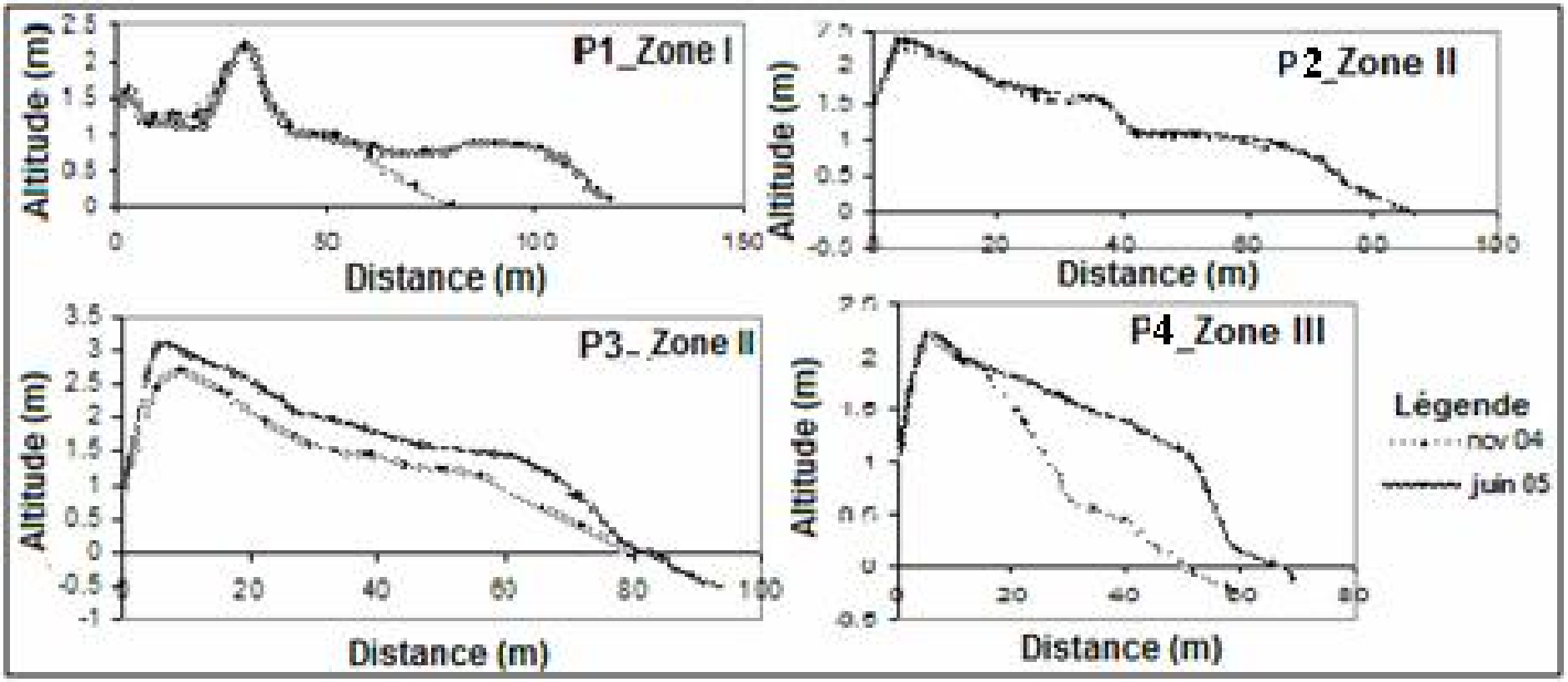


Fig. 6 : Evolution saisonnière du profil dune/plage au niveau des trois zones entre novembre 2004 et juin 2005

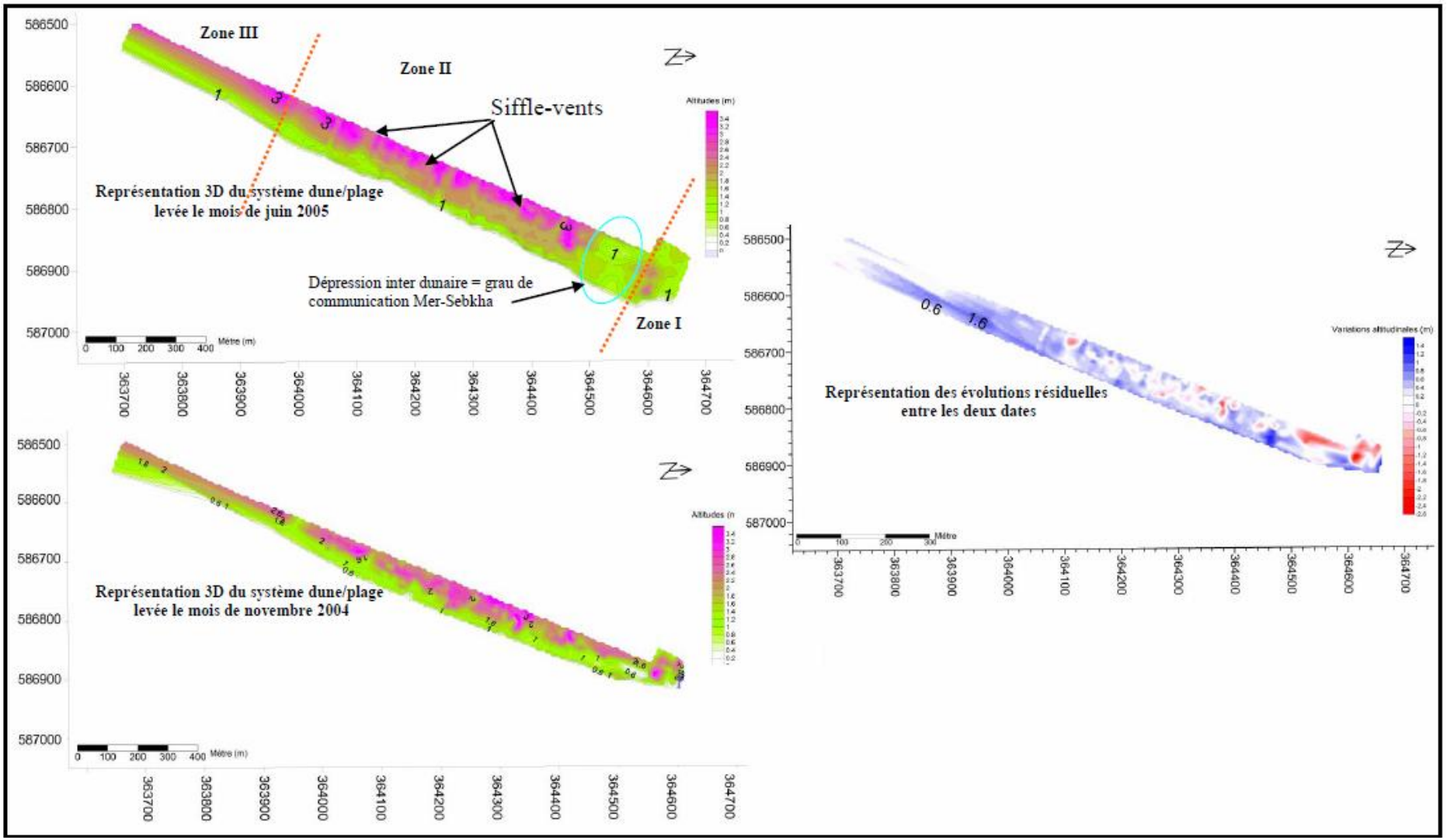


Fig. 7 : Représentation des MNT et des évolutions résiduelles entre les mois de novembre 2004 et juin 2005 utilisant les calculs différentiels des volumes afin de visualiser les principales zones de changement morphologiques. Les zones en rouge sont les zones d'érosion et les zones en bleue sont les zones d'accrétion et les parties blanches représentent les zones où l'évolution topographique n'est pas considérée.

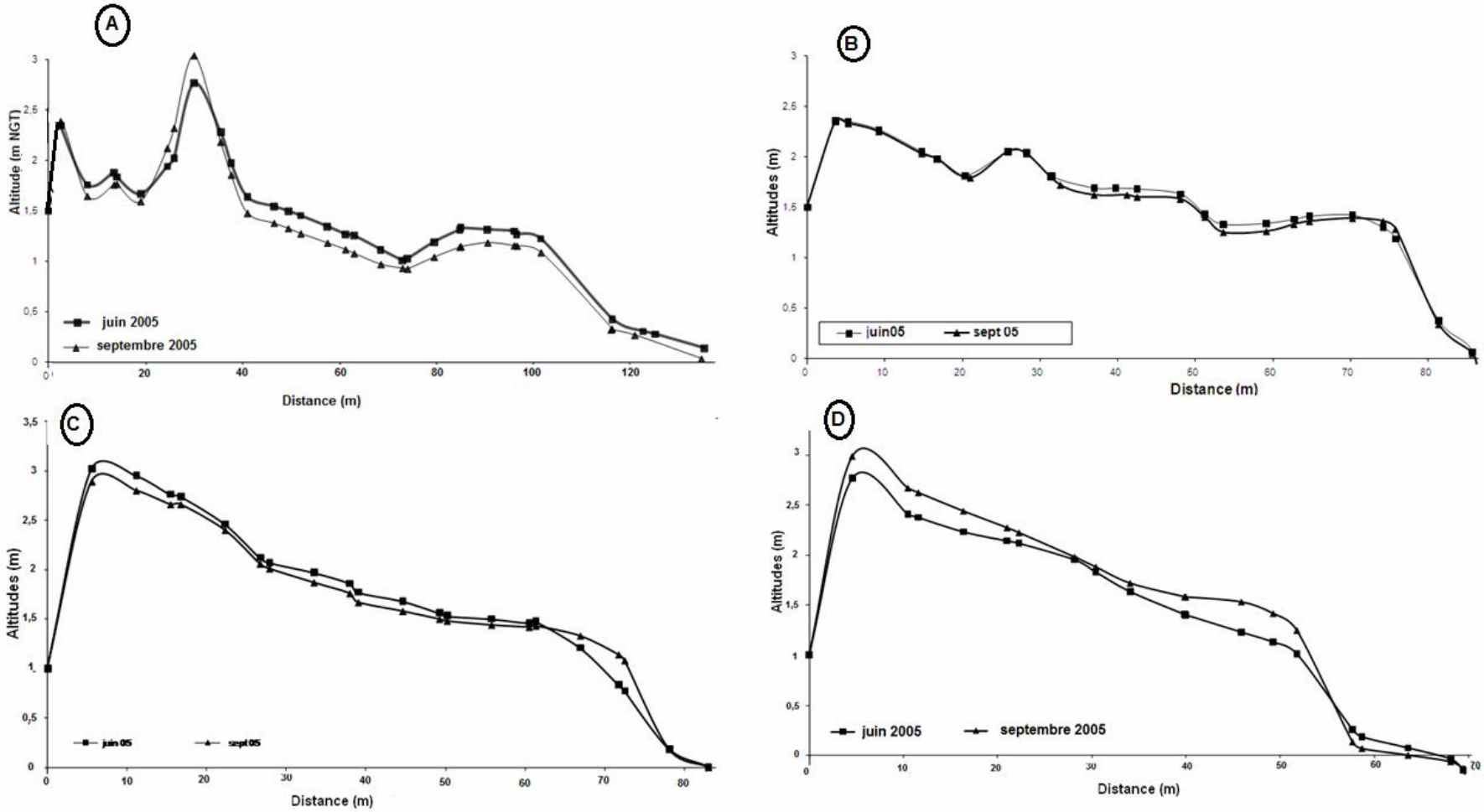


Fig. 8 : Evolution intra-saisonnière du profil dune/plage au niveau des trois zones entre juin 2005 et septembre 2005 : A- évolution de profil P1 situé au niveau de la zone I ; B et C- évolution des profils P2 et P3 situés au niveau de la zone II ; D- évolution de profil P4 situé au niveau de la zone III.

Bilans sédimentaires

La comparaison des relevés de septembre 2005 et juin 2005 ne montre pas une variation morphologique majeure tout le long du cordon dunaire (fig. 9).

Au niveau de la zone I, nous avons enregistré une évolution altimétrique positive de l'ordre de 80 cm en moyenne au niveau de la crête des avant-dunes ainsi qu'au niveau du pied de dune. Ce résultat est effectif de la dérive littorale de direction dominante Nord-Est et des vents de mer de direction Nord-Est qui ont permis le transport par déflation du matériel sableux sur une certaine distance et l'ont déposé au profit du haut de plage.

Au niveau de la zone II, on constate une légère érosion sur l'ensemble de la plage tournée vers l'Est. Les sédiments viennent s'accumuler à la pointe des avant-dunes d'où une légère évolution altimétrique positive de l'ordre de 40 cm en moyenne. En revanche, on note une érosion importante de l'ordre de 60 cm au niveau de la dépression inter-dunaire liée au piétinement intense des estivants pendant la période estivale.

Au niveau du secteur sud, on constate une érosion traduite par un abaissement altitudinale de l'ordre de 20 à 40 cm en moyenne tout le long du profil de la plage. Cette érosion semble être liée à l'action du piétinement intense pendant l'été.

Enfin, la racine dunaire ainsi que la plage ne connaissent aucun recul durant cette période. Cette situation est confirmée par les profils transversaux décrits précédemment. Pour autant, aucun épisode tempétueux ni submersion marine ne sont venues menacer la stabilité de l'édifice sédimentaire.

Les budgets sédimentaires calculés au cours de cette période estivale montre que le cordon des avant-dunes a bénéficié d'un gain de sédiment de l'ordre de +0.44 m^3/m^2 ± 0.5 suivi d'une perte de l'ordre de -0.23 m^3/m^2 ± 0.5, alors qu'on a enregistré un gain faible de l'ordre de +0.01 m^3/m^2 ± 0.5 et une perte de l'ordre de zéro m3/m2 au niveau de la plage. En conclusion, sur la totalité du site d'étude, nous avons enregistré un budget sédimentaire excédentaire de l'ordre +0.44 m^3/m^2 ± 0.5.

CONCLUSION

L'étude réalisée sur la dégradation de la plage de Korba montre un intérêt particulier par rapport à d'autres secteurs du littoral Tunisien, cas de la plage de Mahdia situé au littoral oriental à 120 km de Korba vers le sud, qui est plus dégradée avec un apport de sédiments assez faible (Amrouni et *al*., 2007, Amrouni et Abdeljaouad, 2009). Une approche méthodologique a été développée et basée sur la génération des MNT à partir des levés topographiques pour la surveillance de la dynamique des avant- dunes.

Les MNT résiduels 3D obtenus permettent de quantifier l'évolution saisonnière et intra-saisonnière des avant-dunes et de la plage. En effet, cette étude confirme l'utilité de cette approche dans le but de prévoir l'évolution à court et à long terme des avant-dunes par une série d'observations de terrain intra ou inter saisonnières.

Le suivi quantitatif en 3D des avant-dunes a particulièrement pour objectif l'évaluation de la capacité d'adaptation du cordon dunaire à tout changement d'origine naturelle ou anthropique. En fonction de l'évolution de tout le dispositif, qui se manifeste soit par une dégradation soit par un enrichissement en sable, il est donc nécessaire de prendre des mesures préventives pour assurer la protection de ce littoral. Les MNT résiduels obtenus suite à un ensemble d'observations répartis dans l'espace et dans le temps, constituent donc une base d'informations spatio-temporelles nécessaires et importante pour le suivi de la dégradation du littoral d'une manière générale. L'exploitation des résultats fournis par les MNT résiduels, permet de circonscrire les zones fragiles et sensibles à l'érosion. Ceci constitue une approche éventuelle d'optimisation et de réhabilitation des dunes bordières par la mise en place d'un dispositif de protection et de conservation de celles-ci. Cette approche pourrait se trouver améliorée avec un découpage saisonnier strict et une modélisation des échanges entre les parties marines (Shallow) et terrestres, ainsi que l'intégration de la bathymétrie des petits fonds, des effets de la houle et des apports solides.

Dans le cas du site de la plage de Korba, nos résultats montrent que la variation de la hauteur des avant-dunes est de l'ordre d'une dizaine de centimètres. L'estimation du volume en accrétion et en érosion au niveau du cordon dunaire peut être envisageable avec des levés plus denses. En effet, le MNT résiduel reste un moyen fiable pour représenter et exprimer l'évolution morphosédimentaires des dunes. Cette fiabilité dépend de certaines précautions à prendre au niveau des levés et des traitements en considérant que la soustraction de deux MNT absorbe l'erreur absolue répartie d'une manière homogène sur chaque campagne.

Remerciement

Nous tenons à remercier Monsieur François Sabatier, Maitre de conférence au Centre Européen de Recherche et d'Enseignement en Géoscience de

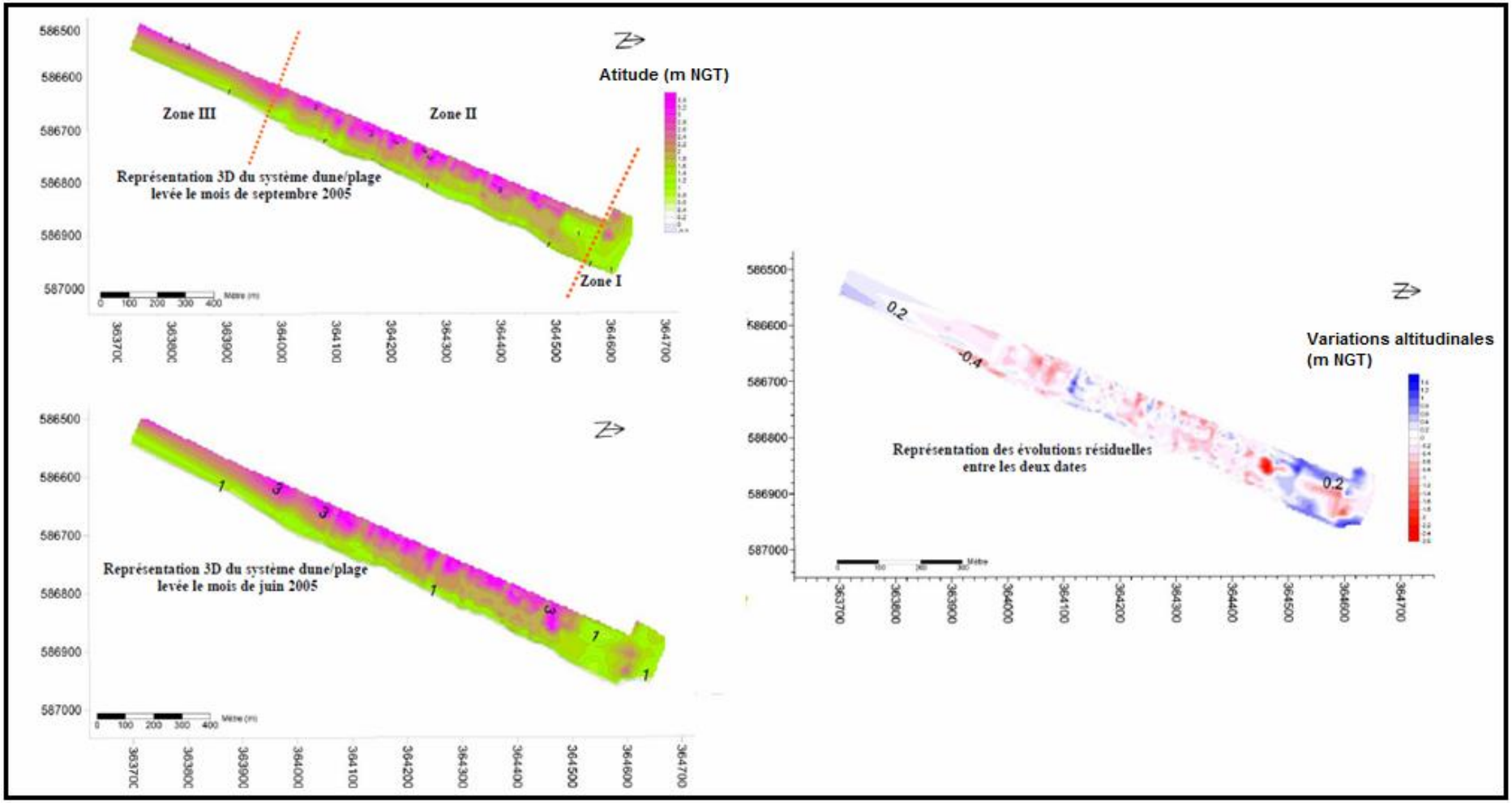


Fig. 9 : Représentation des MNT et des évolutions résiduelles entre les mois de juin 2005 et septembre 2005 en utilisant les calculs différentiels des volumes afin de visualiser les principales zones de changement morphologique.

l'Environnement, pour ses remarques et suggestions qui ont permis d'améliorer le manuscrit. Nous remercions aussi tous ceux qui nous ont accompagnés dans les missions de terrain, en particulier, M. Hedi Ben Romthan et M. Hichem Trabelsi.

BIBLIOGRAPHIE

Amrouni Bouaziz O., Souissi R., Barusseau J.P., Abdeljaouad S., Pauc H., and Certain R. (2007). Grain-size and morphodynamical state of the bay-of-Mahdia shoreface (Tunisia). Contribution to the assessment of Coastal sensitivity. *GeoEcoMarina*, n°13, p. 5-19.

Amrouni O., Abdeljaouad S., (2009). Etude de la dynamique sédimentaire spatio-temporelle à court terme du système dune/plage de la côte nord de Mahdia (Sahel Tunisien) : rôle des agents de transport et de granulométrie. *Revue Méditerranéenne de l'Environnement 3*, p. 1-15

Andrew B.D., Paul A. Gares, Geffrey D. Colby, (2002), Techniques for GIS modelling of coastal dunes, *Geomorphology*, 48, 289-308.

Augustinus P.-G.-E.-F., Leaven M.-P., Ruwuwe J., de VriesJ.-B., (1990). Dune formation and dune degradation in the Camargue, France, *Littoral 90*, 1er Symposium International EUROCOAST, Marseille, p. 115-119.

Baccar L., Moussa M., Ben Hamaza C. (2001). Conservation des zones humides littorales et des écosystèmes côtiers du Cap Bon, Partie relative à : l'hydraulique des zones humides de Maamoura, Tazarka et Korba, Rapport de diagnostic des sites, 106 p.

Ben Hammouda M.F., 2008**.** *Approche hydrogéochimique et isotopique des systèmes aquifères côtiers du Cap Bon. Cas des nappes de la côte Orientale et d'El Haouria*. Tunisie, thèse de Doctorat, Institut National Agronomique de Tunisie, 290 p.

Bowen A.J., Inman, D.L., and Simmons, V.P., (1980). Simples models of nearshore sedimentation: Beach profiles and longshore bars. Costline Can., 80 (10), p. 1-11.

Carter R.W.G., (1988), *Costal Environnements*, Academic Press, London, 617 p.

Certain R., (2002), *Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : le golfe de Lion (Languedoc- Roussillon)*, Thèse, université Perpignan, 199 p.

Charleux-Demargne J., (2001), *Qualité des Modèles Numériques de Terrain pour l'hydrologie Application à la caractérisation du régime des crues des bassins versants*. Thèse, Univ.Marne-La-Vallée, 240 p.

Demba M., Pennober G., Creuseveau J.G., THIAM A., OULD SENHOURY A., LEVOY F., (2006), *Préservation des défenses naturelles du littoral mauritanien: démarche de l'Observatoire du Littoral autour du suivi du cordon dunaire*, Université de Nouakchott, Intéractions Nature-Société, analyse et modéles.UMR6554 LETG, La Baule, 1-7.

Durand P., (1999), *L'évolution des plages de l'Ouest du Golfe du Lion au XXème siècle*, Unpublished Thesis, Université Lumière- Lyon 2, 462 p.

E.R.I., (2000), *Plan d'occupation des plages, quatrième tranche, plage de Korba*, rapport de phase I, APAL, 40 p.

Ferrer P., (2010), *Morphodynamique à multi-échelles du trait de côte (prisme sableux) du golfe du Lion depuis le dernier optimum climatique*, Thèse, Université de Perpignan Via Domitia, 385 p.

Hesp P., (2002), Foredune and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48. pp. 245-268.

Jaballah M., (2003), *Approche pour la réhabilitation des dunes bordières de la plage de Korba*, DEA, Faculté des Sciences de Tunis, 128 p.

Oueslati A., (2004), *Littoral et aménagement en Tunisie* ; Ed. ORBIS Impression; Tunis 2004, 534 p.

Paskoff R., (1983), *Les dunes littorales*. « La recherche », volume 20. N^0 212, 888-889.

Psuty N.P., and Silveira T.M., (2009), Trend in foredune crestline displacement, Fire Island National Seaschore, New York, USA, 1976-2005. *Journal of Coastal Research*, SI 56 (Proceedings of the 10th International Coastal Symposium), 15-19

Pye K., (1990), Physical and human influences on coastal dune development between Ribble and Mersey estuaries, orthwest England . In NORDSTROM, K.F. et al (ed): *Coastal dune. Forms and process.* John Wiley & Sons. London. pp. 339-359.

Rebai N., SLAMAT., et TURKI M.M., (2007), *Evaluation de différentes méthodes d'interpolation spatiale pour la production d'un MNT à partir des données topographiques dans un SIG*. *Revue XYZ*, n° 110, v, 29, 23-32.

S.T.E.G. (2009), Société Tunisienne de l'Électricité et du Gaz, Réalisation d'une ligne électrique aérienne 90 KV/Sidi Daoud, Menzel Temime, étude d'impact sur l'environnement, 65p.

Sabatier F., Chaibi M., Chauvelon Ph., (2007). Transport éolien par vent de mer et alimentation sédimentaire des dunes de Camargne, *Méditerranée*, N°108, p. 83-90.

Sonu C.J., (1973). Three-dimentional beach changes. *Journal of Geology*, 81, p.42-64.

Suanez S., Provansal M., (1993). Étude des modifications morpho-sédimentaires du littoral à l'embouchure du Rhône : plages de Piémanson et Napoléon. *Méditerranée*, 3-4, p.

Suanez S., Stéphan P. (2006) - Forçages météo-marins et dynamique morphosédimentaire saisonnière des cordons dunaires. Exemple de la baie de Saint-Michel-en-Grève (Côtes d'Armor, Bretagne), *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 2, p. 91-110.

Suanez S., Dehouck A., Stéphan P., Fichaut B., Cuq V. (2005) – *Estimation par traitement statistique des marges d'erreur inhérentes à la mesure tachéométrique en géomorphologie*, Séminaire de l'UMR LETG 6554 CNRS : Instrumentation et mesures de terrain, 30 janvier 2004 à Rennes 2 (http://letg.univnantes.fr/SeminaireUMR30012004MP.pdf), 1-10. 43-56.

Vallejo I.; Ojeda J. and Malvarez G., (2006), Characterization and classification of the beach-dune system of the Doñana National Park, Southern Spain. *Journal of Coastal Research*, SI 48 (Proceedings of the 3rd Spanish Conference on Coastal Geomorphology), 112-117. Las Palmas de Gran Canaria – Spain, ISSN 0749-0208

Yahyaoui Z., (2006), *Eventuelle approche pour la réhabilitation des dunes bordières le long de la plage de Korba*, DEA, Faculté des Sciences de Tunis, 104 p.

Zâara Ch., (1996). *Etude de la stabilité du littoral du golfe de Hammamet. Impact de la dynamique sédimentaire sur la morphologie côtière*, D.E.A., 96 p.

الجمهورية التونسية

ر د م د – 0080–0330

نشرية المعهد الوطني لعلوم وتكنولوجيا البحار بصلامبو

عدد 41 سنة 2014

تنشر منذ سنة 1924