

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR ANNABA  
Faculté des sciences  
Département des sciences de la mer

جامعة باجي مختار عنابة  
Laboratoire d'Ecobiologie des  
Milieux Marins et Littoraux



## THESE

*En Vue de l'Obtention du Doctorat en Sciences de la Mer*

## Thème

**Ecobiologie de deux mollusques bivalves  
(*Cerastoderma glaucum* et *Ruditapes decussatus*)  
peuplant la lagune El Mellah.**

Présentée par : **Bensaâd-Bendjedid Lamia**

### Après avis de

BENSOUILAH Mourad

Pr. Université Annaba

Rapporteur

### Devant le jury

DRAREDJA Brahim

Pr. Université Annaba

Président

OUZROUT Rachid

Pr. Université El Tarf

Examinateur

KAOUACHI Nouha

MCA. Université Souk Ahras

Examinatrice

DJABOURABI Aicha

MCA. Université El Tarf

Examinatrice

KADRI Skander

MCA. Université Annaba

Examinateur

Année 2018

« Je suis de ceux qui pensent que la science est d'une grande beauté. Un scientifique dans son laboratoire est non seulement un technicien : il est aussi un enfant placé devant des phénomènes naturels qui l'impressionnent comme des contes de fées.»

**Marie Curie**

# *Dédicaces*

*A la mémoire de mon défunt père ;*

*A ma mère en reconnaissance de son courage, ses sacrifices  
et son affection ;*

*A mon mari, mes sœurs et mon frère pour leur patience,  
leurs encouragements et leur inconditionnel soutien ;*

*A ma belle-famille et tout particulièrement à Mama  
Djanouta pour sa bonté et sa bienveillance ;*

*A Ilyes ...*

# *Remerciements*

*Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde reconnaissance à mon directeur de thèse Monsieur le Professeur **Mourad Bensouilah**, pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire, pour ses conseils avisés et sa confiance, qu'il trouve dans ces quelques mots la modeste expression de mon éternelle gratitude.*

*Mes plus vifs remerciements vont à Monsieur le Professeur **Brahim Draredja** qui a accepté de présider mon jury, qu'il trouve ici le témoignage de ma reconnaissance et aussi de mon admiration pour ses travaux qui n'ont cessé de m'inspirer tout au long de ce travail.*

*Je suis très heureuse et honorée de pouvoir compter Monsieur le Professeur **Rachid Ouzrout** parmi les membres de mon jury et je lui suis très reconnaissante d'avoir accepté d'examiner ce travail, qu'il trouve dans ces quelques lignes l'expression de mon respect et de ma profonde gratitude.*

*J'exprime également ma profonde reconnaissance à Madame **Nouha Kouachi**, Mademoiselle **Aicha Djabourabi** et Monsieur **Skander Kadri** de l'intérêt qu'ils témoignent à ce travail en acceptant de siéger à mon jury, qu'ils trouvent ici l'expression de ma respectueuse considération.*

*Je tiens également à remercier Monsieur **Nadir Touati** Directeur de L'EFTPA d'El Kala qui a manifesté de l'intérêt pour ce travail et a mis à ma disposition le laboratoire de son établissement.*

*Un remerciement particulier aux **Docteurs Debibi** et **Amara** pour m'avoir ouvert les portes du laboratoire d'anatomie pathologique de l'hôpital d'El Tarf, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.*

*Mes remerciements vont aussi à Monsieur **Rachid Feraz** pour son aide précieuse lors du déroulement de la phase d'échantillonnage mais aussi pour la gentillesse et l'amabilité qu'il a toujours montré à mon égard.*

*Je ne saurais, enfin, oublier de remercier tous mes amis et collègues qui m'ont constamment aidé de leur soutien moral.*

<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Synthèse bibliographique</b>	
<b>1      Présentation du matériel biologique.....</b>	<b>5</b>
1.1    Généralités sur les bivalves .....	5
1.1.1    Organisation générale des bivalves.....	5
1.1.2    Anatomie interne des bivalves (bref aperçu).....	6
1.2    Modèles biologiques étudiés.....	9
1.2.1 <i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguière 1789) .....	9
1.2.1.1    Position systématique .....	9
1.2.1.2    Noms vernaculaires .....	9
1.2.1.3    Morpho-anatomie externe .....	9
1.2.1.4    Ecologie et aire de répartition.....	10
1.2.1.5    Alimentation .....	11
1.2.1.6    Croissance .....	11
1.2.1.7    Reproduction .....	11
1.2.2 <i>Ruditapes decussatus</i> (Linné, 1758).....	12
1.2.2.1    Position systématique .....	12
1.2.2.2    Noms vernaculaires .....	12
1.2.2.3    Morpho-anatomie externe .....	12
1.2.2.4    Ecologie et aire de répartition.....	13
1.2.2.5    Alimentation .....	14
1.2.2.6    Croissance .....	14
1.2.2.7    Reproduction .....	14
1.3    Les bivalves en écotoxicologie.....	15
<b>2      Eléments traces métalliques.....</b>	<b>16</b>
2.1    Sources.....	16
2.2    Caractéristiques des métaux lourds analysés dans l'étude .....	18
2.2.1    Cadmium .....	18
2.2.1.1    Propriétés fondamentales .....	18
2.2.1.2    Propriétés biologiques et toxicité .....	19

2.2.2	Cuivre .....	20
2.2.2.1	Propriétés fondamentales .....	20
2.2.2.2	Propriétés biologiques et toxicité .....	21
2.2.3	Zinc .....	21
2.2.3.1	Propriétés fondamentales .....	21
2.2.3.2	Propriétés biologiques et toxicité .....	21
2.2.4	Plomb .....	22
2.2.4.1	Propriétés fondamentales .....	22
2.2.4.2	Propriétés biologiques et toxicité .....	22
<b>3</b>	<b>Présentation de la zone de l'étude .....</b>	<b>23</b>
3.1	Localisation .....	23
3.2	Dimensions .....	23
3.3	Sites d'échantillonnage .....	24

## Chapitre II : Age, croissance et mortalité chez

### *C. glaucum & R. decussatus*

	<b>Introduction .....</b>	<b>26</b>
<b>1</b>	<b>Matériel et méthodes .....</b>	<b>26</b>
1.1	Prélèvement et traitement des échantillons .....	26
1.2	Etude de la croissance relative .....	28
1.3	Etude de l'âge et de la croissance absolue .....	30
1.4	Estimation de la mortalité totale ( <i>Z</i> ) .....	31
1.5	Etude statistique .....	31
<b>2</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>32</b>
2.1	<i>Cerastoderma glaucum</i> .....	32
2.1.1	Structure de population .....	32
2.1.2	Croissance relative .....	33
2.1.3	Détermination de l'âge et croissance linéaire absolue .....	37
2.1.4	Estimation de la mortalité totale ( <i>Z</i> ) .....	39
2.2	<i>Ruditapes decussatus</i> .....	39
2.2.1	Structure de population .....	39
2.2.2	Croissance relative .....	40
2.2.3	Détermination de l'âge et croissance linéaire absolue .....	43

2.2.4	Estimation de la mortalité totale (Z) .....	44
<b>3</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>45</b>
3.1	<i>Cerastoderma glaucum</i> .....	45
3.2	<i>Ruditapes decussatus</i> .....	49

### Chapitre III : Etude de la reproduction

#### Chez *C. glaucum*

	<b>Introduction .....</b>	<b>52</b>
<b>1</b>	<b>Matériel et méthodes .....</b>	<b>53</b>
1.1	Traitement des coques .....	53
1.2	Mesure des paramètres environnementaux .....	53
1.3	Sex-ratio .....	53
1.4	Indice de condition .....	54
1.5	Etude histologique .....	54
1.5.1	Techniques histologiques .....	54
1.5.2	Analyse d'image .....	56
1.6	Etude statistique .....	57
<b>2</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>57</b>
2.1	Paramètres environnementaux .....	57
2.2	Sex-ratio .....	59
2.3	Indice de condition .....	59
2.4	Etude histologique .....	61
2.4.1	Description des stades de développement gonadique .....	61
2.4.2	Evolution des stades reproductifs .....	65
<b>3</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>65</b>

### Chapitre IV : Teneurs de quelques métaux lourds chez

#### *C. glaucum*

	<b>Introduction .....</b>	<b>69</b>
<b>1</b>	<b>Matériel et méthodes .....</b>	<b>69</b>
1.1	Prélèvement des échantillons .....	69
1.2	Traitement des échantillons .....	69

1.3	Etude statistique .....	71
<b>2</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>71</b>
2.1	Bioaccumulation du cadmium .....	72
2.2	Bioaccumulation du cuivre .....	73
2.3	Bioaccumulation du zinc .....	73
2.4	Bioaccumulation du plomb .....	74
<b>3</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>74</b>
	<b>Conclusion &amp; perspectives .....</b>	<b>79</b>
	<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>82</b>
	<b>Annexes</b>	
	<b>Résumés</b>	

Figure 1.	Bivalve fouisseur in situ	6
Figure 2.	Anatomie interne d'un mollusque bivalve	6
Figure 3.	Morphologie externe de <i>Cerastoderma glaucum</i>	10
Figure 4.	Aire de distribution de <i>Cerastoderma glaucum</i>	11
Figure 5.	Morphologie externe de <i>Ruditapes decussatus</i>	13
Figure 6.	Aire de distribution de <i>Ruditapes decussatus</i>	14
Figure 7.	Situation géographique du lac El Mellah	24
Figure 8.	Localisation des stations d'échantillonnage du matériel biologique dans la lagune Mellah.	25
Figure 9.	Dimensions mesurées pour <i>C. glaucum</i> (A) et <i>R. decussatus</i> (B)	28
Figure 10.	Distribution des fréquences de taille de <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah	33
Figure 11.	Diagrammes de dispersion et droites de régression des relations entre la longueur totale et les différents paramètres linéaires et pondéraux chez <i>C. glaucum</i> de S1	35
Figure 12.	Diagrammes de dispersion et droites de régression des relations entre la longueur et les différents paramètres linéaires et pondéraux chez <i>C. glaucum</i> de S2	36
Figure 13.	Courbes théoriques de croissance linéaire de <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah	38
Figure 14.	Courbes théoriques de croissance pondérale de <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah	38
Figure 15.	Courbe de capture pour l'estimation de Z de <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah.	39
Figure 16.	Distribution des fréquences de taille de <i>R. decussatus</i> de la lagune d'El Mellah	40
Figure 17.	Diagrammes de dispersion et droites de régression des relations entre la longueur et les différents paramètres linéaires et pondéraux chez <i>R. decussatus</i> de la lagune d'El Mellah	42
Figure 18.	Courbe théoriques de croissance linéaire de <i>R. decussatus</i> de la lagune d'El Mellah	44
Figure 19.	Courbe théorique de croissance pondérale de <i>R. decussatus</i> de la lagune d'El Mellah.	44
Figure 20.	Courbe de capture pour l'estimation de Z de <i>R. decussatus</i> de la lagune	45

	d'El Mellah	
Figure 21.	Variations mensuelles de la température de l'eau de la lagune d'El Mellah	58
Figure 22.	Variations mensuelles de la salinité de l'eau de la lagune d'El Mellah	58
Figure 23.	Variations mensuelles des teneurs en Chlorophylle a de l'eau de la lagune d'El Mellah	59
Figure 24.	Evolution mensuelle de l'indice de condition (IC) chez <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah	60
Figure 25.	Photomicrographie du stade indifférencié de la gamétogénèse chez <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah	62
Figure 26.	Photomicrographie du début du développement gonadique chez <i>C. glaucum</i> femelles (A) et mâles (B) de la lagune d'El Mellah	62
Figure 27.	Photomicrographie du développement gonadique chez <i>C. glaucum</i> femelles (A) et mâles (B) de la lagune d'El Mellah	63
Figure 28.	Photomicrographie du stade de maturité gonadique chez <i>C. glaucum</i> femelles (A) et mâles (B) de la lagune d'El Mellah	64
Figure 29.	Photomicrographie du stade de ponte chez <i>C. glaucum</i> femelles (A) et mâles (B) de la lagune d'El Mellah	64
Figure 30.	Variation spatio-temporelle des concentrations moyennes en Cd chez <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah	72
Figure 31.	Variation spatio-temporelle des concentrations moyennes en Cu chez <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah	73
Figure 32.	Variation spatio-temporelle des concentrations moyennes en Zn chez <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah	73
Figure 33.	Variation spatio-temporelle des concentrations moyennes en Pb chez <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah	74

Tableau 1.	Description statistique des paramètres morphométriques mesurés chez <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah.	33
Tableau 2.	Relations d'allométrie liant paramètres linéaires (La, Ep) et pondéraux (Pt, Pcoq, Pchf) à la longueur de référence (L) de la coque <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah	34
Tableau 3.	Clé âge-longueur de la coque <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah	37
Tableau 4.	Paramètres de croissance chez <i>C. galucum</i> de la lagune d'El Mellah (FiSAT II, 1.2.0)	37
Tableau 5.	Description statistique des paramètres morphométriques mesurés chez <i>R. decussatus</i> de la lagune d'El Mellah	40
Tableau 6.	Relations d'allométrie liant paramètres linéaires (La, Ep) et pondéraux (Pt, Pcoq, Pchf) à la longueur de référence (L) de la palourde <i>R. decussatus</i> de la lagune d'El Mellah	41
Tableau 7.	Clé âge-longueur de la palourde <i>R. decussatus</i> de la lagune d'El Mellah	43
Tableau 8.	Paramètres de croissance chez <i>R. decussatus</i> de la lagune d'El Mellah (FISAT II, 1.2.0)	43
Tableau 9.	Paramètres de croissance de von Bertalanffy chez différentes populations de <i>C. glaucum</i> et <i>C. edule</i> de méditerranée et d'Europe	47
Tableau 10.	Paramètres de croissance de von Bertalanffy chez différentes populations de <i>R. decussatus</i> de méditerranée et d'Europe	51
Tableau 11.	Protocole pour l'histologie des gonades: déshydratation, éclaircissement et inclusion en blocs	55
Tableau 12.	Protocole pour l'histologie des gonades: Réhydratation et coloration des tissus et montage	56
Tableau 13.	Proportions du SR chez <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah en fonction des stations d'échantillonnage	59
Tableau 14.	Moyennes saisonnière et annuelles des concentrations du Cd, Cu, Zn et Pb relevées dans la chair de <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah	71
Tableau 15.	Résultats des niveaux de significativité des comparaisons inter/intrasites des concentrations en Cd, Cu, Zn et Pb relevées dans la chair de <i>C. glaucum</i> de la lagune d'El Mellah	72

Tableau 16.	Comparaison des concentrations métalliques chez différentes espèces de bivalves de systèmes lagunaires et estuariens	77
Tableau 17.	Teneurs maximales admises en métaux traces règlementés (Cd, Pb) dans la chair des mollusques bivalves	78

# **Introduction générale**

Les lagunes côtières appartiennent au domaine paraliq, espace de transition instable entre les écosystèmes continentaux et marins (Guelorget & Perthuisot, 1983 ; Castaings, 2012). Ce sont des bassins peu profonds séparés partiellement de la mer, créés naturellement ou par l'homme (Kjerfve 1994). Elles occupent environ 13% des étendues côtières mondiales (Nixon, 1982), et sont présentes sur une large aire de répartition allant des tropiques aux pôles (Lasserre & Postma, 1982). Ces écosystèmes transitionnels avec des dynamiques complexes représentent des habitats souvent fragiles, hautement imprévisibles et fréquemment soumis à des variations de température, de salinité et de pH à court terme bien plus que les habitats marins ; à ce titre les lagunes sont considérée comme étant des milieux à la fois extrêmes et instables (Bamber et al., 1992).

Actuellement dans le monde, les lagunes côtières reçoivent une attention particulière en raison, d'une part, de leur fragilité causée par les effets synergiques dus aux changements climatiques et les pressions exercées par l'homme (Tagliapietra et al., 2011 ; Basset et al., 2013) et, d'autre part, en reconnaissance à leurs multiples usages et services (Elliott, 2011; Camacho-Valdez et al., 2013). Ils sont, en effet, parmi les écosystèmes aquatiques les plus productifs grâce aux niveaux élevés de production primaire, de matière organique et de diversité d'habitat ; ces dernières offrent des niches optimales pour de nombreuses espèces aquatiques (Costanza et al., 1997). Toutefois, l'instabilité qui caractérise ces biotopes très particuliers se répercute directement sur les biocénoses qui les colonisent et, notamment la faune benthique composée essentiellement d'espèces sédentaires ; ces dernières, devant l'incapacité à changer d'habitat sont, de ce fait, condamnées à tolérer les conditions du milieu (Melouah et al., 2014). Ainsi, le macrozoobenthos est considéré comme un compartiment biologique intégrateur des fluctuations des conditions écologiques du milieu qui règnent à l'interface eau - sédiment (Glémarec, 1986) ; son importance est reconnue dans les études se rapportant à la mise en valeur écologique des écosystèmes côtiers (Cherkaoui, 2006). Du fait que le macrozoobenthos joue un rôle primordial dans leur caractérisation et leur

fonctionnement, il constitue, pour ces écosystèmes, un bon indicateur de la santé environnementale.

El Mellah est l'unique lagune d'Algérie. Peu anthropisée, cette étendue d'eau saumâtre revêt de multiples intérêts : écologique et scientifique du fait de son appartenance au parc national d'El-Kala (Reserve de la Biosphère 1990) et socio-économique en raison de son exploitation halieutique et aquacole. Bien que la lagune El Mellah ait fait l'objet de nombreux travaux concernant la biomasse, la structure, l'organisation, et la diversité de ses peuplements macrobenthiques (Semroud, 1983 ; Draredja, 1992 ; Draredja & Bakalem, 2004 ; Draredja & kara, 2004 ; Draredja, 2005 ; Draredja et al., 2012 ; Magni et al., 2015), peu de données sur l'embranchement des mollusques et plus particulièrement sur les bivalves sont disponibles. Ces derniers constituent une composante des plus importantes de l'écosystème benthique et sont souvent considérés comme des espèces clés de ces habitats (Gili & Coma, 1998). En effet, toutes variations de leur taux de croissance, leur abondance et leur distribution pourraient engendrer des effets en cascade aussi bien sur les écosystèmes benthiques que pélagiques (Newell, 2004 ; Norkko et al 2006).

La coque *Cerastoderma glaucum* et la palourde *Ruditapes decussatus* sont deux mollusques lamellibranches représentatifs de la macrofaune benthique du Mellah. Actuellement, ils ne font pas l'objet d'une exploitation commerciale et peuvent donc être considérées comme étant des stocks vierges. Ces deux bivalves ont une large répartition géographique dans le monde et suscitent un grand intérêt.

*Cerastoderma glaucum* (Poiret, 1798) est une spécialiste lagunaire ; c'est une espèce qui tolère et s'adapte à des variations de température allant de 0°C à 45°C (Zaouali, 1974) et des salinités comprise entre 5 et 45 PSU (Rygg, 1970). Dans le monde, *C. glaucum* a fait l'objet de nombreuses études qui traitent de sa distribution spatiale (Wolowicz, 1984, 1987; Gontikaki et al, 2003, Derbali et al., 2009), de sa biologie (Labourg & Lasserre, 1980 ; Brock, 1979, 1980a,b ; Matozzo & Marin, 2007 ; Mecherki-Ajimi et al. ; 2013 ; Kandeel et al. ,

2013, 2017) de son écologie (Rygg, 1970 ; Boyden, 1971; Kingston, 1974 ; Zouali, 1975 ; McArthur, 1998). Par ailleurs, plusieurs études ont validé *C. glaucum* en tant qu'espèce sentinelle des écosystèmes côtiers (Szefer & Wolowicz, 1993 ; Arjonilla et al., 1994 ; Machreki-Ajmi & Hamza-Chaffai, 2006 ; Machreki-Ajmi et al., 2007, 2008 ; Hamza-Chaffai, 2014 ; Karray et al., 2015 ; Gonzalez-Fernandez et al., 2015 ; Velez et al., 2016).

Dans la lagune d'El Mellah, la présence de l'espèce *C. glaucum* a été mentionnée, pour la première fois, en 1979 par Bakalem et Romano et par la suite par Guelorget et al (1989) et Draredja (2005). La coque est considérée comme l'une des principales espèces de macroinvertébrés benthiques de ce plan d'eau ; toutefois peu de travaux scientifiques lui ont été spécifiquement dédiés à l'exception de ceux effectués par Grimes (1994) et Melouah et al. (2014).

La palourde *Ruditapes decussatus* (Linné, 1758) est une espèce commune des zones estuariennes et lagunaires de la majeure partie du bassin méditerranéen (Parache, 1982; Lubet, 1984). Grâce à ses excellentes qualités organoleptiques, cette espèce représente une grande valeur commerciale ; c'est l'un des bivalves le plus fréquemment récolté et sollicité en Méditerranée. Dès les années 80, l'espèce *R. decussatus* a fait l'objet d'élevage en Italie (FAO, 2018). Il existe de nombreuses études détaillées et approfondies sur la biologie et l'écologie de l'espèce *R. decussatus* (Poutiers, 1987 ; Shafee & Daoudi, 1991; Garcia, 1993 ; Trigui-El Menif, 1995 ; Trigui-El Menif et al., 1995; Chryssanthakopoulou & Kaspiris, 2005a,b; Hamida, 2004 ; Delgado & Perez-Camacho, 2002, 2005; Ojea et al., 2004 ; Kandeel, 2006, 2008; Anibal et al., 2011; Moreira et al., 2012 ; Juric et al., 2012 ; Derbali et al., 2016), ainsi que son utilisation en écotoxicologie (Hamza-Chaffai et al., 2003; Gabr & Gab-Alla, 2008 ; Chora et al., 2009 ; Velez et al., 2015a,b ; Chalghmi et al., 2016).

En Algérie, très rares sont les études qui se sont intéressées à *Ruditapes decussatus* hormis celle menée par Refes (1994) sur la population du Mellah.

Ce manque d'intérêt pour les espèces *C. glaucum* et *R. decussatus* ne semble pas justifié ; en effet, l'importance de leur rôle écologique dans la lagune El Mellah et leur éventuel intérêt commercial imposent une gestion durable autant à des fins de conservation et/ou d'exploitation par l'homme. Tout cela suppose une meilleure connaissance de la biologie et l'écologie de ces espèces.

Le présent travail a pour objectif global la contribution à l'actualisation de certaines données sur *C. glaucum* et *R. decussatus* de la lagune d'El Mellah ; Nous allons nous intéresser à certains aspects de la biologie et l'écologie de ces deux espèces ainsi qu'à leur éventuelle utilisation dans le diagnostic de la santé de cet écosystème.

Ainsi, cette étude s'articule autour de quatre chapitres :

- Chapitre 1 : Revue bibliographique des connaissances acquises en présentant un aperçu sur la systématique, la biologie, la répartition géographique des deux espèces.
- Chapitre 2 : Étude de l'âge, des structures de populations, de la croissance, des caractéristiques biométriques ainsi que la mortalité chez la coque *C. glaucum* et la palourde *R. decussatus*.
- Chapitre 3 : Etude de la reproduction chez la coque *C. glaucum* (sex-ratio, détermination des phases évolutives des glandes et périodes de ponte) ainsi que l'impact de quelques paramètres environnementaux (abiotiques et biotiques) des eaux du Mellah sur cette activité physiologique.
- Chapitre 4 : l'utilisation de la coque *C. glaucum* comme espèce sentinelle dans l'évaluation de la pollution métallique de la lagune El Mellah.

Enfin une conclusion générale synthétise les principaux résultats obtenus ; cette dernière est suivie par les perspectives de recherche possibles.

# **Chapitre I- Synthèse bibliographique**

## 1. Présentation du matériel biologique

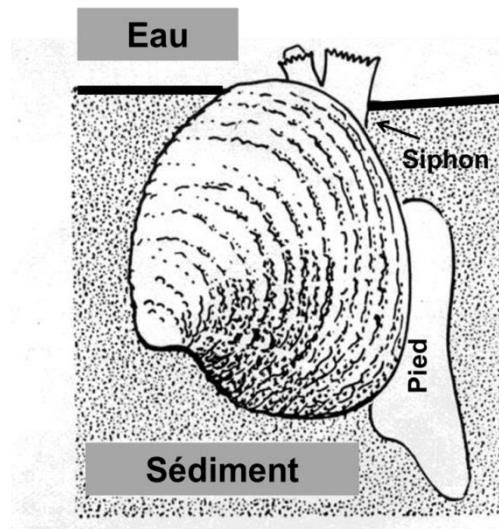
### 1.1 Généralités sur les bivalves

Les Bivalves sont une classe de l'embranchement des Mollusques, représentés par 12.000 formes vivantes actuelles, ce sont des animaux aquatiques majoritairement marins ou dulçaquicoles. Le phylum des mollusques est constitué d'animaux divers comme les chitons ou polyplacophores (plusieurs plaques), les gastéropodes, les dentales, les céphalopodes (calamars, poulpe, etc.), ainsi que les palourdes, huîtres et pectinidés. Ce phylum contient six classes, dont celle des Lamellibranches.

On peut les rencontrer dans toutes les mers du globe y compris dans les mers polaires et les espèces d'eau douce sont présentes dans tous les fleuves, ruisseaux, étangs et jusque dans les lacs de haute montagne à plus de 2.500 m d'altitude. Ils sont capables de coloniser tous les substrats. Sur les fonds durs ils se fixent en cimentant une valve (huître) ou en s'attachant à l'aide de leur byssus (moule) et peuvent s'enfouir dans les substrats meubles (palourde) ou perforer le bois (taret).

#### 1.1.1 Organisation générale des bivalves :

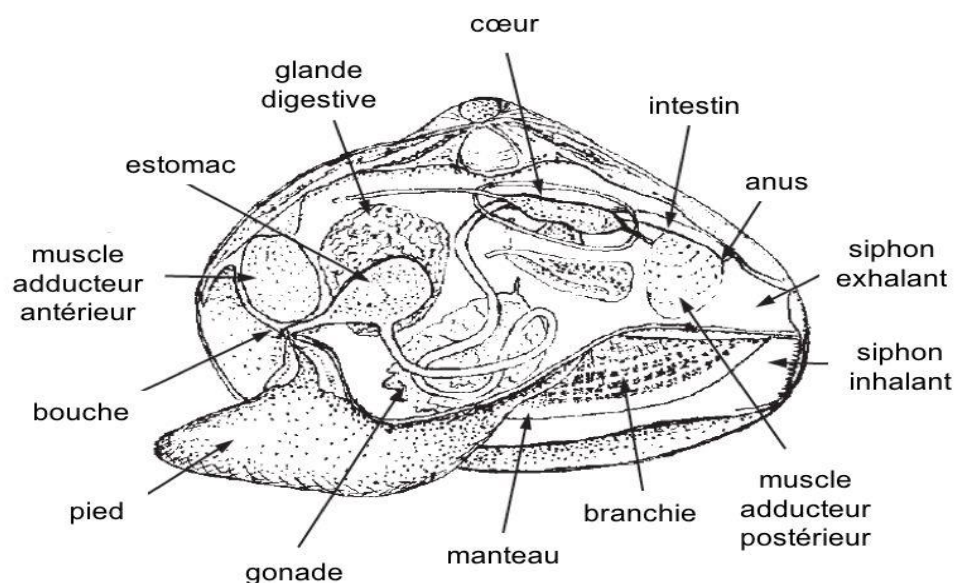
Les lamellibranches ne possèdent pas de tête, ils sont acéphales. Leur corps est mou et constitué d'une masse viscérale aplatie latéralement, de laquelle se détache le pied. Cet organe musculueux, rarement adapté à la locomotion, a la forme d'un fer de hache. Chez les fouisseurs, les valves s'entrouvrent pour laisser passer le pied (fig.1), qui par des mouvements de balancier va pénétrer le sol, ouvrant la voie au reste de l'animal. La masse viscérale se trouve enfermée dans la cavité palléale (fig. 2), elle est enveloppée par le manteau qui forme deux lobes symétriques sécrétant chacun une valve de la coquille, la fermeture de ces dernière est assurée par deux muscles adducteurs qui les relient l'une à l'autre et dans l'antérieur peut s'atrophier ou disparaître.



**Figure 1.** Bivalve fouisseur in situ (modifié de Müller, 2016)

### 1.1.2 Anatomie interne des bivalves (bref aperçu) :

❖ Le manteau est formé par deux lobes et renferme la cavité palléale. Son rôle est primordial dans la sécrétion de la coquille ; par ailleurs, le manteau assure la filtration pour la nutrition et la respiration de l'organisme. Il intervient également dans la réception et la transmission de stimuli extérieurs, comme il joue un rôle important dans la défense par la sécrétion de mucus. Enfin, il sert aussi comme lieu de stockage des substances de réserve (glycogène et lipides).



**Figure 2.** Anatomie interne d'un mollusque bivalve (modifiée de Leal, 2002)

❖ Les siphons : ce sont des prolongements des lobes du manteau. Ils permettent à l'animal, caché dans le substrat, de respirer et de se nourrir en assurant des courants d'eau chargée en oxygène et en particules alimentaires. Ils servent également à l'élimination des particules non ingérée (pseudo fèces), à l'excrétion et à l'émission des gamètes. Les mollusques bivalves présentent deux siphons, l'un inhalant et ventral (branchial), l'autre exhalant et dorsal (anal). La forme et la longueur des siphons varient selon les espèces mais leurs caractéristiques sont liées à leur mode de vie et à la profondeur à laquelle ils sont enfouis.

❖ Le pied se trouve à la base de la masse viscérale. Chez certaines espèces de bivalves le pied est un organe bien développé dont l'animal se sert pour s'enfouir dans le substrat et à se maintenir dans une position donnée. Chez les pectinidés et les moules, il est moins développé et peu utile à l'âge adulte mais, pendant les stades larvaire et juvénile, cet organe joue un rôle important et assure la locomotion. La glande byssogène débouche en position médiane au niveau du pied à partir de laquelle l'animal secrète une substance élastique sous forme de filaments, appelés byssus, qui servent à attacher l'animal au substrat.

❖ Les muscles adducteurs ferment les valves et agissent contrairement au ligament et au resilium, qui entraînent l'ouverture des valves au moment du relâchement des muscles. On distingue des espèces monomyaires possédant un seul muscle (huîtres et pectinidés) et des espèces dites dimyaires (palourdes et moules) ayant deux muscles.

❖ Le tube digestif : La masse viscérale renferme les organes de la digestion ; le tube digestif possède deux orifices : la bouche et l'anus.

- La cavité buccale (pharynx) où débouchent les glandes salivaires comporte une radula chitineuse à nombreuses dents.
- Avec l'estomac, on observe une glande très volumineuse: l'hépatopancréas (sécrétion d'enzymes digestives et stockage de produits de réserve).
- L'intestin est court ; il se termine par l'anus.

❖ Le système nerveux : Chez les bivalves le système nerveux est constitué de trois paires de ganglions.

- Une paire de ganglions cérébroïdes au-dessus de l'œsophage.
- Une paire de ganglions pédieux, sous l'œsophage.
- Une paire de ganglions palléaux.

❖ L'appareil circulatoire : Il comprend un vaisseau dorsal dont une partie est différenciée en un organe contractile, le cœur, ce dernier est formé d'un ventricule et de deux oreillettes. Le sang renferme un pigment respiratoire à base de cuivre : l'hémocyanine (transport de l'oxygène).

❖ L'appareil respiratoire : Il est constitué par une paire de branchies, ou ctenidies, située dans la cavité palléale et en liaison avec le cœur. Au niveau des branchies, les cils créent des courants qui assurent l'entrée et la sortie de l'eau à travers les valves. Les branchies filtrent et capturent les particules présentes dans la colonne de l'eau mais également l'oxygène dissous. Elles effectuent, ensuite, un tri entre les particules non nutritives, qui sont rejetées sous forme de pseudo fèces et celles nutritives qui sont enrobées de mucus et transportées à la bouche pour y être ingérées.

❖ L'appareil reproducteur : l'appareil génital est à gonoductes ; il s'ouvre à l'extérieur ou dans les reins. Les sexes sont selon les espèces séparés ou réunis. La fécondation s'effectue à l'extérieur des voies génitales ; les larves nageuses sont libres ou incubées dans les branchies ou dans la cavité palléale.

## 1.2 Modèles biologiques étudiés

### 1.2.1 *Cerastoderma glaucum* (Bruguière 1789)

#### 1.2.1.1 Position systématique :

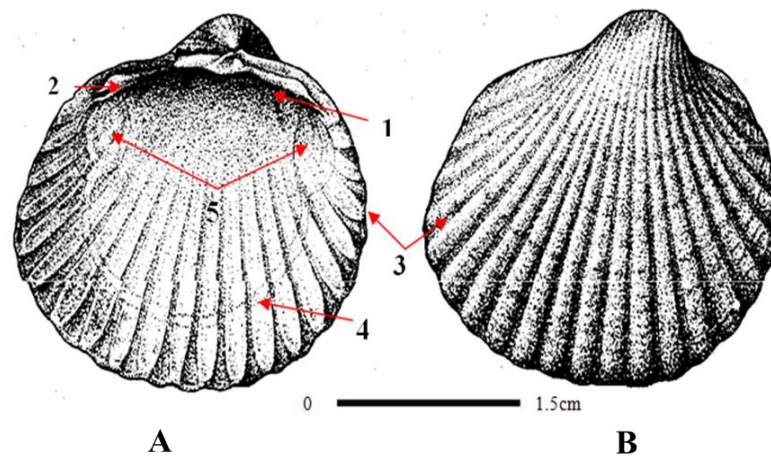
Embranchement	Mollusca
Classe :	Bivalvia
Sous-classe :	Pélicypodes
Ordre :	Veneroïda
Famille :	Cardiidae
Genre :	<i>Cerastoderma</i>
Espèce :	<i>Cerastoderma glaucum</i>

#### 1.2.1.2 Noms vernaculaires :

Algérie : Coque ; Tunisie : Sandouk ; Angleterre : Olive green cockle; Espagne : Berberecho verde; France : Coque glauque.

#### 1.2.1.3 Morpho-anatomie externe :

*Cerastoderma glaucum* ou *Cardium glaucum* est de forme arrondie, globuleuse d'une taille comprise entre 30 et 40 mm ; la taille maximale enregistrée est de 5,5 cm (Poutier, 1987). Sa coquille présente 17 à 28 côtes radiantes convexes bien visibles (fig. 3), les deux valves de la coquille sont identiques mais inéquilatérales; extérieurement elles sont de coloration blanchâtre à gris-jaune sale, plus ou moins teinté de brun violacé à olivâtre, surtout vers l'arrière; intérieurement elles sont blanches, souvent taché de gris-brun. La durée de vie de ce bivalve est de 2 à 4 ans mais il peut vivre exceptionnellement jusqu'à 10 ans.



A : Intérieur valve gauche ; B : Extérieur valve droite

**Figure 3.** Morphologie externe de *Cerastoderma glaucum*  
1 Charnière ; 2 Ligament; 3 Crénélures marginales; 4 Ligne palléale ; 5 Cicatrices musculaires

#### 1.2.1.4 Ecologie et aire de répartition :

La coque *Cerastoderma glaucum* est une espèce euryhaline et eurytherme caractéristique des communautés benthiques et phytophiles des systèmes lagunaires (Labourg et Lasserre, 1980). Elle vit en eau peu profonde, plus particulièrement sur des fonds de sable ou de vase ; cette espèce est présente dans les fonds meubles variés de l'étage infralittoral ; très commune dans les eaux saumâtres confinées ou renouvelées (lagunes littorales, estuaires). Elle est principalement méditerranéenne, très abondante sur les côtes britanniques et le nord de l'Europe (fig. 4) ; toute fois la répartition de cette espèce reste mal connue surtout du fait de la confusion possible avec *Cerastoderma edule*. L'espèce *Cerastoderma glaucum* a été signalée pour la première fois en Algérie par Backalem et Romano (1981).



**Figure 4.** Aire de distribution de *Cerastoderma glaucum*/ AquaMaps (Sources : GBIF/ OBIS) (GBIF: Global Biodiversity Information Facility, OBIS: Ocean Biogeographic Information System)

#### 1.2.1.5 Alimentation :

La coque est un bivalve suspensivore détritivore actif (Barnes 1980) qui se nourrit de phytoplancton, de zooplancton et de particules organiques qui sont entraînées par le courant d'eau qui traverse la cavité palléale. Lors de la filtration de l'eau un tri des particules s'effectue avant l'ingestion.

#### 1.2.1.6 Croissance :

L'espèce *C. glaucum* présente une croissance rapide les deux premières années. Il est établi qu'un certain nombre de facteurs influence fortement la croissance des coques comme la saison, la localisation géographique (Hancock, 1967 ; Ducrotoy et al., 1991), la température de l'eau, (Smaal et al., 1997), la disponibilité de la nourriture et la densité des coques (Jensen, 1993 ; Montaudouin et Bachelet, 1996).

#### 1.2.1.7 Reproduction :

*C. glaucum* est une espèce gonochorique à fécondité élevée, l'appareil reproducteur s'insinue entre les organes digestifs, dans le tissu conjonctif (Grassé, 1960), en périodes de ponte, les produits génitaux sont évacués soit directement par les gonoductes, soit par

l'intermédiaire des reins. A l'issue d'une fécondation aquatique externe, les œufs donnent naissance à des larves véligères ciliées qui, après métamorphose, donneront un juvénile.

***Ruditapes decussatus*** (Linné, 1758)

*1.2.2.1 Position systématique :*

Embranchement	Mollusca
Classe :	Bivalvia
Sous-classe :	Heterodonta
Ordre :	Veneroida
Famille :	Veneridae
Genre :	<i>Ruditapes</i>
Espèce :	<i>Ruditapes decussatus</i>

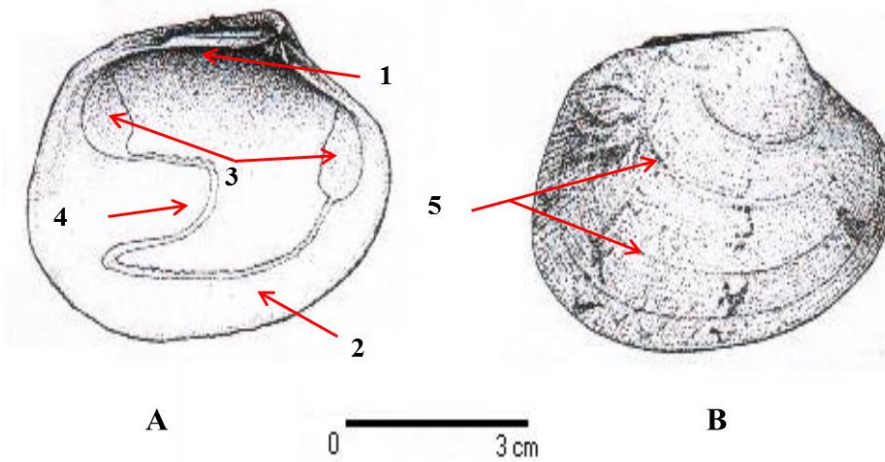
*1.2.1.8 Noms vernaculaires :*

Algérie : Palourde ; Tunisie : Kafala ; Angleterre : Grooved carpet shell; Espagne : Almeja fina.; France : Palourde croisée d'Europe/ Palourde commune.

*1.2.1.9 Morpho-anatomie externe :*

La morphologie externe de *Ruditapes decussatus* (fig. 5) est caractérisée par une coquille équivalve et inéquilatérale qui forme un ensemble ovale légèrement allongé et aplati sur la région postérieure. On observe sur les valves des stries rayonnantes très serrées ainsi que des stries concentriques assez prononcées qui donnent un aspect quadrillé. La charnière comprend trois dents cardinales sur chaque valve. Il n'y a pas de dents latérales. La forme générale de la coquille peut varier énormément d'une population à l'autre. La coloration externe de la coquille est très variée (de blanchâtre à grisâtre avec des nuances de brun) ; on remarque parfois des motifs sur les valves. La ligne palléale et les cicatrices des muscles

adducteurs sont distincts à la face interne des valves (Franc, 1960 ; Poppe et Goto, 1991), le sinus palléal est profond sans toutefois dépasser la ligne médiane des valves.



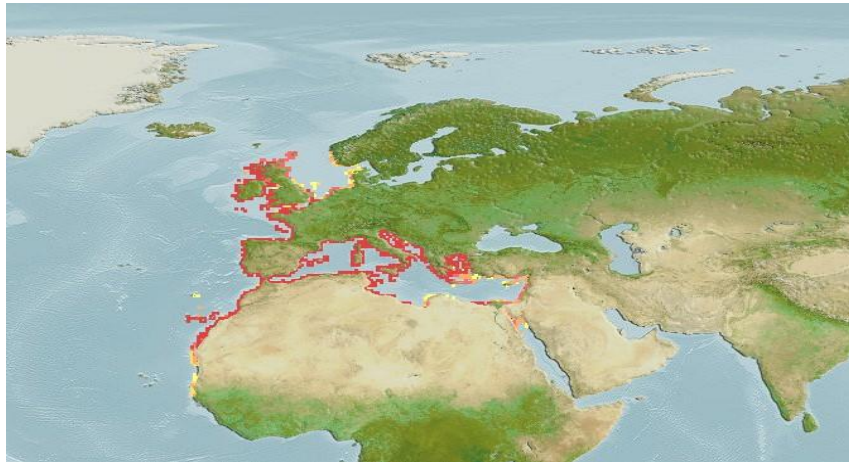
A : Intérieur valve gauche ; B : Extérieur valve droite

**Figure 5.** Morphologie externe de *Ruditapes decussatus*

1 Ligament; 2 Ligne palléale; 3 Cicatrices musculaires ; 4 Sinus palléal ; 5 Stries valvaires

#### 1.2.2.4 Ecologie et aire de répartition :

*R. decussatus* est une espèce euryhaline et eurytherme présente naturellement en mer du Nord, dans la Manche, dans l'Atlantique Est jusqu'au Congo (Trigui-El Menif, 1995) ainsi qu'en Méditerranée ; depuis l'ouverture du canal de Suez on la retrouve dans la mer Rouge (fig. 6). Elle affectionne des milieux abrités et plus particulièrement ceux à salinité variable comme les baies ou les lagunes littorales. *R. decussatus* vit enfouie dans les fonds à substrats meubles : vases, sables et graviers, ainsi que ceux à granulométrie mixte, elle possède de fortes facultés d'enfouissement grâce à son pied très développé.



**Figure 6.** Aire de distribution de *Ruditapes decussatus* / AquaMaps (Sources : GBIF/ OBIS) (GBIF: Global Biodiversity Information Facility, OBIS: Ocean Biogeographic Information System)

#### 1.2.2.5 Alimentation :

L'espèce est considérée comme suspensivore et fait également partie du groupe des dépositivores ; elle se nourrit principalement de matière organique en suspension, de phytoplancton, d'algues unicellulaires et des dépôts sur le substrat. Les capacités de filtration de la palourde sont considérables ; selon Le Treut (1986), un individu peut filtrer jusqu'à 70 litres par jour. La filtration constitue la base de son alimentation.

#### 1.2.2.6 Croissance :

La croissance chez la palourde est fortement ralentie pendant la saison froide. Elle est maximale au printemps et en automne. De fortes variations entre les années sont observées ; elles sont liées à la variabilité des conditions climatiques. La croissance est également très variable en fonction de la saison, du site, de la densité et de la disponibilité de la nourriture (Maître-Allain, 1983).

#### 1.2.2.7 Reproduction :

La palourde du genre *Ruditapes* est une espèce gonochorique à fécondation externe ; sa reproduction est cyclique et se fait généralement au rythme d'une fois par an (Trigui-El

Menif, 1995). La maturation sexuelle et l'émission des gamètes se font sous l'effet d'une hausse progressive de température ; en zone tempérée la gonade se développe au printemps et la maturation dure de 2 à 5 mois. La gamétogenèse s'initie entre 8 et 12°C (Laruelle, 1999 ; Park & Choi, 2004) tandis que la ponte est déclenchée à partir de 12°C et elle est optimale entre 20 et 22°C. La phase pélagique larvaire dure deux à quatre semaines (Le Treut, 1986). Une série de métamorphoses intervient et la larve va ensuite se fixer sur le substrat.

### **1.3 Les bivalves en écotoxicologie**

L'écotoxicologie se définit comme étant l'analyse des effets néfastes des contaminants chimiques sur les écosystèmes en intégrant les impacts aussi bien sur les individus que sur la population (Walker et al., 2006). Le recours à des méthodes basées sur des observations qualitatives et/ou quantitatives des organismes vivants dans les milieux naturels est rapidement apparu comme un moyen potentiel de pallier les insuffisances des méthodes d'analyses chimiques. Ces espèces, animales ou végétales dites sentinelles, permettent d'évaluer rigoureusement le risque toxique potentiel d'une substance polluante ou d'un mélange complexe de polluants. Les mollusques ont été parmi les premiers organismes sentinelles utilisés dans les études de surveillance des écosystèmes aquatiques marins et dulçaquicoles ; leur position trophique en tant que consommateurs primaires permet d'assurer un rôle de transition pour l'ensemble de la chaîne alimentaire de ces écosystèmes et par conséquent ils participent au maintien de l'équilibre de ces milieux (Reice & Wohlenberg, 1993).

Parmi les différentes espèces de mollusques, les bivalves, en qualité d'organismes sentinelles, constituent de bons candidats dans les programmes de biosurveillance, en raison de certaines de leurs caractéristiques notamment leur sédentarité, leur large aire de distribution, leur mode d'alimentation (filtreur), leur capacité à accumuler les contaminants présents dans l'eau et dans la matière en suspension (Kryger & Riisgard, 1988 ; Viarengo et

al., 2007 ; Berthet 2008). Ils sont, par ailleurs, aisément manipulables lors d'expérimentations au laboratoire ou sur le terrain (Lagadic et al., 1997 ; Ramade, 2007).

## **2. Eléments traces métalliques**

### **2.1 Sources**

Les éléments traces ou métaux lourds sont des constituants naturels dans les roches et dans les gisements minéraux. Ils sont ainsi nommés car ces composés sont souvent retrouvés à l'état de traces dans la croûte terrestre, la concentration pour chacun d'eux est inférieure à 0.1% et ne représente que 0.6% du total des éléments chimiques (Baize, 1997 ; Alloway & Ayres, 1997 ; Callender, 2003).

Ainsi ces éléments sont présents naturellement dans le compartiment continental (sols, eaux), dans le compartiment marin (eaux et sédiments), dans l'atmosphère et dans la biosphère où ils sont introduits par l'intermédiaire de phénomènes naturels tels que l'érosion, l'activité volcanique ou les dépôts atmosphériques. Par ailleurs, les propriétés thermiques et électriques de ces composés en font des éléments de choix dans de nombreuses activités humaines, favorisant ainsi leur dispersion dans l'environnement sous diverses formes chimiques.

Les métaux rencontrés dans l'environnement peuvent être classés selon leur caractère essentiel ou non. Un métal est considéré comme essentiel lorsqu'il remplit des fonctions biochimiques bien précises dans l'organisme et que son absence entraîne l'apparition de symptômes pathologiques qui disparaissent lorsque le composé est à nouveau présent (Kucuksezgin et al., 2006). Inversement, un élément métallique est dit non-essentiel lorsqu'on ne lui connaît aucune fonction biologique particulière. Généralement ces composés entraînent des effets toxiques délétères à partir de concentrations pouvant être très faibles.

En milieu aquatique, la toxicité des métaux dépend généralement de leur biodisponibilité, c'est à dire des formes chimiques sous lesquelles ils se trouvent dans le milieu, les rendant

plus ou moins accessibles aux organismes. On les retrouve sous forme dissoute, complexés à la matière organique dissoute ou adsorbés sur les particules (Essid, 2008). Leur disponibilité change très fortement avec les paramètres environnementaux tels que la température, la salinité et le pH. La forme physico-chimique d'un métal (spéciation) conditionne sa mobilité et sa biodisponibilité. En général, la forme libre ou ionique, la plus biodisponible, est la plus toxique.

Chez les organismes aquatiques, l'assimilation des métaux associés à des particules non dissoutes, peut se faire à travers le tractus digestif lors des prises de nourriture (Jennings, 1979). Les métaux en solution sont absorbés par les surfaces directement en contact avec le milieu extérieur tel que les branchies. Les formes ioniques libres entrent par simple diffusion passive à travers la membrane cellulaire (Carpene et George, 1981). Les formes complexées, comme les hydroxydes ferreux entrent par des phénomènes de pinocytose (George, 1980). Pour la forme particulaire, la prise du métal peut se faire par endocytose. Cette endocytose peut se produire au niveau de l'épithélium branchial mais surtout au niveau des épithéliums des voies digestives (George, 1980).

La tolérance des organismes marins à des concentrations élevées en métaux dans le milieu, se fait grâce à la régulation des teneurs internes en métaux et à l'accumulation des métaux en excès sous des formes non toxiques (Viarengo et Nott, 1993). Les teneurs internes en métaux essentiels sont maintenues à des niveaux bénéfiques ; Quand cette capacité de régulation est dépassée, le métal devient toxique (George, 1990).

Le processus de bioaccumulation métallique s'effectue en trois étapes principales : la diffusion du métal vers la surface biologique, la diffusion au travers de la couche externe puis la complexation du métal à des sites physiologiques inertes ou actifs, affectant ou non le métabolisme (Campbell & Couillard, 2004).

Chez les mollusques, il a été démontré qu'une contamination par les métaux lourds peut affecter la croissance, la consommation de l'oxygène, la reproduction etc (Viarengo, 1989).

## 2.2 Caractéristiques des métaux lourds analysés dans cette étude

### 2.2.1 Cadmium

#### 2.2.1.1 Propriétés fondamentales :

De symbole Cd, le cadmium est un métal blanc argenté ayant des propriétés physiques proches de celle du zinc. Il présente une grande résistance à la corrosion et son point de fusion est bas. Il a une bonne conductivité de l'électricité et ses produits dérivés ont une bonne résistance aux fortes températures.

Il présente des caractéristiques chimiques proches de celles du calcium, en particulier le rayon ionique, facilitant ainsi sa pénétration dans les organismes (Borchardt, 1985).

Le cadmium est un élément rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimiques (minérale ou organique). Un ensemble de variables physico-chimiques du milieu (salinité, pH, potentiel redox, caractéristiques sédimentologiques, nature géochimique des particules, concentration en chlorures) gouvernent les transformations du cadmium dans l'environnement (Gonzalez et al., 1999; Chiffoleau et al., 2001). La distinction entre les trois formes dissoutes, colloïdales et particulaires se fait par filtration et ultrafiltration, dont les seuils sont fixés arbitrairement en fonction de leur taille :

- Les formes dissoutes (< 1 nm) de cet élément en milieu aquatique sont des espèces libres ( $\text{Cd}^{2+}$ ) et formées par des associations (complexation) de cadmium avec des composés (ligands ou complexant) minéraux ou organiques. Contrairement au mercure, l'ion libre du cadmium se trouve majoritairement dans le milieu. Ainsi, à pH=8, la quasi-totalité du cadmium est présente sous forme  $\text{Cd}^{2+}$ . Plus la salinité augmente, plus la concentration en  $\text{Cd}^{2+}$  diminue (Cossa, 1989 ; Campbell, 1995). Pour des pH supérieurs à 8, le cadmium précipite avec les carbonates. En zone côtière, lors du mélange des eaux douces avec l'eau de mer, le cadmium forme des complexes

très stables avec les chlorures: les chloro-complexes ( $\text{Cd Cl}_2$ ,  $\text{Cd Cl}^+$ ,  $\text{Cd Cl}_3$ ). Pour des salinités faibles, c'est l'espèce  $\text{Cd Cl}^+$  qui domine, alors qu'en milieu marin, c'est  $\text{Cd Cl}_2$  qui est majoritaire (Cossa et Lassus, 1989).

- Les formes colloïdales (de 450 à 1 nm) apparaissent lorsque le cadmium se fixe à des oxydes de fer, de manganèse, des hydroxydes, des carbonates, des argiles ou de la matière organique colloïdale.
- Les formes particulières ( $> 0,45 \mu\text{m}$ ) se font par intégration du cadmium dans la structure cristalline de minéraux détritiques (bruit de fond géochimique), par liaison à une fraction d'origine organique (carbonates, restes d'organismes, pelotes fécales), par précipitation avec différents fractions minérales (carbonates, phosphates, oxydes et hydroxydes de fer ou de manganèse, sulfures) et par adsorption sur des phases de différentes natures (argiles, matières organiques, oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse) (Gonzalez et al., 1999).

#### 2.2.1.2 Propriétés biologiques et toxicité :

Contrairement à de nombreux métaux, le cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants. Il remplace parfois le Zn dans des systèmes enzymatiques carencés en Zn chez le plancton (Price & Morel, 1990; Lane & Morel, 2000). Le cadmium présente des risques chez le consommateur. Même à de faibles concentrations, il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes (50 ans) où il entraîne une perte anormale de protéines par les urines (protéinurie) et provoque des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées. Cependant, il ne présente pas de toxicité aiguë pour les organismes marins à des concentrations susceptibles d'être rencontrées dans le milieu. Au niveau sublétal, des concentrations de 0,05 à 1,2  $\mu\text{g/l}$  peuvent provoquer des effets physiologiques (anomalies

dans le développement embryonnaire et larvaire chez les mollusques bivalves) et des inhibitions de croissance (Chiffolleau et al., 2001).

## 2.2.2 Cuivre

### 2.2.2.1 Propriétés fondamentales :

De symbole Cu, cet élément chimique métallique de couleur rouge-brun est indispensable au métabolisme des êtres vivants (oligo-éléments). L'ion  $\text{Cu}^{2+}$  forme de nombreux complexes stables avec des ligands minéraux, comme les chlorures ou l'ammonium, ou avec des ligands organiques (Dameron & Howe, 1998). Dans les milieux aqueux, le comportement du cuivre est influencé par de nombreux processus:

- Complexation avec des ligands organiques (surtout sur les groupes  $\text{NH}_2$  et  $\text{SH}$ , et dans une moindre mesure sur le groupe  $\text{OH}$ ) ou minéraux,
  - Adsorption sur des oxydes métalliques, des argiles ou des matières organiques particulières, -Bioaccumulation, présence de cations de compétition ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ).
  - Echanges entre les sédiments et l'eau (ATSDR, 1990; Dameron et Howe, 1998).
- L'oxyde cuivreux  $\text{Cu}_2\text{O}$  est insoluble dans l'eau alors que les formes  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  et  $\text{CuCl}_2$  le sont. La majorité du cuivre rejeté dans l'eau est sous forme particulaire et tend à se déposer, à précipiter ou à s'adsorber à la matière organique, au fer hydraté, aux oxydes de manganèse ou aux argiles. Dans l'eau, le cuivre particulaire représenterait de 40 à 90 % du cuivre (ATSDR, 1990). Après introduction du cuivre dans le milieu aquatique, l'équilibre chimique est généralement atteint en 24 heures.

#### 2.2.2.2 Propriétés biologiques et toxicité :

Le cuivre est un élément essentiel chez l'homme et l'animal. Il est impliqué dans de nombreuses voies métaboliques, notamment pour la formation d'hémoglobine et la maturation des polynucléaires neutrophiles. De plus, il est un cofacteur spécifique de nombreuses enzymes et métalloprotéines de structure intervenant dans un métabolisme oxydatif, la respiration cellulaire, la pigmentation (OMS.IPCS, 1998). Il a une importance capitale dans l'entretien des processus biologiques. Chez les mollusques, le sang renferme un pigment respiratoire à base de cuivre, l'hémocyanine.

La toxicité vis à vis des organismes marins dépend de la forme chimique du cuivre et de son état d'oxydation. En particulier, la concentration létale en 48 h pour 50 % des larves d'huîtres plates serait de 1 à 3 µg/l et des inhibitions de croissance du phytoplancton se produisent à partir de 4 µg/l.

Les caractéristiques physico-chimiques du milieu (pH, dureté, teneurs en autres éléments inorganiques) agissent sur le degré de dissociation entre les formes métalliques et ioniques. Le cuivre complexé est moins toxique que le cuivre à l'état ionique.

### 2.2.3 Zinc

#### 2.2.3.1 Propriétés fondamentales :

Le zinc est un élément chimique métallique, bleuâtre, de symbole Zn. Il s'agit d'un oligo-élément indispensable au développement de la vie. Son utilisation est variable et multiple. Une grande partie de la pollution par le zinc provient de la métallurgie.

#### 2.2.3.2 Propriétés biologiques et toxicité :

Les chlorures et sulfates de zinc et de cadmium, du fait de leur grande solubilité présentent beaucoup de danger pour la vie aquatique et peuvent facilement s'accumuler dans l'organisme. Chez les poissons, les chlorures et sulfates de zinc et de cadmium montrent un

effet toxique chez les protozoaires et les bactéries ; du fait que ces derniers constituent les bases de nombreuses chaînes alimentaires. Chez l'homme le zinc métal ne présente pas de toxicité particulière, les effets toxiques observés sont surtout le fait d'oxyde ou de chlorure de zinc utilisés dans l'industrie. Des anomalies chromosomiques peuvent s'observer au niveau des globules blancs chez les ouvriers travaillant dans un environnement pollué par l'oxyde de zinc.

## **2.2.4 Plomb**

### *2.2.4.1 Propriétés fondamentales :*

Le plomb (Pb) est très souvent associé au zinc dans les minerais mais aussi à de nombreux autres éléments : Fe, Cu, Cd, Bi, Sb, Ge, As, Ag, qui sont en grande partie (sauf Fe) récupérés lors des opérations métallurgiques du fait que l'utilisation du plomb est directement liée à la métallurgie. Dans l'antiquité, pour la production de la monnaie, les canalisations et la vaisselle et actuellement dans l'industrie, l'imprimerie, les peintures et les carburants automobiles.

### *2.2.4.2 Propriétés biologiques et toxicité :*

Les doses létales du plomb, sous la forme de sel minéral, sont souvent supérieures à sa limite de solubilité dans l'eau de mer, c'est à dire 4 mg/l. Le plomb inorganique peut donc être considéré comme toxique (concentration létale de 1 à 10 mg/l) ou modérément toxique (concentration létale de 10 à 100 mg/l). Le seuil de qualité sanitaire réglementaire est de 1,5 mg/kg (poids humide) du règlement européen CE 221/2002. Des effets sur la croissance de certaines espèces phytoplanctoniques ont été enregistrés à partir de 0,5µ/l. L'effet toxique du plomb peut se traduire par une compétition avec des métaux essentiels, chez la moule, *Mytilus edulis*, en présence de plomb (0,1 mg/l), il y a perturbation du métabolisme des autres métaux divalents: notamment le calcium, le magnésium et le cuivre (Marchand & Kantin, 1997).

Enfin, le saturnisme désigne l'ensemble des manifestations de l'intoxication humaine par le plomb. Ses principaux organes cibles sont le système nerveux, les reins et le sang. Cette maladie se caractérise par une anémie et une perturbation du métabolisme par compétition avec les ions  $\text{Ca}^{2+}$ .

### **3. Présentation de la zone de l'étude**

#### **3.1 Localisation**

El Mellah est une lagune côtière d'eau saumâtre située dans un site naturel limité au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par les forêts des deux Lacs et de Aïn Khia, à l'Est par la Forêt de Boumalek et l'agglomération Kantra El Mallah El Hamra et, à l'Ouest, par les plaines de Boutheldja et de Ben M'hidi (anonyme, 2005). A une distance de 48 Km à l'est de la ville d'Annaba cette lagune s'insère dans le complexe de zones humides du Parc National d'El Kala (PNEK) (fig. 7), ses coordonnées géographiques au centre du plan d'eau sont  $36^{\circ} 53' 565''$  Nord -  $8^{\circ} 19' 560''$  Est.

Du point de vue hydrologique, El Mellah reçoit les eaux douces d'un bassin versant restreint et peu peuplé et également les apports d'eau marine au rythme d'une marée biquotidienne ; il peut être considéré comme un niveau de base vers lequel convergent les eaux de surface et les eaux souterraines.

Il constitue un réceptacle particulier, compte tenu de sa relation directe avec la mer via son chenal au nord ; il est alimenté par trois principaux cours d'eau : oued Reguibet au nord-est, oued Mellah et oued El Aroug au sud.

#### **3.2 Dimensions :**

- De forme ovoïde, sa longueur, depuis l'exutoire de l'oued Bouaroug jusqu'au début du chenal, est égale à 4,790 km
- La largeur maximale est égale à 2,603 km dans la moitié nord.

- La largeur minimale est égale à 0,620 km dans la moitié sud.
- La largeur moyenne est égale à 1,950 km environ.
- Le périmètre est égal à 13,53 km.
- La longueur du chenal est égale à 0,870 km, sa largeur est de 15 m environ.
- La superficie totale mesurée est de 863 ha 55 ares 80 ca, soit 864 ha environ.

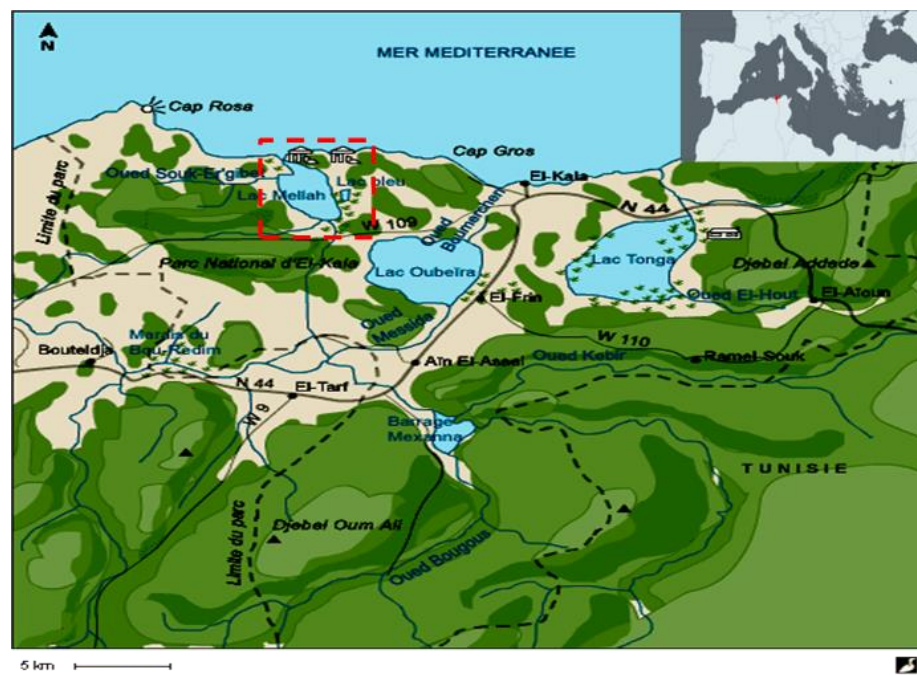


Figure 7. Situation géographique du lac El Mellah

### 3.3 Sites d'échantillonnage :

Trois critères de sélection ont été pris en compte lors du choix des stations de prélèvement des bivalves :

- Importance et constance des gisements naturels des bivalves *Cerastoderma glaucum* et *Ruditapes decussatus*.
- Situation des sites vis-à-vis des apports continentaux et marins.
- Etudes antérieures (Refes, 1994 ; Grimes, 1994 ; Boudjellal et al., 1998 ; Beldi et al., 2004 ; Draredja, 2005, 2007; Melouah et al., 2014).

Ainsi deux stations ont été sélectionnées (fig. 8)

- Site 1 (S1) : Localisé au niveau de la berge Nord-Ouest de la lagune, zone plus ou moins abritée soumise aux entrées marines.
- Site 2 (S2) : Localisé au Sud de la lagune, sous l'influence des apports continentaux à proximité de l'embouchure de l'oued El-Mellah.



**Figure 8.** Localisation des stations d'échantillonnage du matériel biologique dans la lagune Mellah (www.googleearth.com, modifié)

**Chapitre II- Age,  
croissance et mortalité  
chez *C. glaucum* &  
*R. decussatus***

## **Introduction**

La connaissance de l'âge, la croissance, la structure de population et la mortalité chez les bivalves est une condition fondamentale à l'étude de la démographie et la dynamique de ces populations (Gaspar et al, 2004) ; ces informations sont également cruciales à la gestion durable de ces espèces ainsi qu'à l'évaluation de leur potentiel aquacole. Chez les bivalves, la croissance est classiquement décrite par une augmentation des dimensions de la coquille et le critère le plus fréquemment utilisé est la plus grande longueur correspondant à la mesure antéropostérieure des valves (Gosling, 2003).

L'objectif du présent chapitre est donc l'étude des paramètres de croissance et certains traits d'histoire de vie chez la coque *Cerastoderma glaucum* et la palourde *Ruditapes decussatus* issues de la lagune d'El Mellah ; les résultats obtenus serviront à l'actualisation des données sur la biologie de ces deux espèces présentes dans ce site.

## **1. Matériel et méthodes**

### **1.1 Prélèvement et traitement des échantillons**

Les échantillons de *Cerastoderma glaucum* et *Ruditapes decussatus* ont été collectés mensuellement. Les spécimens de l'espèce *C. glaucum* ont été récoltés au niveau de S1 et S2 durant la période s'étalant de janvier 2014 à juin 2015 (18 mois d'échantillonnage) et ceux de l'espèce *R. decussatus*, seulement au niveau de S1, de mai 2016 à avril 2017 (12 mois d'échantillonnage).

Les deux espèces ont été pêchées à la main ou à l'aide d'un râteau à coquillage à une profondeur maximum de 50 cm ; par la suite, les bivalves sont transportés dans des conditions adéquates (dans une glacière, à basse température) jusqu'au laboratoire où ils sont triés, nettoyés puis pesés et mesurés. Les mensurations ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse (au 1/10 mm près) et les pesées à l'aide d'une balance de haute précision à 0.01 g.

Les paramètres linéaires (fig. 9) et pondéraux retenus pour cette étude sont les suivants :

❖ Paramètres linéaires :

- La longueur (L) : correspond à la plus grande distance séparant le bord antérieur du bord postérieur de la coquille ; elle est considérée comme longueur de référence.
- La largeur (La) : représente la distance allant de la charnière dorsale au bord ventral.
- L'épaisseur (Ep) : comprend la largeur maximale de la convexité des deux valves réunies.

❖ Paramètres pondéraux :

- Poids total frais (Pt) : poids total de l'animal entier.
- Poids de la coquille (P coq) : poids de la coquille vide égouttée.
- Poids frais de la chair (Pchf) : poids de la masse viscérale fraîche égouttée.

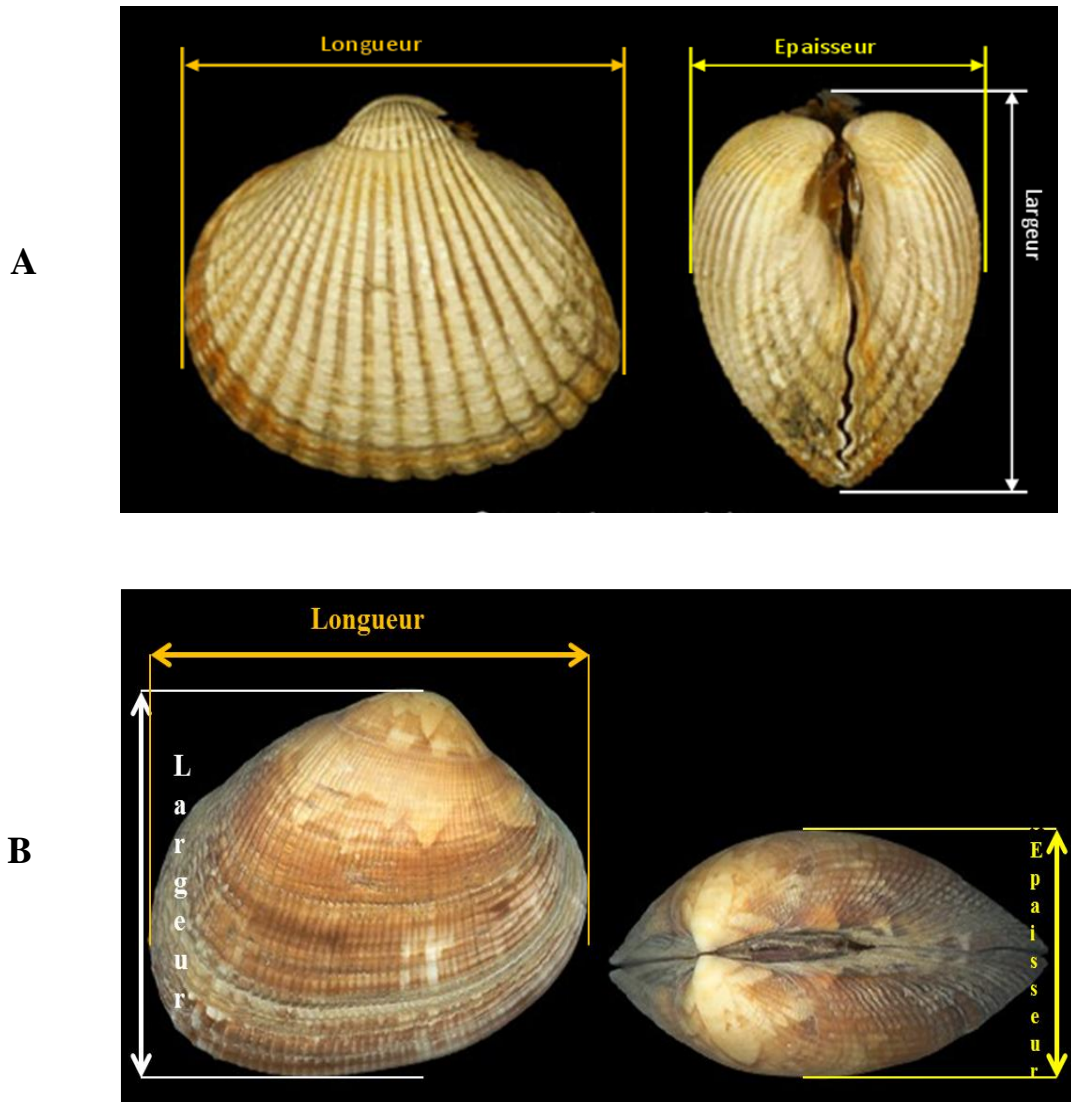


Figure 9. Dimensions mesurées pour *C. glaucum* (A) et *R. decussatus* (B)

## 1.2 Etude de la croissance relative

Plusieurs modèles ont été proposés afin de comparer deux variables biométriques; cependant la majorité peut être ramenée à la loi d'allométrie simple de Huxley et Teissier (1936) qui s'exprime comme suit :  $Y = a \cdot X^b$

Y: dimension de l'organe ou proportion du corps étudié

X: longueur de l'organe de référence

a: indice à l'origine

b: coefficient d'allométrie.

Cette équation peut également être exprimée sous sa forme logarithmique après transformation : **Log Y = b. Log X + Log a**

Afin de déterminer la nature d'allométrie, nous avons comparé la valeur observée de la pente (b) à la valeur théorique 1 (s'il s'agit de relations allométriques liant deux paramètres linéaires), ou 3 (s'il s'agit d'une mesure linéaire et d'une mesure pondérale) à l'aide du test t de Student (à 5% comme seuil d'erreur).

$$t = \frac{|b - 1|}{s_b} \quad \text{ou} \quad t = \frac{|b - 3|}{s_b}$$

sb : Ecart-type de la pente (b)

$$s_b = \sqrt{\frac{sy^2 (1-r^2)}{sx^2 (n-2)}}$$

Avec s qui représente l'écart-type ;  $sy^2$  la variance de y ou dispersion de y après transformation logarithmique ;  $sx^2$  la variance de x ou dispersion de x après transformation logarithmique ; r le coefficient de corrélation et n-2 le degré de liberté.

L'interprétation se fera comme suit :

❖ Dans le cas de deux variables de dimension différentes (poids-taille):

- $b < 3$ : l'allométrie est minorante (négative), le poids croît moins vite que le cube de la longueur;
- $b = 3$ : la croissance est dite isométrique, le poids croît proportionnellement au cube de la longueur ;
- $b > 3$ : l'allométrie est majorante (positive), le poids croît plus vite que le cube de la longueur.

❖ Dans le cas de deux variables de même dimension (paramètres linéaires) :

- $b < 1$ : l'allométrie est minorante (négative),
- $b = 1$ : il y a isométrie c'est à dire que la croissance se fait dans les mêmes proportions.
- $b > 1$ : l'allométrie est majorante (positive).

## 1.2 Etude de l'âge et de la croissance absolue

### 1.2.1 Détermination de l'âge :

Suite aux difficultés rencontrées lors de la lecture des stries d'accroissement, la détermination de l'âge chez *C. glaucum* et *R. decussatus* a été réalisée à l'aide de la méthode indirecte de Bhattacharya (1967). Cette méthode disponible dans le logiciel FiSAT II 1.2.0 (Gayaniilo et al. 2005) est basée sur une transformation logarithmique des effectifs regroupés en classes de tailles à intervalles égales et ainsi l'estimation statistique de l'âge est faite à partir de l'analyse des courbes de fréquence de tailles (Gheno & Le Guen, 1968; Harding, 1949; Bhattacharya, 1967). Dans le cadre de cette étude, les coques et les palourdes échantillonnées ont été réparties selon leur longueur en classe de taille de 2 mm d'amplitude.

### 1.2.2 Croissance absolue :

La croissance linéaire absolue a été établie à partir de l'analyse des distributions des tailles et leur décomposition en modes. Le modèle de von Bertalanffy (1938) dont l'exécution est assurée par le programme FiSAT II 1.2.0 (Gayaniilo et al. 2005) a été retenu pour la détermination des paramètres de croissance chez *C. glaucum* et *R. decussatus* ; son expression mathématique est la suivante :  $L_t = L_\infty [1 - e^{-K(t-t_0)}]$

- $L_t$ : longueur totale à l'instant  $t$  (mm);
- $L_\infty$ : longueur maximale asymptotique c'est à dire la longueur maximale théorique que le bivalve peut atteindre (mm);
- $K$ : coefficient de croissance de l'animal ( $\text{an}^{-1}$ )
- $t_0$  : âge théorique (an) quand la longueur est nulle ( $L_t = 0$  mm).

Corrélativement, la courbe de von Bertalanffy s'exprime pour la croissance en poids comme suit :  $W_t = W_\infty [1 - e^{-K(t-t_0)}]$

$W_t$  et  $W_\infty$  sont les poids correspondant respectivement aux  $L_t$  et  $L_\infty$ , et  $b$  le coefficient extrait de la relation longueur-poids :  $W = a \cdot L^b$

L'indice de performance de croissance phi prime ( $\Phi'$ ) chez les deux espèces a été déterminé suite à l'estimation de la longueur asymptotique ( $L_{\infty}$ ) et du coefficient de croissance ( $K$ ) selon l'équation proposée par Pauly & Munro (1984):

$$\Phi' = \log_{10} K + 2 \log_{10} L_{\infty}$$

Cet indice a été calculé afin de comparer nos résultats avec ceux obtenus chez *C. glaucum* et *R. decussatus* dans d'autres régions de la Méditerranée et d'Europe.

La longévité ou durée de vie maximale ( $t_{\max}$ ) a été calculée grâce à la formule suivante (Gayanilo & Pauly 1997):  $t_{\max} = 3/k$ .

### 1.2.3 Estimation de la mortalité totale (Z) :

Le taux annuel de mortalité totale ( $Z$ ,  $\text{an}^{-1}$ ) est défini comme étant la rapidité à laquelle l'effectif d'une population décroît ; c'est un aspect très important en dynamique des populations des bivalves. Ce paramètre est la somme de la mortalité naturelle  $M$  ( $\text{an}^{-1}$ ) (prédation, compétition, cannibalisme, pathologies, ...) et la mortalité artificielle ou par pêche  $F$  ( $\text{an}^{-1}$ ), ce qui nous amène à la formule:  $Z = M + F$

Lorsqu'il n'y a pas de pêche (i.e. stocks inexploités), comme tel est le cas pour *C. glaucum* et *R. decussatus* de la lagune d'El Mellah, la mortalité naturelle et la mortalité totale ont la même valeur ( $F = 0$ ,  $Z = M$ ). Dans la présente étude, le coefficient de mortalité totale  $Z$  est estimé par la méthode de la courbe des captures par classes de tailles (Pauly, 1983), le logiciel FiSAT II a été utilisé à cette fin.

## 1.3 Étude statistique

Les résultats de l'analyse des paramètres biométriques sont exprimés en moyenne  $\pm$  erreur standard de la moyenne (SE) ; alors que les résultats des tailles moyennes, selon le groupe d'âge, sont exprimés en moyenne  $\pm$  écart type (SD). Les données ont, initialement, été testées pour la normalité (test de Shapiro-Wilk) afin de répondre aux exigences statistiques

puis l'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel R (pour Windows, Version 3.3.2). Le test non-paramétrique de Wilcoxon-Mann-Whitney a été appliqué pour les comparaisons entre les deux sites d'échantillonnage.

## **2. Résultats**

### **2.1 *Cerastoderma glaucum***

#### *2.1.1 Structure des population :*

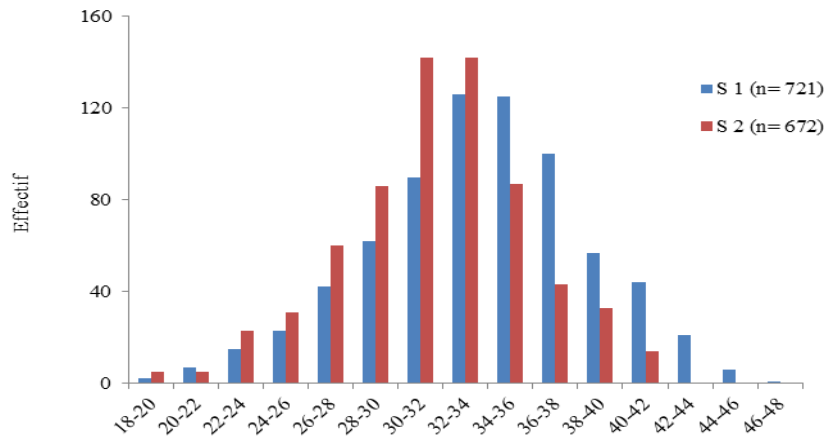
Au total 721 et 672 coques ont été analysées respectivement au niveau des stations S1 et S2 ; les longueurs et poids enregistrés variaient entre 19.87 - 47.11 mm et 2.24 - 30.71 g pour la première station, et entre 19.59 - 41.83 mm et 2 - 20.06 g pour la seconde. Les résultats de l'analyse de l'ensemble des paramètres biométriques sont décrits dans le tableau 1.

L'analyse de l'histogramme des fréquences de taille (fig. 10) a révélé que pour les deux stations le plus grand nombre d'individus appartenait essentiellement aux classes de taille comprises entre 28-38 mm (S1 : 71,86% et S2 : 76,92%). Cependant, nous notons la prédominance des classes de taille inférieures à 34 mm dans la station S2 et celles des classes de taille supérieures à 34 mm dans la station S1.

Sur le plan statistique, en ce qui concerne la longueur, l'application du test Wilcoxon-Mann-Whitney a révélé des différences inter stations très hautement significative ( $P < 0.001$ ).

**Tableau 1.** Description statistique des paramètres morphométriques mesurés chez *C. glaucum* de la lagune El Mellah. (n : nombre d'individus ; M : moyenne ; SE : erreur type de la moyenne)

Station	Paramètres morphométriques	n	M ± SE	Taille minimale	Taille maximale
S1	L	721	33,29 ± 0.185	19.87	47.11
	La		28,41 ± 0.148	14.8	38.45
	Ep		23,67 ± 0.129	13.45	32.85
	Pt		13,82 ± 0.191	2,24	30.71
	Pcoq		7,79 ± 0.118	1,02	19,85
	Pchf		2,25 ± 0.038	0,38	6,02
S2	L	672	31,32 ± 0.167	19.59	41.83
	La		26,48 ± 0.136	16.12	36.85
	Ep		22,23 ± 0.122	12.14	31.63
	Pt		10,85 ± 0.154	2	20,06
	Pcoq		5,48 ± 0.085	1,06	12,16
	Pchf		1,89 ± 0.031	0,19	5,29



**Figure 10.** Distribution des fréquences de taille de *C. glaucum* de la lagune El Mellah

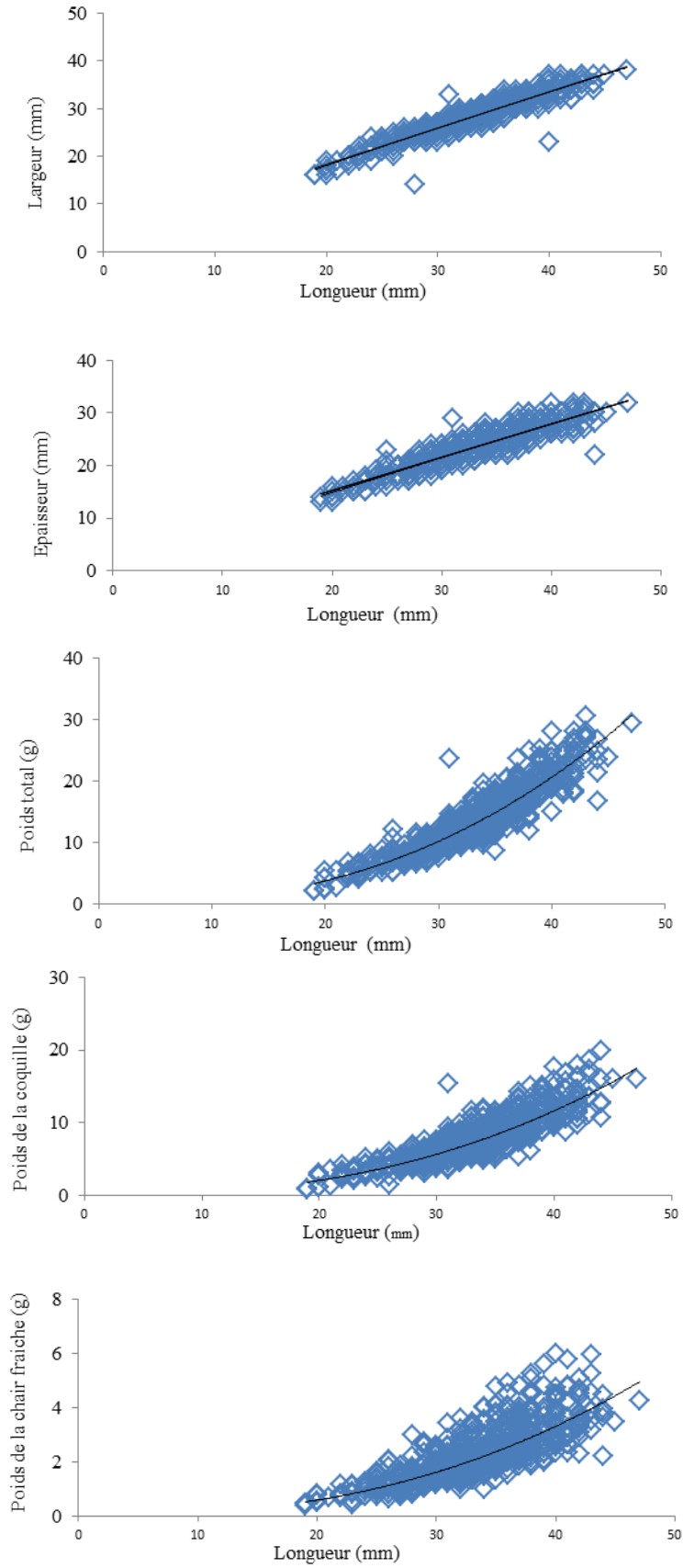
2.1.2 Croissance relative :

L'analyse des résultats des équations de régression couplant les différents paramètres linéaires et pondéraux à la longueur de référence (L) (tab 2, fig. 11 et 12) a révélé l'existence de fortes relations entre les paramètres enregistrés chez les bivalves collectés dans les deux stations ( $R^2 \geq 0.70$  ;  $p < 0,05$ ). Tous les rapports morphométriques expriment, sans exception, des allometries négatives démontrant que la largeur, l'épaisseur, le poids total, le poids de la coquille et le poids des tissus mous présentent une croissance moins rapide que la

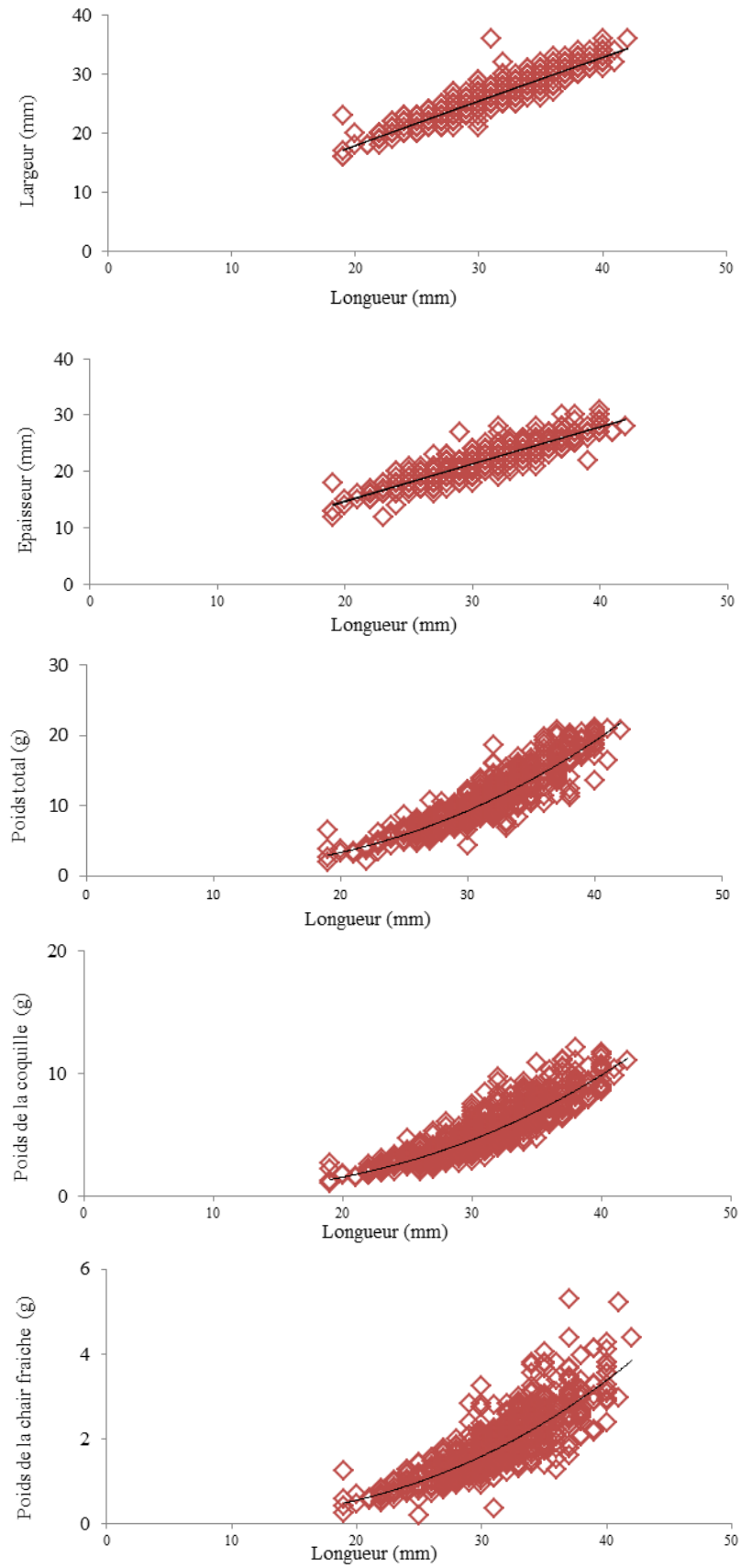
longueur. Ce qui suggère que la nature de l'allométrie chez la coque de la lagune El Mellah n'est pas influencée par le site de récolte.

**Tableau 2.** Relations d'allométrie liant paramètres linéaires (La, Ep) et pondéraux (Pt, Pcoq, Pchf) à la longueur de référence (L) de la coque *C. glaucum* de la lagune d'El Mellah. (n : nombre de couples de valeurs testées ;  $R^2$  : coefficient de corrélation, S : significatif pour  $p < 0,05$ )

Station	n	X	Y	Equation	R2	Test d'allométrie	Nature de la relation
S1	721	L	La	$\text{Log Y} = 0.7541 \text{ Log X} + 3.308$	0.89	S	minorante
			Ep	$\text{Log Y} = 0.6375 \text{ Log X} + 2.452$	0.83	S	minorante
			Pt	$Y = 0.0025 X^{2.4426}$	0.87	S	minorante
			Pcoq	$Y = 0,0011 X^{2,5035}$	0.77	S	minorante
			Pchf	$Y = 0,0003 X^{2,4881}$	0.70	S	minorante
S2	672	L	La	$\text{Log Y} = 0.7482 \text{ Log X} + 3.0435$	0.85	S	minorante
			Ep	$\text{Log Y} = 0.6551 \text{ Log X} + 1.7107$	0.80	S	minorante
			Pt	$Y = 0.0017 X^{2.5284}$	0.85	S	minorante
			Pcoq	$Y = 0,0006 X^{2,6475}$	0.81	S	minorante
			Pchf	$Y = 0,0002 X^{2,6259}$	0.71	S	minorante



**Figure 11.** Diagrammes de dispersion et droites de régression des relations entre la longueur totale et les différents paramètres linéaires et pondéraux chez *C. glaucum* de la station 1



**Figure 12.** Diagrammes de dispersion et droites de régression des relations entre la longueur et les différents paramètres linéaires et pondéraux chez *C. glaucum* de la station 2

### 2.1.3 Détermination de l'âge et croissance linéaire absolue :

L'analyse des distributions des tailles et leur décomposition par la méthode de Bhattacharya (FiSAT 1.2.0), nous a permis d'estimer l'âge approximatif et les paramètres de croissance de la coque de la lagune El Mellah (tab. 3). Nous notons, en effet, la présence de trois cohortes dans chacune des stations. Nous notons également que la croissance de la coque est très rapide durant la première année de vie ; cette dernière atteint des tailles de l'ordre de 25.95 et 24.49 mm respectivement dans la station 1 et 2. Durant la seconde année, la croissance ralentit et montre des taux de croissance de l'ordre de 8.31 mm chez les coques de la station 1 et 7.39 mm chez celles de la station 2. Nous remarquons, également, que le second groupe d'âge est le plus représenté dans les deux stations (S1 : 77.25% ; S2 : 83.96%).

**Tableau 3.** Clé âge-longueur de la coque *C. glaucum* de la lagune El Mellah. (M : longueur moyenne de la cohorte ; SD : écart type de la moyenne ; n : effectif de la cohorte)

Stations	Age	M ± SD	n	%	Taux de croissance
S1	1	25.95 ± 3.11	47	6.52	8.31
	2	34.26 ± 3.73	557	77.25	9.26
	3	43.52 ± 1.42	117	16.23	-
S2	1	24.49 ± 1.81	59	8.85	7.39
	2	31.88 ± 3.35	560	83.96	7.55
	3	39.43 ± 1.48	48	7.20	-

Le calcul des paramètres de croissance linéaire pour chacune des deux stations d'échantillonnage (tab. 4), établit selon le modèle de von Bertalanffy (fig. 13), conduit aux expressions suivantes :

$$S1 : Lt = 48.061 [1 - e^{-0.71(t + 0.008)}]$$

$$S2 : Lt = 42.263 [1 - e^{-0.8(t + 0.006)}]$$

**Tableau 4.** Paramètres de croissance chez *C. galucum* de la lagune El Mellah (FiSAT II, 1.2.0)

	$L_{\infty}$ (mm)	K (an <sup>-1</sup> )	$t_0$ (an)	$W_{\infty}$ (g)
S1	48.061	0.71	-0.008	32.05
S2	42.263	0.8	-0.006	21.95

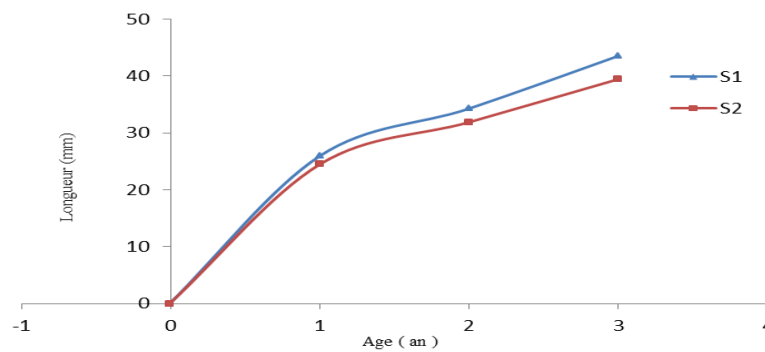
La combinaison de l'équation de croissance linéaire de von Bertalanffy avec la relation d'allométrie de type :  $W_{\infty} = a \cdot (L_{\infty})^b$ , aboutit à une croissance pondérale chez la coque du Mellah qui s'exprime pour les deux stations comme suit :

**S1** :  $W_t = 32.05 [1 - e^{-0.71(t+0.008)}]$

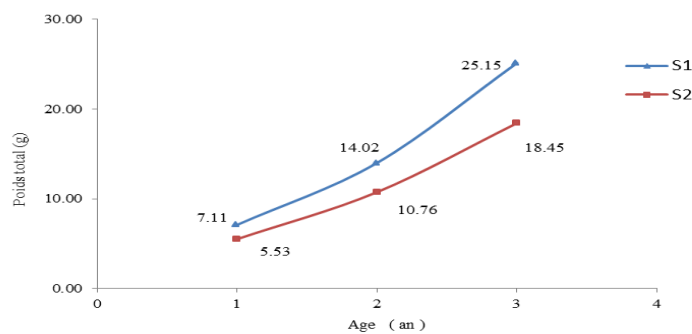
**S2** :  $W_t = 21.95 [1 - e^{-0.8(t+0.006)}]$

Les poids théoriques selon les différents groupes d'âge et stations d'échantillonnage sont représentés dans la figure 14.

Par ailleurs, il est à signaler que pour un âge égal, les coques de la station 1 présenteront une taille et un poids supérieur à celles de la station 2.



**Figure 13.** Courbes théoriques de croissance linéaire de *C. glaucum* de la lagune El Mellah

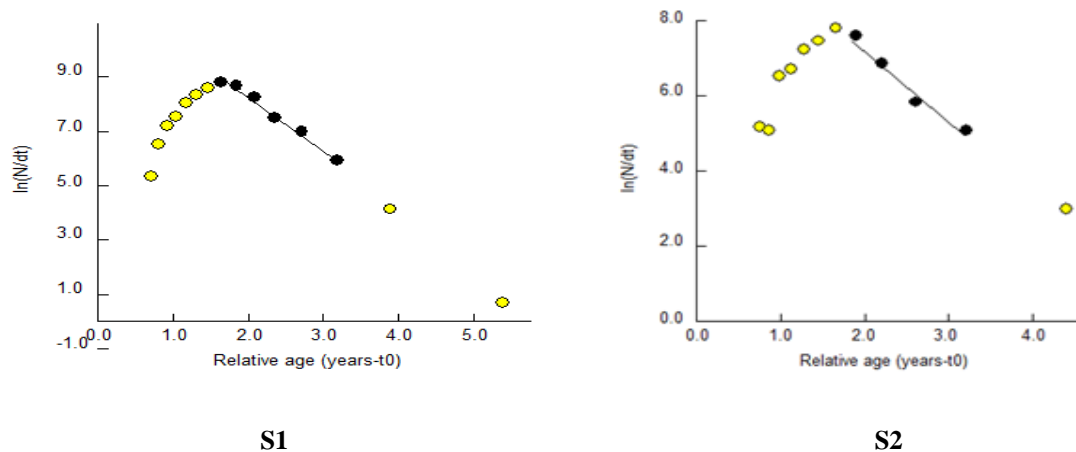


**Figure 14.** Courbes théoriques de croissance pondérale de *C. glaucum* de la lagune El Mellah

Concernant le reste des paramètres de population calculés, à savoir l'indice de performance de croissance ( $\Phi'$ ) et la longévité ( $t_{\max}$ , an), ils ont été estimés à 3.21 et 4.23  $\text{an}^{-1}$  pour les coques de la station S1 et 3.16 et 3.75  $\text{an}^{-1}$  pour celles de la station S2.

#### 2.1.4 Estimation de la mortalité totale (Z) :

Le taux de mortalité totale (Z,  $\text{an}^{-1}$ ) calculé à partir des courbes de captures selon les longueurs de la coque de la lagune El Mellah (fig. 15) est quasi identique pour les deux stations d'échantillonnage ; il a été estimé à 1.94  $\text{an}^{-1}$  pour S1 et à 1.95  $\text{an}^{-1}$  pour les coques pêchées au niveau de S2. Ces taux seraient relativement élevés compte tenu du fait de l'absence d'une exploitation ( $F=0$ ) de ce bivalve dans la lagune.



**Figure 15.** Courbe de capture pour l'estimation de Z de *C. glaucum* de la lagune El Mellah. (● points inclus dans le calcul de la régression ; ● points non inclus)

## 2.2 *Ruditapes decussatus*

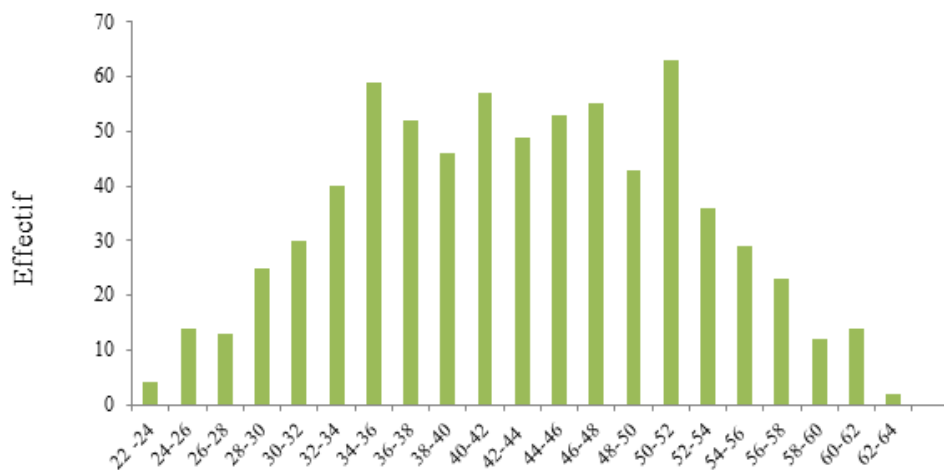
### 2.2.1 Structure des population :

Le tableau 5 synthétise les statistiques descriptives des paramètres linéaires et pondéraux mesurés chez la palourde *R. decussatus* de la lagune El Mellah. L'analyse de l'histogramme des fréquences de taille (fig. 16) révèle que la majeure partie de la population (71.81 %) appartient aux classes de taille comprises entre 32 et 52 mm ; en ce qui concerne

les classes les plus petites (22-28) et les plus grandes (58-64), elles représentent respectivement 4.5% et 3.89 % des effectifs de palourdes échantillonnées.

**Tableau 5.** Description statistique des paramètres morphométriques mesurés chez *R. decussatus* de la lagune d'El Mellah. (n : nombre d'individus ; M : moyenne ; SE : erreur type de la moyenne)

Paramètres morphométriques	n	M ± SE	Taille minimale	Taille maximale
L	720	42.34 ± 0.33	22.15	62.53
La	707	35.34 ± 0.28	19.2	55.34
Ep	707	18.35 ± 0.15	10	28.44
Pt	720	16.06 ± 0.36	2.16	46.83
Pcoq	504	9.40 ± 0.21	1.96	28.1
Pchf	504	4.73 ± 0.10	1.29	12.62



**Figure 16.** Distribution des fréquences de taille de *R. decussatus* de la lagune d'El Mellah

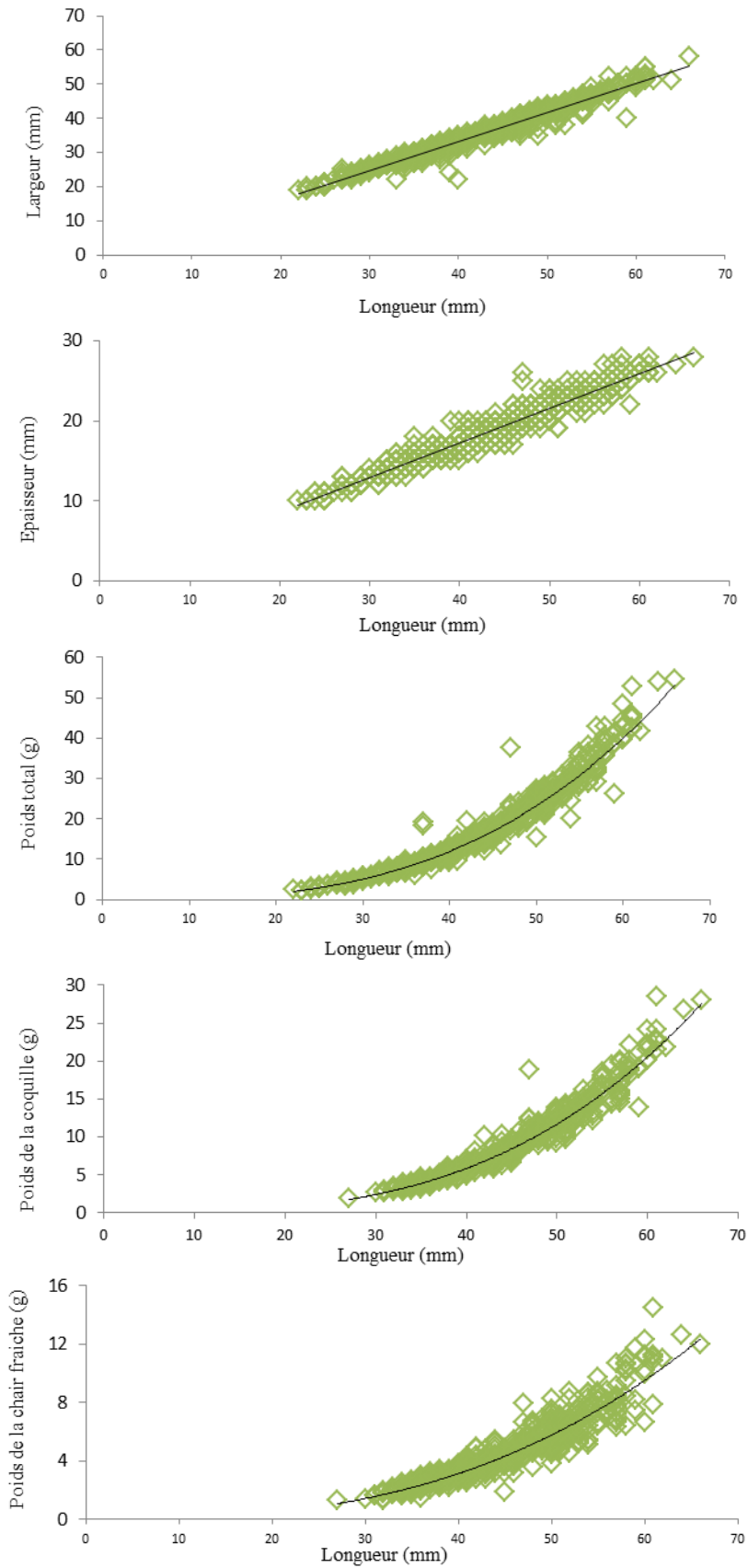
### 2.2.2 Croissance relative :

Les résultats des équations de régression reliant les paramètres linéaires et pondéraux à la longueur de référence (L) sont exprimés dans le tableau 6 et la figure 17. Les valeurs du coefficient de détermination ( $R^2$ ) varient de 0.91 à 0,98, ce qui montre l'étroite relation existante entre ces différents caractères et la longueur (L) ( $R^2 \geq 0.91$  ;  $P < 0,001$ ).

En ce qui concerne les rapports L/La, L/Ep et L/Pchf la croissance relative est minorante ; ce qui revient à dire que la palourde croît plus rapidement en longueur qu'en largeur, qu'en épaisseur ou en poids frais des tissus. Quant au rapport Pt/L une isométrie est toutefois notée suggérant que la palourde de la lagune El Mellah croît à vitesse égale autant en longueur qu'en poids total.

**Tableau 6.** Relations d'allométrie liant paramètres linéaires (La, Ep) et pondéraux (Pt, Pcoq, Pchf) à la longueur de référence (L) de la palourde *R. decussatus* de la lagune d'El Mellah. (n : nombre de couples de valeurs testées ;  $R^2$  : coefficient de corrélation, S : significatif pour  $p < 0,05$ )

X	Y	n	Equation	$R^2$	Test d'allométrie	Nature de la relation
L	La	707	$\text{Log } Y = 0.8523 \text{ Log } X - 0.986$	0.97	S	minorante
	Ep	707	$\text{Log } Y = 0.4351 \text{ Log } X - 0.1944$	0.94	S	minorante
	Pt	720	$Y = 0.0002 X^{2.9853}$	0.98	S	isométrie
	Pcoq	504	$Y = 0.00006 X^{3.0981}$	0.96	S	majorante
	Pchf	504	$Y = 0.0001 X^{2.7439}$	0.91	S	minorante



**Figure 17.** Diagrammes de dispersion et droites de régression des relations entre la longueur et les différents paramètres linéaires et pondéraux chez *R. decussatus* de la lagune El Mellah

### 2.2.3 Détermination de l'âge et croissance linéaire absolue :

L'application de la méthode de Bhattacharya (FiSAT II), a permis la décomposition des échantillons de la palourde du Mellah en six cohortes.

Les données sur les longueurs moyennes estimées selon l'âge sont décrites dans le tableau 7. Par ailleurs, nous notons que la palourde présente, au cours de la première année de vie, un taux de croissance rapide (25,89 mm) qui régresse au cours des années suivantes. Les trois quarts des spécimens échantillonnés appartiennent aux tranches d'âge comprises entre 2 et 4 ans (74.05 %) ; ce sont les palourdes âgées de 1 et 6 ans qui sont les moins représentées.

**Tableau 7.** Clé âge-longueur de la palourde *R. decussatus* de la lagune El Mellah. (M : longueur moyenne de la cohorte ; SD : écart type de la moyenne ; n : effectif de la cohorte)

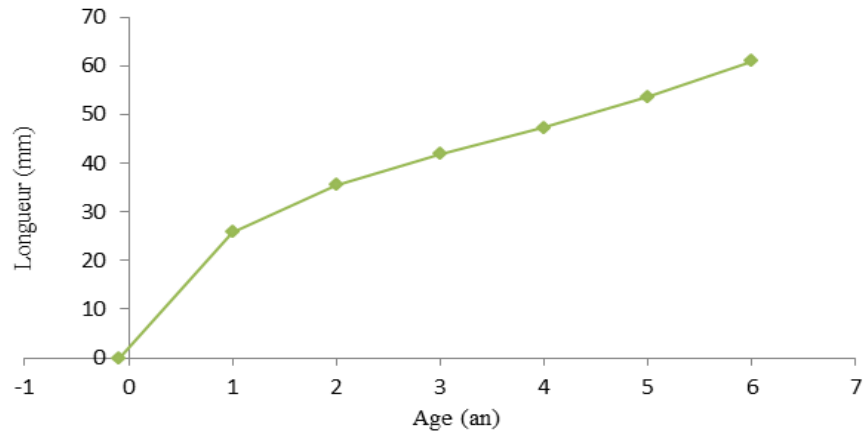
Age	M ± SD	n	%	Taux de croissance
1	25.89 ± 1.74	31	5.06	9.62
2	35.51 ± 2.79	151	24.63	6.45
3	41.96 ± 2.02	152	24.79	5.38
4	47.34 ± 2.56	151	24.63	6.32
5	53.66 ± 3.82	100	16.31	7.36
6	61.02 ± 0.81	28	4.56	-

En nous appuyant sur les données de la clé âge-longueur, le calcul des paramètres de croissance linéaire (tab. 8) de *R. decussatus* du Mellah, établit selon le modèle de von Bertalanffy (fig. 18) conduit à l'expressions suivante :  $L_t = 63.924 [1 - e^{-0.38(t + 0.086)}]$

**Tableau 8.** Paramètres de croissance chez *R. decussatus* de la lagune El Mellah (FISAT II, 1.2.0)

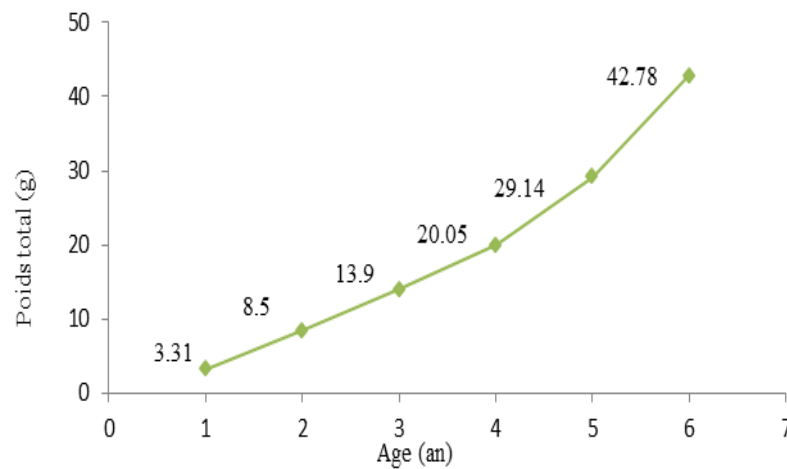
$L_{\infty}$ (mm)	K (an <sup>-1</sup> )	t <sub>0</sub> (an)	W <sub>∞</sub> (g)
63.924	0.38	-0.086	49.14

La combinaison de l'équation de croissance linéaire de von Bertalanffy avec la relation d'allométrie de type :  $W_{\infty} = a. (L_{\infty})^b$ , aboutit à une croissance pondérale chez la palourde du Mellah qui s'exprime comme suit:  $W_t = 49.14 [1 - e^{-0.38(t + 0.086)}]$ .



**Figure 18.** Courbe théorique de croissance linéaire de *R. decussatus* de la lagune El Mellah

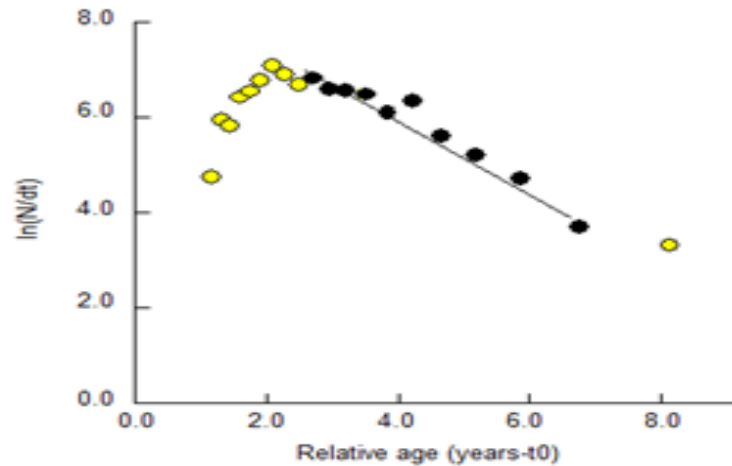
Les poids théoriques moyens selon les différents groupes d'âge sont consignés dans la figure 19. L'indice de performance de croissance ( $\Phi'$ ) et la longévité ( $t_{\max}$ , an) ont également été estimés à  $3.61$  et  $7.81 \text{ an}^{-1}$  respectivement.



**Figure 19.** Courbe théorique de croissance pondérale de *R. decussatus* de la lagune El Mellah.

#### 2.2.4 Estimation de la mortalité totale ( $Z$ ) :

La valeur du coefficient de mortalité totale ( $Z$ ) est estimée à  $0.61 \text{ an}^{-1}$ , la figure 20 représente la courbe de capture obtenue pour *R. decussatus* de la lagune El Mellah.



**Figure 20.** Courbe de capture pour l'estimation de  $Z$  de *R. decussatus* de la lagune El Mellah. (● points inclus dans le calcul de la régression ; ● points non inclus).

### 3. Discussion

#### 3.1 *Cerastoderma glaucum*

L'analyse des caractères biométriques pris deux à deux a montré que *C. glaucum* de la lagune El Mellah présente un même modèle de croissance relative exprimant sans exception des allométries négatives et cela quel que soit le site d'échantillonnage ; ceci implique qu'à mesure que l'animal se développe, sa longueur croît plus rapidement que sa largeur et son épaisseur, par conséquent la coquille adoptera une forme à la fois comprimée et allongée. Le même type de croissance a été observé chez les coques de l'espèce *C. glaucum* de la lagune de Vouliagmeni en Grèce (Gontikaki et al., 2003), du golfe de Gabes en Tunisie (Derbali, 2011) et dans le lac Timsah en Egypte (Kandeel et al., 2017). D'autre part, Mariani et al. (2002) et Leontarakis et al. (2008) ont décrit respectivement une allométrie positive et une isométrie chez diverses populations de *C. glaucum* collectées dans différents habitats côtiers de la Méditerranée, de l'Atlantique ainsi que de la mer Baltique. Selon Mariani et al. (2002) les différents modèles allométriques de *C. glaucum* sont des réponses fonctionnelles à différentes typologies d'habitat. En effet, les bivalves sont connus pour leur remarquable diversité morphologique et leur plasticité phénotypique perçues comme des mécanismes clés

qui permettent à ces organismes de survivre face aux changements environnementaux (Cail-Milly et al., 2014 ; Muren et al., 2015). Ceci peut être particulièrement appliqué au cas de *C. glaucum* qui a montré sa capacité à résister aux conditions environnementales extrêmes et instables des lagunes méditerranéennes faisant de cette espèce une spécialiste de ces écosystèmes (Stora et al., 2004 ; Tarnowska et al., 2009).

Des allométries négatives ont également été enregistrées entre les paramètres longueur/poids total et longueur/ poids des tissus frais ( $b < 3$ ) ; c'est-à-dire qu'en fonction du temps, la taille des individus étudiés augmente de manière significative plus rapidement que le poids total et celui des tissus mous. Des résultats semblables ont été rapportés par Leontarakis et al. (2008) ; ces auteurs expliquent que ce type d'allométrie pourrait être attribué au parasitisme intense observé chez la majorité des coques examinées. Leurs observations sont en accord avec celles rapportées par Wegeberg et Jensen (2003) qui montrent l'impact des différents parasites sur la perte pondérale et l'accroissement du taux de mortalité chez l'espèce hôte *Cerastoderma*.

Les longueurs asymptotiques du modèle de croissance de *C. glaucum* du Mellah ont été estimées à 48.061 mm au niveau de la station 1 et à 42.263 mm dans la station 2, avec des vitesses de croissance respectives de l'ordre  $0.71 \text{ an}^{-1}$  et  $0.8 \text{ an}^{-1}$ . Il apparaît donc que les coques de la station S2 ont une croissance nettement inférieure aux coques de la station S1. Au niveau de ce même site d'étude, Melouah et al. (2014) ont également noté une variabilité inter-sites de la densité de *C. glaucum*, la station 2 présentant une densité inférieure à celle évaluée au niveau de la station 1, ces auteurs ont attribué ce phénomène au fait que S1 était une zone plus ou moins abritée offrant un biotope idéal au développement optimal de ce bivalve. Dans une étude réalisée, à l'échelle locale, sur la croissance linéaire de *Mytilus galloprovincialis* du lac de Bizerte, Aloui-Bejaoui (1998) a montré l'influence considérable de la densité sur la morphologie de la coquille des moules ; selon cet auteur une relative faible densité des individus contraindrait la coquille, par un effet mécanique, à évoluer plus en

épaisseur qu'en longueur favorisant ainsi une forme plus trapue et expliquerait les faibles valeurs des paramètres de croissance. Quoiqu'il en soit, chez les bivalves, plusieurs facteurs tels que l'état physique et nutritionnel du milieu (Askew, 1972 ; Utting, 1986) et les paramètres physiologiques (Bayne et al., 1999) auraient une influence sur leur vitesse de croissance linéaire et pondérale. Dans leur synthèse sur la biologie de la coque Dabouineau & Ponsoero (2009) ont passé en revue les principaux facteurs influençant la croissance de cet animal ; ils ont noté que la saison, la localisation géographique, la température de l'eau, la disponibilité de nourriture ou la densité de la population sont des facteurs clés affectant la croissance des coques.

Plusieurs estimations des paramètres de von Bertalanffy de *Cerastoderma glaucum* et de sa congénère *C. edule* sont rapportées dans la littérature ; la comparaison de nos résultats avec ces derniers (tab. 9), fait apparaître qu'ils sont supérieurs à tout ce qui a été décrit pour le genre *Cerastoderma*, à l'exception de ceux rapportés par Brock, (1980) chez *C. edule* des côtes danoises (longueur asymptotique de 54 mm).

**Tableau 9.** Paramètres de croissance de von Bertalanffy chez différentes populations de *C. glaucum* et *C. edule* de méditerranée et d'Europe (K: coefficient de croissance,  $L_{\infty}$ : longueur asymptotique)

Espèce	$L_{\infty}$ (mm)	K ( $\text{an}^{-1}$ )	Sites	Source
<i>C. glaucum</i>	46.45	0.15	Lac Timsah, , Egypte	Mohammad et al., 2006
<i>C. glaucum</i>	46.38	0.25	Lagune El Mellah, Algérie	Melouah et al., 2014
<i>C. glaucum</i>	28.35	0.450	Lac Qarun, Egypte	Kandeel et al., 2017
<i>C. glaucum</i>	33.60	0.280	Lac Timsah, Egypte	Kandeel et al., 2017
<i>C. glaucum</i>	48.061	0.71	Lagune El Mellah, Algérie	Présente étude
<i>C. glaucum</i>	42.263	0.8	Lagune El Mellah, Algérie	Présente étude
<i>C. edule</i>	54.00	0.248	Langerak, Aggersborg, Danemarck.	Brock,1980a
<i>C. edule</i>	41.226	0.951	Rias de Aroza, Espagne	Perez- Camacho & Román, 1984
<i>C. edule</i>	49.10	0.436	Mer des Wadden, Allemagne	Ramon, 2003
<i>C. edule</i>	49.1	0.4364	Baie de Dundalk, Irlande	Fahy et al., 2005
<i>C. edule</i>	30.50	1.3	Merja Zerga, Maroc	Gam et al., 2010
<i>C. edule</i>	36.75	1.33	Bassin d'Arcachon, France	Gam et al., 2010

L'analyse des distributions de taille et leur décomposition en modes par la méthode de Bhattacharya nous a permis d'estimer l'âge de *C. glaucum* de la lagune d'El Mellah à trois

années et la longévité théorique maximale ( $t_{\max}$ ) à environ 4 ans. Boyden (1972) et Mohammad et al (2006) ont estimé l'âge maximum de cette espèce à environ 5 ans respectivement dans l'estuaire de Crouch (Angleterre) et le lac Timsah (Égypte). Par ailleurs la durée de vie maximale chez *Cerastoderma* spp. a été estimée à plus de 6 ans pour certaines populations, cependant avec des événements de mortalité massives ou de croissance médiocre, cela peut souvent être réduit à 2 ou 3 ans maximum (Jelesias & Navarro, 1990; Jensen 1992 ; Lindegarth et al. 1995).

Le taux de mortalité enregistré chez *C. glaucum* de la lagune El Mellah, est considéré comme résultant de causes naturelles (M) du fait de l'absence d'une exploitation commerciale ou récréative de ce bivalve dans ce site, sa valeur ( $Z = M = 1,94 \text{ y}^{-1}$ ) est relativement élevée. Kandeel et al. (2017) ont attribué le taux élevé de mortalité naturelle des coques dans le lac Qarun ( $1,06 \text{ an}^{-1}$ ) aux activités anthropiques responsables de modification et de dégradation de l'habitat. Chez les coques, il est établi que la mortalité ainsi que les déclinés catastrophiques de leurs populations sont depuis de nombreuses années associés à la prédation, les événements climatiques, la pollution, l'échec du recrutement et à la surpêche (Ducrotoy et al., 1991). Chez *Cerastoderma edule* de Ria de Arousa (Espagne), Parada & Molares (2008) sont parvenus à expliquer de façon satisfaisante la mortalité naturelle de ce bivalve en établissant un modèle de régression multiple incluant quatre paramètres que sont la mortalité, la densité totale de la population, les précipitations et la température atmosphérique. De leur côté, dans leur synthèse sur les parasites, pathogènes et commensaux affectant *Cerastoderma* spp. Longshaw & Malham (2013) soulignent que la mortalité chez la coque est principalement associée aux infections causées par des digènes et quelques protistes.

### 3.2 *Ruditapes decussatus*

Chez *Ruditapes decussatus* de la lagune El Mellah, l'analyse des données biométriques a révélé des allométries négatives reliant la longueur au reste des paramètres linéaires de la coquille (largeur et épaisseur), suggérant que la forme de cette dernière était à la fois allongée et aplatie, des résultats similaires ont été observés en Égypte par Mohammad et al. (2014) ainsi qu'en Tunisie et en Italie par Costa et al. (2008). Ces auteurs expliquent que la palourde adopterait ce type de morphologie pour améliorer l'efficacité de son enfouissement afin d'éviter son délogement par l'hydrodynamisme ou la prédation. Il est, par ailleurs, établi que les variations allométriques chez les bivalves sont généralement associées à la latitude, à l'espèce, aux caractères physiologiques ainsi qu'aux facteurs environnementaux (Beukema & Meehan, 1985 ; Stirling & Okumus, 1994 ; Gosling, 2003). Dans leur étude portant sur l'identification de modèles morphométriques des populations de palourde du bassin d'Arcachon et leur lien avec les facteurs du milieu, Caill-Milly et al. (2012) ont montré que bien que les changements allométriques graduels des coquilles soient intrinsèquement conduits par le génotype, les changements morphométriques peuvent également être modulés par les conditions environnementales locales.

Il est généralement admis que la croissance est caractérisée par une augmentation de la taille et du poids en fonction du temps et des variables environnementales. Toutefois, chez les mollusques bivalves, les processus liés à la reproduction perturbent ce schéma par une accumulation temporaire de réserves importantes qui sont converties en gamètes puis expulsées lors de la ponte, occasionnant ainsi une perte brutale de poids (Lubet, 1981). L'évaluation de l'intensité de la liaison entre la longueur et le poids total chez *R. decussatus* de la lagune El Mellah, révèle une isométrie ( $b=3$ ), illustrant une croissance équilibrée entre ces deux paramètres. Nos résultats sont comparables à ceux mis en évidence par Kandeel (2008) chez les populations de *R. decussatus* et *R. aurea* du lac Timsah ainsi que ceux observés par Park & Oh (2002) chez la palourde japonaise (*R. philippinarum*) des côtes coréennes. Sur les

25 espèces de bivalves de la côte d'Algarve (Portugal), Gaspar et al. (2001) indiquent que 11 (44%) d'entre elles présentent des isométries reliant la longueur au poids de ces animaux. Selon Ojea et al. (2004) les fluctuations du poids, de la croissance somatique, de la croissance des gonades ainsi que la ponte chez *R. decussatus* dépendraient essentiellement des conditions environnementales et plus particulièrement de la disponibilité de la nourriture.

L'analyse des distributions des tailles et leur décomposition en modes par l'application de la méthode de Battacharya, nous a permis d'estimer les paramètres de croissance de *R. decussatus* du Mellah ; cette dernière présente une longueur asymptotique égale à 63.924 mm avec un coefficient de croissance moyen de l'ordre de  $0.38 \text{ an}^{-1}$  et un indice de performance de croissance ( $\Phi'$ ) estimé à 3.61. La comparaison de nos résultats avec ceux obtenus dans différentes régions de méditerranée (tab. 10) fait apparaître qu'ils sont assez proches de ceux mis en évidence chez les populations de palourdes de la baie de Santander (Espagne) et du golfe de Fos (France) par Pato (1979) et Garcia (1993) mais sont bien loin de ceux observés par Chryssanthakopoulou & Kaspiris (2005) dans la lagune d'Araxos (Grèce). Toutefois, *R. decussatus* du Mellah enregistre la croissance la plus rapide en affichant la valeur la plus élevée de l'indice de performance de croissance ( $\Phi' = 3.61$ ). Selon Urrutia et al. (1999), Shafee & Daoudi (1991) la température et la disponibilité de la nourriture sont les principaux facteurs déterminants du taux de croissance chez *R. decusstus*. Par ailleurs, Dang et al. (2010) ont montré que les variations intrasites des longueurs asymptotiques chez la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* s'expliqueraient par la diversité en quantité et en qualité des ressources trophiques.

**Tableau 10.** Paramètres de croissance de von Bertalanffy chez différentes populations de *R. decussatus* de méditerranée et d'Europe (K: coefficient de croissance,  $L_{\infty}$ : longueur asymptotique)

$L_{\infty}$ (mm)	K (an <sup>-1</sup> )	$\Phi'$	Sites	Source
62.8	0.43	3.229	Baie de Santander, Espagne	Pato, 1979
45.5	0.42	2.979	Lagune de Ria Formosa, Portugal	Banha, 1984
53.7	0.44	3.103	Lagune de Venice, Italie	Breber, 1985
65.9	0.30	3.115	Golfe de Fos,	Garcia, 1993
69.0	0.211	3.002	Lagune d'Araxos, Grèce	Chryssanthakopoulou & Kaspiris, 2005
37.9	0.57	2.913	Baie de Pag, Croatie	Juric et al., 2012
40.41	0.268	-	Lac Timsah, Egypte	Kilada, 2010
50.4	0.81	3.31	Lac Timsah, Egypte	Kandeel, 2016
63.924	0.38	3.61	Lagune El Mellah, Algérie	Présente étude

L'étude de l'âge montre que *R. decussatus* du Mellah se caractérise par une longévité estimée à 6 ans et un âge maximal théorique de l'ordre de 7.81 années. Selon des études antérieures, l'âge de *R. decussatus* varierait entre 5 et 8 ans (Chryssanthakopoulou & Kaspiris, 2005 ; Juric et al., 2012 ; Mohammad et al., 2014 ; Garcia, 1993). Les données sur l'âge et la croissance de la palourde de la lagune El Mellah suggèrent que cette espèce se caractérise par une durée de vie relativement courte et une croissance rapide et intense durant la première année.

En ce qui concerne le faible taux de mortalité enregistré chez *R. decussatus* ( $Z= 0.61$ ) de la lagune El Mellah, il ne peut être attribué qu'à des causes naturelles (vieillesse, pathogènes, prédation, conditions environnementales défavorables, ...), en raison de la suspension de l'exploitation de cette ressource depuis 2004 (MPRH, 2011). Peu d'éléments existent sur les taux de mortalité de la palourde en milieu naturel, toutefois, selon Aranguren et al. (2014) les taux de mortalité chez *R. decussatus*, en particulier dans les gisements naturels peuvent résulter d'une synergie complexe de différents facteurs biotiques et abiotiques ; Ces auteurs ont établi des corrélations entre la mortalité chez cette espèce et la présence de différents agents pathogènes, de prédateurs et des conditions environnementales.

**Chapitre III- Etude de la  
reproduction chez  
*C. glaucum***

## **Introduction**

L'étude de la reproduction chez les mollusques est un élément essentiel à la connaissance de la biologie de ces animaux ; en effet les investigations sur cette fonction physiologique sont d'une importance capitale, non seulement pour étudier la dynamique des populations, mais aussi pour mieux comprendre leur biogéographie et leur spécificité (Benomar et al., 2006). Chez les bivalves d'intérêt commerciale, une connaissance détaillée du cycle sexuel et des périodes de ponte est cruciale pour l'amélioration d'un système d'élevage ou encore pour l'installation d'une filière aquacole (Matias et al., 2013). D'autre part, des études menées sur quelques-unes des plus importantes espèces de bivalves ont démontré que le processus de gamétogenèse variait sensiblement d'une population à une autre étant influencé par des facteurs externes (température, salinité, luminosité, disponibilité de la nourriture, infections parasitaires, ...) et des facteurs internes (génétiques) (Martinez-Castro & Vasquez, 2012).

Le présent travail décrit la reproduction chez la coque *Cerastoderma glaucum* du Mellah grâce à deux approches complémentaires: l'une quantitative, par le suivi de l'indice de condition et l'autre qualitative, par l'analyse histologique des gonades. La première est facile à mettre en œuvre et permet de cerner dans les meilleurs délais les principaux phénomènes du cycle de reproduction (gamétogenèse, périodes d'expulsion des gamètes) ; quant à la seconde, elle est longue à mettre en pratique mais offre la possibilité de suivre les stades d'évolution gonadique (notamment les phases de repos et de restauration des gonades après l'émission des gamètes). Dans le cadre de cette étude nous nous sommes aussi intéressés à l'influence de quelques paramètres du milieu à savoir la température, la salinité et la chlorophylle a sur le cycle de reproduction.

## **1. Matériel et méthodes**

### **1.1 Traitement des coques**

Les échantillons récoltés pour l'étude du cycle de la reproduction de la coque *Cerastoderma glaucum* de la lagune El Mellah ont été réalisés mensuellement au niveau des stations S1 et S2, de janvier à décembre 2014.

La dissection ainsi que les prélèvements des gonades ont été effectués sur 20 à 30 individus vivants d'une taille comprise entre 25 et 35 mm.

### **1.2 Mesure des paramètres environnementaux**

Les mesures de la température (T°) et de la salinité (S), ont été effectuées «in situ» au moment du prélèvement du matériel biologique, au moyen d'un multi paramètre de terrain. Les prélèvements d'eau destinés à l'analyse de la chlorophylle a (Chl-a), ont été réalisés à l'aide d'une bouteille de 1.5 litres ; cette dernière est conservée à l'abri de la lumière et maintenue à basse température dans une glacière jusqu'à son acheminement au laboratoire où on procède au dosage de la Chl-a selon la méthode monochromatique de Lorenzen (1967) à l'aide de solvant (acétone à 90%).

### **1.3 Sex-ratio**

*Cerastoderma glaucum* est une espèce gonochorique son appareil reproducteur est diffus tout autour de la glande digestive ; l'individualisation de la gonade s'avérant anatomiquement impossible, la sex-ratio (SR) a été évalué par observation microscopique rapide des frottis de gonades fraîches.

La proportion numérique des sexes est exprimée par le rapport du nombre des femelles sur celui des mâles

$$SR = \frac{F}{M}$$

F = nombre de femelles ; M = nombre de mâles.

#### **1.4 Indice de condition**

L'indice de condition (IC) choisi pour décrire le cycle de reproduction de *C. glaucum* est celui proposé par Walne (1976) ; il est réalisé à partir des poids secs de la coquille et de la chair. Il a l'avantage d'éliminer le biais de la perte en eau. Cet indice correspond au rapport :

$$\left( \frac{\text{Poids sec des tissus}}{\text{Poids sec de la coquille}} \right) * 1000$$

La lyophilisation des tissus (masse molle) et de la coquille est réalisée suite à un passage à l'étuve sèche à 80° C pendant 24 heures.

L'IC a été calculé mensuellement sur un lot constitué de 15 individus.

L'analyse des variations périodiques de l'IC permet de décrire les différentes phases du cycle sexuel :

- Période de pré-maturation correspondant à un développement lent des gonades (faible accroissement de l'IC) ;
- Période de maturation qui correspond à un développement rapide des gonades (accroissement rapide de l'IC) ;
- Période de ponte correspondant à l'émission des produits génitaux (chute brutale de l'IC) ;
- Période de post ponte suivie d'un repos sexuel : les gonades n'exercent aucune activité (faibles valeurs de l'IC).

#### **1.5 Etude histologique**

##### *1.5.1 Techniques histologiques :*

L'étude histologique des gonades a concerné dix coques prises aléatoirement dans le lot échantillonné, après identification du sexe, la gonade étant diffuse dans la masse viscérale et le pied, un fragment de tissu de cette partie interne est prélevé et fixé dans du Bouin

alcoolique ; c'est un fixateur universel qui est utilisé en raison de sa pénétration rapide et de ses effets minimes de resserrement ou de distorsion (Bailey et al, 1942 ; Baker, 1966). Ensuite les coupes histologiques sont réalisées sur ces pièces selon le protocole de Martoja & Pierson (1967) :

- Déshydratation des pièces par passage successifs dans une série de bains d'alcool de concentration croissante puis dans le xylène (tab 11), ensuite les tissus sont imprégnés et inclus dans des bloc de paraffine. Les étapes de déshydratation et d'éclaircissement sont effectuées dans un automate.

**Tableau 11.** Protocole de traitement des gonades: déshydratation, éclaircissement et inclusion en blocs

Etape	Réactif	Durée d'immersion (heure)
<b>Déshydratation</b>	Éthanol 80°	01
	Éthanol 95°	02
	Éthanol 95°	02
	Éthanol 100°	02
	Éthanol 100°	02
	Éthanol 100°	01
<b>Eclaircissement</b>	Xylène	01
	Xylène	02
<b>Inclusion</b>	Paraffine liquide (60°C)	02
<b>Mise en blocs</b>		

- Des coupes de 5 µm d'épaisseur sont réalisées au microtome, puis montées sur lames avant coloration par l'hématoxyline-éosine (Gabe, 1968). Les coupes sont d'abord déparaffinées afin de pouvoir réhydrater les tissus ; pour cela, elles subissent différents bains de xylène, puis d'éthanol de degré décroissant (100°, 95° puis 70°) et enfin un bain d'eau

distillée. Elles sont ensuite colorées par l'hématoxyline et l'éosine, avant d'être à nouveau déshydratées par des bains d'éthanol de degré croissant et de xylène (tab. 12).

**Tableau 12.** Protocole pour l'histologie des gonades: Déparaffinage, réhydratation et coloration des tissus et montage

<b>Etape</b>	<b>Réactif</b>	<b>Durée d'immersion (minute)</b>
<b>Déparaffinage</b>	Xylène	10
	Xylène	5
<b>Réhydratation</b>	Éthanol 100°	5
	Éthanol 100°	5
	Éthanol 95°	03
	Éthanol 95°	03
	Éthanol 70°	03
	Eau distillée	02
<b>Coloration</b>	Hématoxyline	03
	Eau distillée	02
	Eau courante	03
	Eau distillée	03
	Éthanol 95°	03
	Éosine	Passage
	Éthanol 95°	Passage
	Éthanol 100°	03
<b>Montage entre lame et lamelle</b>		

### 1.5.2 Analyse d'image :

L'examen microscopique des coupes histologiques permet d'identifier les différents stades de la gamétogenèse, des photographies ont été prises pour présenter l'évolution morphologique des gonades. Dans cette étude, l'évaluation de l'état de maturité sexuelle des

mâles et des femelles est inspirée de l'échelle adoptée par Wolowicz (1987), dont les étapes sont décrites comme suit :

- Stade I : Indifférencié (repos sexuel)
- Stade II : Début de développement
- Stade III : Développement
- Stade IV : Maturité
- Stade V : Ponte

### **1.6 Etude statistique**

Le test non-paramétrique de Wilcoxon-Mann-Whitney a été appliqué pour les comparaisons intersites entre les variables : température, salinité, chlorophylle a et indice de condition, quant au test non paramétrique de Kruskal-Wallis, il a été utilisé pour tester les différences intrasites entre les valeurs mensuelles de l'IC. Enfin les relations entre l'IC et l'ensemble des paramètres du milieu étudiés ont été évaluées par le calcul du coefficient de corrélation de Spearman ( $\rho$ ). Les différences avec des p-values supérieures à 0.05 n'ont pas été considérés comme significatives.

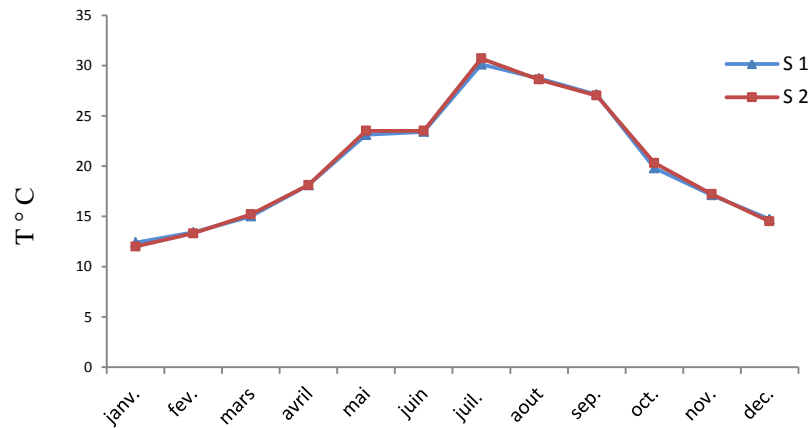
## **2 Résultats**

### **2.1 Paramètres environnementaux**

Il est important de signaler que les paramètres abiotiques température, salinité et chlorophylle a. ne montrent aucune différence significative entre les stations S1 et S2 ( $p > 0.05$ ).

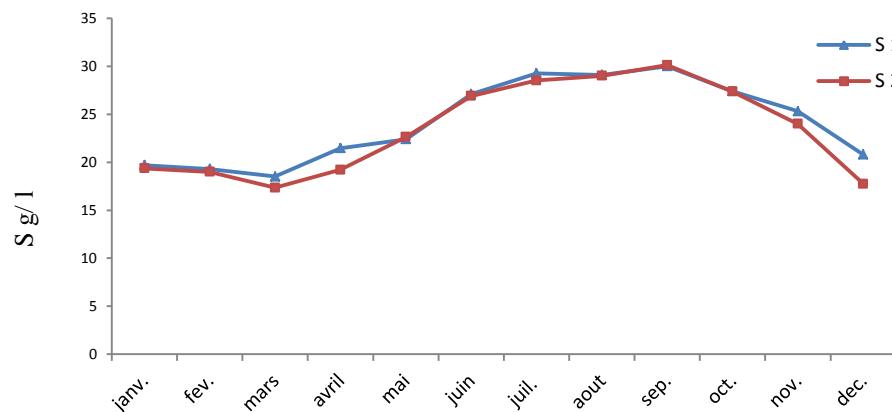
La température des eaux de la lagune montre des fluctuations saisonnières ; les températures les plus élevées sont observées durant la saison estivale au mois de juillet avec une valeur maximale de l'ordre de 30.7°C enregistrée au niveau de S2, tandis que les

températures les plus basses sont relevées en hiver (janvier) avec une valeur minimale de l'ordre de 12 °C relevée au niveau de S2 (fig. 21).



**Figure 21.** Variations mensuelles de la température de l'eau de la lagune El Mellah

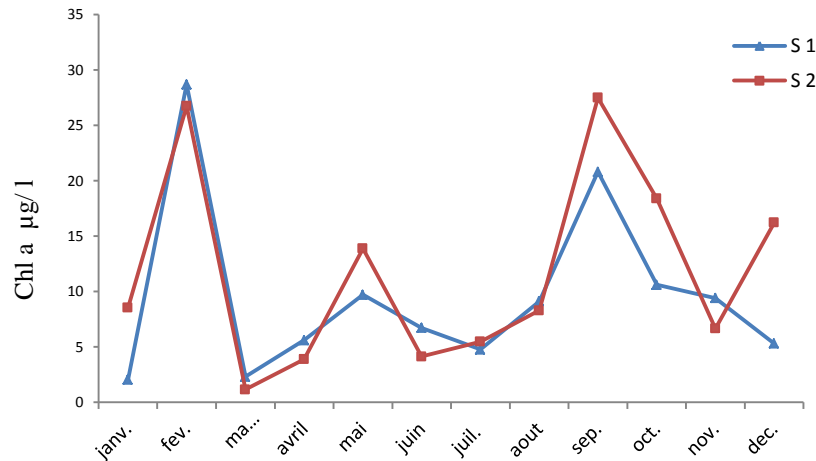
En ce qui concerne la salinité, les valeurs relevées au cours du cycle d'étude sont comprises entre 17.35 et 30.13 g/l (fig 22). La valeur la plus basse est enregistrée durant le mois de mars alors que la salinité maximale est observée durant le mois de septembre.



**Figure 22.** Variations mensuelles de la salinité de l'eau de la lagune El Mellah.

Dans la lagune El Mellah les teneurs en chlorophylle a montrent des variations saisonnières (fig. 23) ; les valeurs supérieures à 25 µg/l sont relevées en période estivale ; deux pics de l'ordre de 28.7 et 27.49 µg/l sont notés respectivement au cours des mois de

février et septembre. Les teneurs en Chl-a les plus basses (moins de 5 µg/l) sont enregistrées pendant les mois de janvier, mars, avril et juillet.



**Figure 23.** Variations mensuelles des teneurs en Chlorophylle a de l'eau de la lagune El Mellah

## 2.2 Sex-ratio

L'analyse des résultats du SR chez *C. glaucum* de la lagune d'El Mellah (tab. 13) fait apparaître une légère prédominance des femelles par rapport aux mâles au niveau des deux stations d'échantillonnage. Par ailleurs, la population de *C. glaucum* étudiée est nettement gonochorique aucun cas d'hermaphrodisme n'a été détecté.

**Tableau 13.** Proportions du SR chez *C. glaucum* de la lagune El Mellah

Station	Effectif	Mâles	Femelles	Indifférenciés	F : M
S1	280	120	133	27	1.11 : 1
S2	253	109	122	22	1.12 : 1

## 2.3 Indice de condition

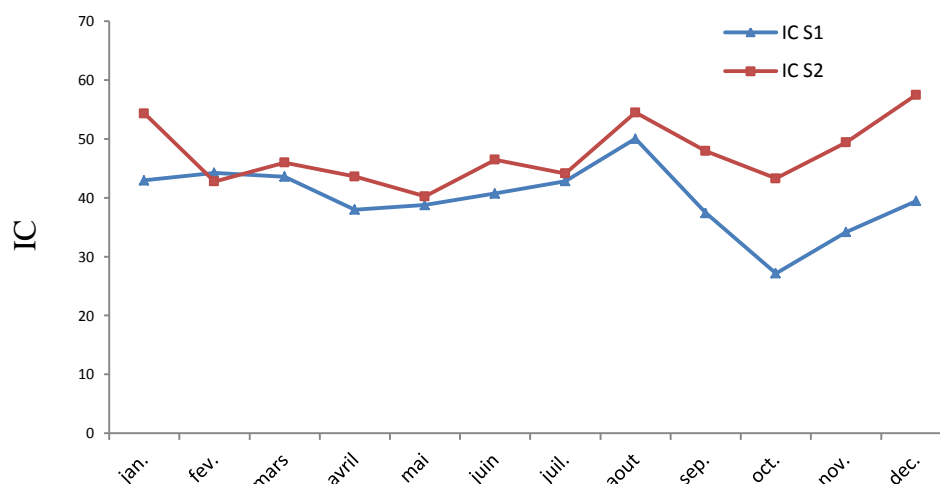
Les variations spatiotemporelles de l'IC de *C. glaucum* récolté au niveau du Mellah sont représentées dans la figure 24. L'analyse statistique montre l'existence de différences très

hautement significatives entre les mois au sein de chacune des deux stations d'échantillonnage ( $p < 0.0001$ ) ; Toutefois, les IC enregistrés dans les deux stations ne montrent aucune différence significative ( $p > 0.05$ ). Ce paramètre évolue avec similitude au niveau des deux stations et suit une évolution annuelle marquée par :

Une première décroissance est notée entre les mois de février et mai ; cette phase est suivie par une augmentation progressive de l'IC qui atteint une valeur maximale durant le mois d'août montrant des gains respectifs de l'ordre de 22.48% et 26.17% pour les coques de S1 et S2. Cet accroissement de l'IC correspondrait au développement des gonades (la production des gamètes) ou/et à la croissance des tissus somatiques.

Dès le mois de septembre des diminutions importantes de l'IC sont observées ; les valeurs minimales sont atteintes au mois d'octobre et correspondent à une perte de l'ordre 45.71% chez les coques de la station S1. Cette diminution de l'IC pourrait être le résultat d'une émission des gamètes qui peut être conjuguée avec un arrêt de croissance se traduisant par l'utilisation d'une partie des réserves durant les périodes défavorables.

Une deuxième période de croissance de l'IC est observée entre les mois de novembre et décembre ; cette phase coïnciderait avec la restauration gonadique et l'accumulation de réserves qui a lieu durant le repos sexuel.



**Figure 24.** Evolution mensuelle de l'indice de condition (IC) chez *C. glaucum* de la lagune El Mellah

L'analyse des fluctuations de l'indice de condition de *C. glaucum* de la lagune El Mellah durant l'année 2014, a mis en évidence deux périodes de ponte une printanière (mars à mai) et l'autre automnale (d'aout à octobre).

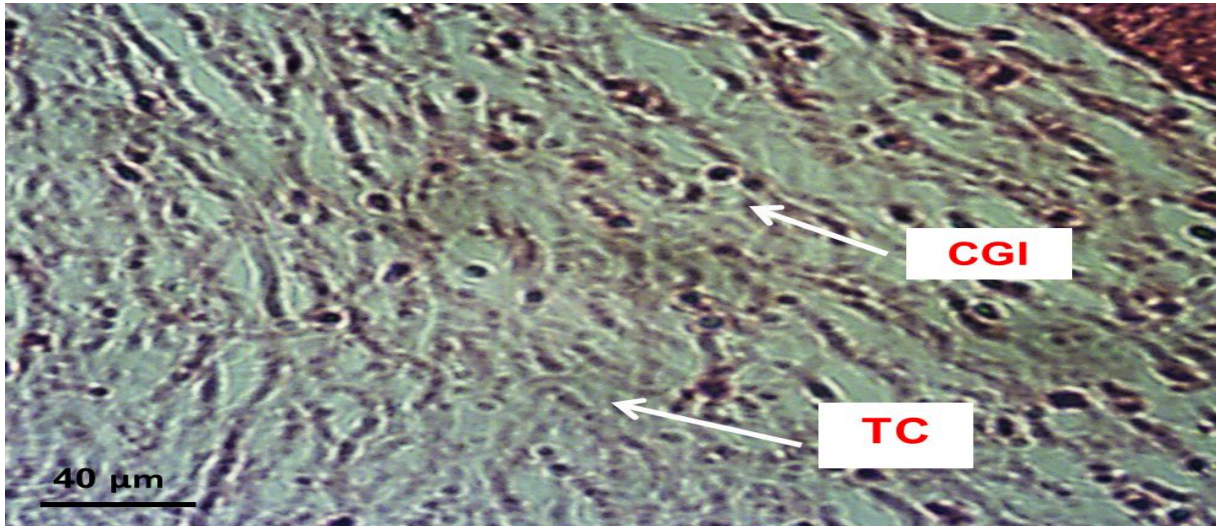
Bien que l'analyse statistique n'ait révélée aucune corrélation entre les paramètres physico-chimiques mesurés et l'IC ( $p > 0.05$ ) ; nous notons toutefois que la température de l'eau et la chlorophylle a semblent être étroitement lié à l'IC et agiraient positivement sur ce paramètre. Nous notons, en effet, que plus la température et les teneurs en Chl-a augmentent plus les valeurs de l'IC sont importantes; Les températures maximales estivales coïncident avec le pic de l'IC enregistré au mois d'aout et l'augmentation printanière des concentrations de la Chl-a concordent avec la phase d'accroissement progressive de l'IC qui s'étale entre le mois de mai et aout. Toutefois, il est a signalé que les variations de la salinité ne semblent pas avoir une influence directe sur l'IC de la coque du Mellah.

## **2.4 Etude histologique**

### *2.4.1 Description des stades de développement des gonades :*

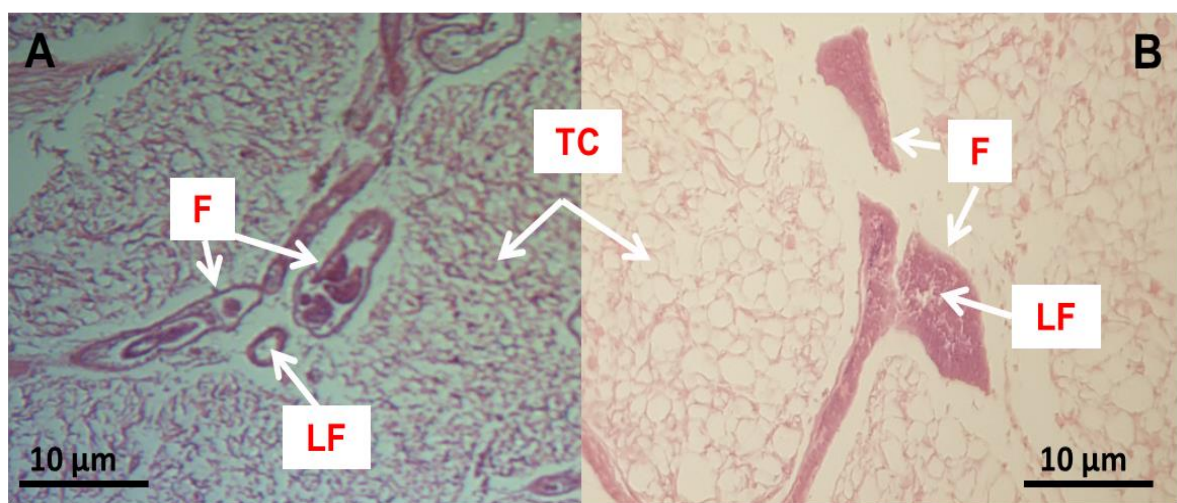
L'examen des coupes histologiques des gonades de la coque de la lagune El Mellah nous a permis de distinguer les 5 stades de maturation gonadique décrits par Wolowicz (1987) aussi bien chez les femelles que chez les mâles :

- **Stade I (Indifférencié) :** La gonade est inactive et les acini sont réduits à des îlots de gonies quiescentes. Le sexe est indiscernable (fig. 25).



**Figure 25.** Photomicrographie du stade indifférencié de la gamétogénèse chez *C. glaucum* de la lagune d'El Mellah (GR x 40, colorée à l'hématoxyline et l'éosine)  
Tc: tissu conjonctif ; CGI : cellules germinales indifférenciées

• Stade II (Début de développement) : A ce stade, les follicules contiennent des cellules dans leur phase initiale de développement mitotique. Les acini sont peu développés en nombre et en volume ; ils sont envahis par un important tissu conjonctif de réserve (fig. 26). Chez les femelles, les oogonies sont en voie de développement et restent attachées à la paroi des follicules. Alors que chez les mâles, la différenciation des spermatogonies et même quelques spermatoctes sont observés.



**Figure 26.** Photomicrographie du début du développement gonadique chez *C. glaucum* femelle (A) et mâle (B) de la lagune d'El Mellah (GR x 10, colorée à l'hématoxyline et l'éosine)  
Tc : tissu conjonctif ; LF : lumière folliculaire, F : follicule

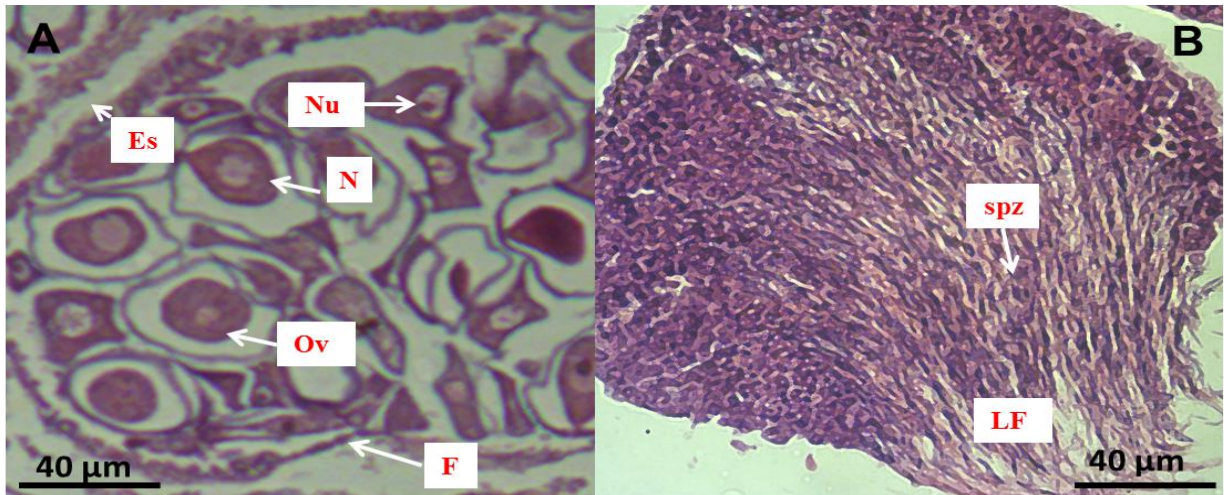
• Stade III (Développement) : L'ovogenèse ou la spermatogenèse est en intense activité depuis la périphérie vers la lumière des tubules (fig. 27). Les ovocytes restent hétérogènes (ovocytes de différents diamètres). Presque tous les stades d'évolution de la lignée mâle (spermatogonies, spermatocytes, spermatides et spermatozoïdes) sont rencontrés. Le tissu conjonctif extra tubulaire se réduit considérablement, et les tubules gonadiques augmentent de volume.



**Figure 27.** Photomicrographie du développement gonadiques chez *C. glaucum* femelles (A) et mâles (B) de la lagune d'El Mellah (GR x 40, colorée à l'hématoxyline et l'éosine)

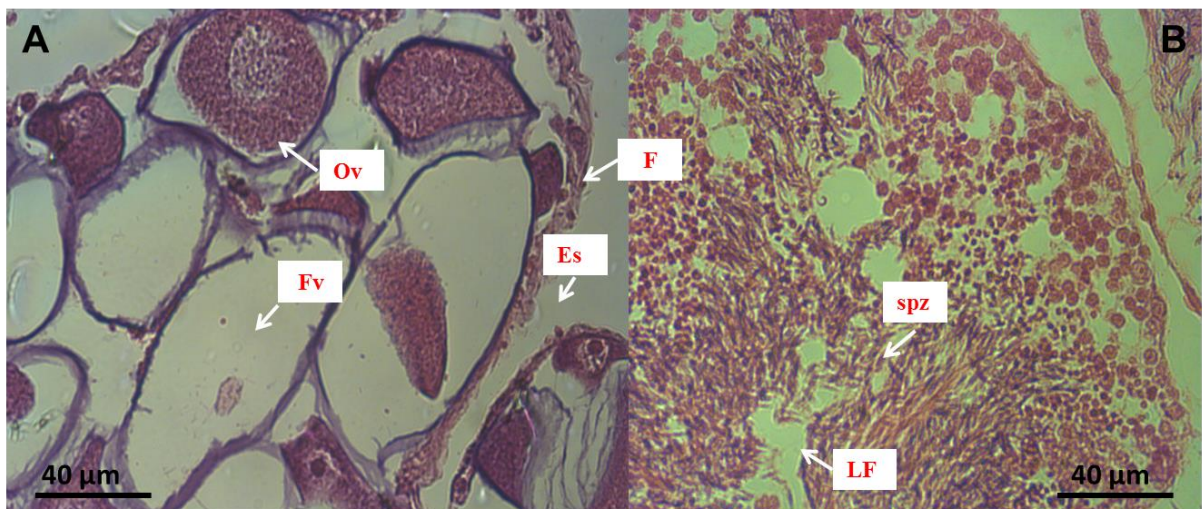
Tc : tissu conjonctif, Ov : ovocyte ; F : follicule ; Es : espace inter folliculaire, LF : lumière folliculaire, spg : spermatogonies, spt : spermatocytes, spz : spermatozoïdes

• Stade IV (Maturité) : Les gonades sont remplies par les produits sexuels mûrs et leur volume est maximum. Le tissu conjonctif a pratiquement disparu (fig. 28). les acini sont remplis d'ovocytes matures (avec une taille relativement homogène) qui présentent un noyau distinctif et parfois le nucléole est visible. Les spermatozoïdes abondent et forment des paquets dans la lumière des follicules.



**Figure 28.** Photomicrographie du stade de maturité gonadiques chez *C. glaucum* femelles (A) et mâles (B) de la lagune d'El Mellah (GR x 40, colorée à l'hématoxyline et l'éosine)  
 Ov : ovocyte, N : noyau, Nu : nucléole, spz : spermatozoïdes, Es : espace inter folliculaire, LF : lumière folliculaire

- **Stade V (Ponte) :** Ce stade est caractérisé par l'émission des produits génitaux et l'envahissement de la gonade par les tissus conjonctifs de réserve (fig. 29). Chez les femelles, il y a des ovocytes matures dans certains follicules, tandis que d'autres follicules sont vidés. Chez les mâles, les spermatozoïdes sont moins nombreux. La ligne germinale est réduite à quelques travées cellulaires correspondant à des spermatogonies primitives baignant dans un tissu conjonctif.



**Figure 29.** Photomicrographie du stade de ponte chez *C. glaucum* femelles (A) et mâles (B) de la lagune d'El Mellah (GR x 40, colorée à l'hématoxyline et l'éosine)  
 Ov : ovocyte, F: follicule, Fv : follicule vide, Es : espace interfolliculaire, LF: lumière folliculaire, spz : spermatozoïdes

#### 2.4.2 Evolution des stades reproductifs:

Les observations microscopiques des coupes histologiques nous ont permis de constater que le cycle de reproduction de *C. glaucum* de la lagune El Mellah s'étale tout au long de l'année. En effet le stade de repos sexuel (indifférencié) n'a pu être observé qu'au cours du mois de novembre avec une reprise de la gamétogenèse dès le mois de décembre qui se poursuit jusqu'au mois de janvier (stades II et III).

Au cours du mois de février les femelles et les mâles arrivent à maturité (stade IV) et une première ponte a lieu entre mars et mai.

Un redémarrage immédiat de l'activité gamétique est observée à partir de mai et les coques des deux sexes sont matures en aout ou une seconde émission gamétique est déclenchée et se prolonge jusqu'au mois d'octobre.

### 3. Discussion

Chez *Cerastoderma glaucum* de la lagune El Mellah, la sex-ratio calculée pour l'ensemble des spécimens était en faveur des femelles. Nos résultats sont confortés par ceux de plusieurs études menées sur la reproduction de *Cerastoderma* spp., décrivant la dominance de l'un des deux sexes par rapport à l'autre (Desperes et al., 1987 ; Fernandez-Castro et al., 1989; Mohammad et al., 2009 ; Martinez-Castro & Vazquez, 2012 ; Kandeel et al., 2013 ; Karray et al., 2015). Selon Boyden (1971) et Bowmer (1994) il y aurait, en général, une sex-ratio de 1:1 chez n'importe quelle population de cette espèce; toutefois, Malham et al. (2012) pensent que les écarts des taux du SR chez le genre *Cerastoderma* apporteraient la preuve d'une mortalité spécifique en fonction du sexe.

Le déroulement de la gamétogenèse des coques du Mellah s'étale tout au long de l'année ; tous les stades évolutifs du cycle de reproduction, à des proportions très variables, ont été observés pendant toute la durée de l'échantillonnage à l'exception du stade de repos

sexuel qui n'a pu être identifié que durant une brève période, uniquement au mois de novembre, révélant ainsi la nature bradyctique de l'espèce. Cette activité sexuelle quasi continue serait vraisemblablement liée à l'impact positif de la température relativement élevée des eaux de la lagune qui s'échelonne entre 12°C en janvier et 30.7°C en juillet. Ce facteur est, en effet, décrit par de nombreux auteurs comme étant le paramètre environnementale clé qui conditionne le processus de la gamétogenèse chez les bivalves et plus particulièrement l'étalement de leur cycle sexuel (Lubet, 1981 ; Newell et al., 1982 ; Delgado et al., 2007 ; Serdar et al., 2010).

L'analyse de l'évolution de la gamétogenèse de la coque du Mellah laisse supposer l'existence d'une relation avec l'enrichissement trophique des eaux de la lagune. Il est, en effet, noté que les stades de développement et de maturation gonadiques enregistrés de janvier à février puis de mai à aout coïncident avec les périodes d'accroissement des teneurs en chlorophylle a. Nos observations sont confortées par celles de Trotta & Cordisco (1998) qui affirment qu'aussi bien la maturation que l'allongement de la durée de ponte chez *C. glaucum* sont conditionnées par la disponibilité de la nourriture voire même de la composition du plancton ingéré. Par ailleurs la disponibilité alimentaire est considérée comme l'un des paramètres environnementaux les plus influents du cycle de reproduction des bivalves ; plusieurs études l'ont même désigné comme principal facteur déterminant cette activité physiologique plutôt que la température de l'eau (Newell et al., 1982 ; Navarro et al., 1989 ; Ruiz et al., 1992).

Bien que dans notre étude la salinité ne semble pas avoir un effet direct sur le déroulement de la gamétogénèse, Zaouali (1974) a montré que ce paramètre abiotique pouvait aussi favoriser l'étalement dans le temps des périodes de maturation et de ponte chez *Cerastoderma glaucum* des lagunes tunisiennes. D'autre part certains auteurs (Lubet & Mann, 1987 ; Lubet, 1991 ; Perez-Camacho et al. 2003) considèrent la salinité comme l'un des facteurs environnementaux prépondérants qui contrôlent la reproduction des bivalves.

Deux périodes de ponte ont été identifiées chez *Cerastoderma glaucum* de la lagune El Mellah ; la première, printanière se produisant entre mars et mai et la seconde estivo-automnale, débutant en août et s'étalant jusqu'à octobre. Ces deux évènements coïncident avec les chutes les plus marquées de l'IC, ainsi l'amaigrissement, des coques, noté au cours de ces périodes serait dû à la perte de matière organique qui fait suite à l'expulsion des gamètes. A l'opposé les valeurs les plus élevées de l'IC observées au cours des mois de février, mars, juillet et août correspondent aux stades de développement et de maturations des gonades mis en évidence par l'histologie. Ces observations confirment que l'indice de condition choisi dans le cadre de cette étude est un indicateur précis des stades de maturation et de ponte chez la coque du Mellah ; Par ailleurs, il constitue une méthode simple et rapide pour la détermination des différentes phases de la gamétogenèse chez ce bivalve.

Nos conclusions rejoignent celles de Martinez-Castro & Vazquez (2012) qui ont utilisé ce même indice pour la description de la reproduction chez *Cerastoderma edule* de Ria de Vigo (Espagne) ; de plus, ces auteurs considèrent que l'emploi de cet IC serait un outil extrêmement utile et pratique dans la gestion des pêcheries des populations de coques dont le cycle de reproduction n'a pas encore été étudié.

Les résultats du suivi du cycle reproductif de *C. glaucum* du Mellah montrent que ce dernier est marqué par une activité gonadique pratiquement continue durant toute l'année à l'exception de la brève phase de repos sexuel observée en novembre d'une part et d'autre part, par l'identification de deux périodes d'émission gamétique, une première printanière (mars-mai) et une seconde estivale/ automnale (août-octobre).

En comparant nos données avec celles rapportées par d'autres travaux menés sur la reproduction de *C. glaucum*, il semble que nos résultats concordent avec ceux rapportés par Derbali et al., (2009) chez *C. glaucum* du golfe de Gabes, mais, en revanche, ils diffèrent par le nombre et les périodes annuelles de ponte du reste des populations étudiées. Ces

discordances peuvent s'expliquer par le fait que la durée du cycle de reproduction de même que le caractère répétitif des pontes chez cette espèce varient en fonction des conditions climatiques et la latitude géographique (Zaouali, 1974). En effet, alors qu'un cycle sexuel continu de type polymodal est signalé par de nombreux auteurs en méditerranée (Trotta & Cordisco, 1998; Mohammad, 2002 ; Tarnowska et al., 2009 ; Derbali et al., 2009; Machreki-Ajmi et al., 2013 ; Kandeel et al., 2013 ; Karray et al. 2015), sous des latitudes plus nordiques, comme la mer du Nord et la Baltique, la période de reproduction est unique, courte et coïncide avec une période thermique et nutritive favorable (Boyden, 1971; Wołowicz, 1987; Tarnowska et al., 2009).

Lubet et Mann (1987) expliquent que face à la variabilité des conditions climatiques et en particulier de la température *C. glaucum* adopte une stratégie reproductive « opportuniste » caractérisée par un étalement des périodes de pontes et une augmentation de leur nombre. Selon Machreki-Ajmi et al. (2013) cette stratégie permet, d'une part, une production semi-continue de recrues et, d'autre part, réduit les risque de décalage entre les larves planctonophages et la production primaire ; *C. glaucum* étant une espèce qui ajuste son cycle de vie de manière à libérer ses gamètes lorsque la nourriture est disponible dans la colonne d'eau.

**Chapitre IV- Teneurs de  
quelques métaux lourds  
chez *C. glaucum***

## Introduction

La coque *Cerastoderma glaucum* est une espèce caractéristique des communautés benthiques et phytophiles des systèmes lagunaires (Labourg & Lasserre, 1980) ; Sara (2007) l'a même décrite comme étant une espèce clé des assemblages macrobenthiques des régions tempérées. Compte tenu des critères biologiques et écologiques tel que son mode de vie sédentaire, son mode de nutrition par filtration ou son pouvoir d'accumulation, la coque a été validée et largement utilisée en tant qu'espèce sentinelle des écosystèmes côtiers (Szefer & Wolowicz, 1993 ; Arjonilla et al., 1994 ; Machreki-Ajmi & Hamza-Chaffai, 2006 ; Machreki-Ajmi et al., 2007 ; Hamza-Chaffai, 2014 ; Karray et al., 2015 ; Gonzalez-Fernández et al., 2015 ; Velez et al., 2016).

Le présent chapitre constitue une contribution au diagnostic de l'état de contamination de la lagune El Mellah en éléments traces métalliques à travers l'évaluation spatio-temporelle de l'accumulation *in toto* de quelques métaux lourds essentiels (Cu, Zn) et toxiques (Cd, Pb) chez *C. glaucum* issue de ce plan d'eau.

## 1. Matériel et méthodes

### 1.1 Prélèvement des échantillons

Les échantillons saisonniers, à raison de 50 à 60 coques adultes  $\geq 30$  mm (taille minimale marchande) par station, sont utilisés dans le cadre de cette étude. La collecte des bivalves s'est faite durant les campagnes de février, mai, juillet et novembre de l'année 2015. Les bivalves collectés sont laissés dans une glacière contenant de l'eau de la lagune afin d'y subir une purge (stabulation) puis récupérés 24 h plus tard.

### 1.2 Traitement des échantillons

Au laboratoire, l'échantillon prélevé dans chaque station est repartie en trois lots de 15 à 20 individus chacun. Les coques sont ensuite rincées extérieurement et nettoyées des

impuretés, puis débarrassées de leurs coquilles à l'aide d'un scalpel en plastique ; les parties molles sont extraites délicatement et rincées à l'eau distillée (à l'aide d'une pissette). Par la suite elles sont égouttées puis séchées 80°C jusqu'à l'atteinte d'un poids constant. Après cela, elles sont finement broyées à l'aide d'un mortier en porcelaines avant d'être minéralisées.

- La minéralisation consiste en une destruction complète de la matière organique sous l'effet combiné de la température et de l'acide nitrique concentré (Amiard et al., 1987). Aux tissus préalablement séchés (1 g), nous avons ajouté 1 ml d'acide nitrique concentré (65%). L'ensemble est mis à chauffer à 65°C durant 2 h, puis le chauffage est poursuivi à 95°C jusqu'à ce que la solution devienne claire et que les vapeurs nitreuses rousses disparaissent. Les minéralisats sont ensuite récupérés dans des tubes gradués et complétés jusqu'au volume désiré avec de l'eau distillée. La solution obtenue est dosée par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA). Par ailleurs, la minéralisation des échantillons est accompagnée par la préparation de blancs (témoins) (solutions ne contenant que de l'acide nitrique).

- La spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) permet de doser des éléments chimiques à l'état de traces. L'analyse est basée sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental. L'absorption de chaque élément est spécifique, aucun autre élément n'absorbe la même longueur d'ondes. La méthode est quantitative et relative nécessitant un étalonnage. Pour obtenir des atomes à l'état fondamental et pouvoir relier l'absorption de ces atomes à leur nombre et à leur concentration dans la solution à doser ; suivant les éléments à doser différentes méthodes sont possibles. Le dosage du Cd, Cu et Pb ont été effectuées par spectrométrie d'absorption atomique électrothermique, tandis que l'analyse du Zn est réalisée par spectrométrie d'absorption atomique en flamme.

### 1.3 Etude statistique

Les valeurs saisonnières des métaux lourds des échantillons sont exprimées en moyenne  $\pm$  écart type de la moyenne (SD). Les tests kruskal wallis et Wilcoxon-Mann-Whitney ont été appliqués respectivement pour les comparaisons intra et inter sites des teneurs saisonnières en Cd, Cu, Zn et Pb. Les différences avec des p-values supérieures à 0.05 n'ont pas été considérés comme significatives.

## 2. Résultats

Les données obtenues suite à l'analyse des concentrations des métaux lourds dans les tissus de *C. glaucum* issue de la lagune d'El Mellah, montrent que les quatre métaux recherchés : Cd, Cu, Zn et Pb sont présents dans les échantillons étudiés. Les résultats relatifs à leur évolution spatiotemporelle sont illustrés dans le tableau 14.

**Tableau 14.** Moyennes saisonnière et annuelles ( $\pm$  écart-type) des concentrations du Cd, Cu, Zn et Pb relevées dans la chair de *C. glaucum* de la lagune El Mellah (mg/kg de poids sec)

Saison	Site	Cd	Cu	Zn	Pb
Hiver	Blanc	I.L.D	I.L.D	I.L.D	I.L.D
	S1	0.11 $\pm$ 0.01	1.37 $\pm$ 0.05	5.37 $\pm$ 0.17	0.72 $\pm$ 0.02
	S2	0.09 $\pm$ 0.01	1.68 $\pm$ 0.09	5.49 $\pm$ 0.18	0.68 $\pm$ 0.04
Printemps	Blanc	I.L.D	I.L.D	I.L.D	I.L.D
	S1	0.09 $\pm$ 0.01	0.81 $\pm$ 0.07	4.12 $\pm$ 0.03	0.39 $\pm$ 0.04
	S2	0.08 $\pm$ 0.02	0.80 $\pm$ 0.04	4.25 $\pm$ 0.09	0.41 $\pm$ 0.07
Eté	Blanc	I.L.D	I.L.D	I.L.D	I.L.D
	S1	0.09 $\pm$ 0.01	1.09 $\pm$ 0.10	4.50 $\pm$ 0.16	0.57 $\pm$ 0.07
	S2	0.08 $\pm$ 0.01	1.09 $\pm$ 0.10	5.10 $\pm$ 0.02	0.60 $\pm$ 0.03
Automne	Blanc	I.L.D	I.L.D	I.L.D	I.L.D
	S1	0.15 $\pm$ 0.02	2.09 $\pm$ 0.07	6.72 $\pm$ 0.13	0.76 $\pm$ 0.03
	S2	0.13 $\pm$ 0.01	2.14 $\pm$ 0.05	6.97 $\pm$ 0.12	0.69 $\pm$ 0.02
<b>Moyenne annuelle</b>		0.10 $\pm$ 0.02	1.38 $\pm$ 0.51	5.32 $\pm$ 1.02	0.60 $\pm$ 0.14

\* I.L.D : inférieur à la limite de détection.

Du point de vue statistique (tab. 15), il est important de signaler que les comparaisons des niveaux d'accumulation de ces métaux traces dans la chair de la coque du Mellah n'ont révélés aucune différence significative dans leur distribution spatiale à l'exception du Cd où une différence significative a été détectée entre S1 et S2 ( $p < 0.05$ ). Toutefois, les

concentrations en Cd, Cu, Zn et Pb semblent suivre un rythme saisonnier ; Les données obtenues montrent l'existence de différences très hautement significative de ces teneurs ( $p < 0.001$ ) d'une saison à une autre.

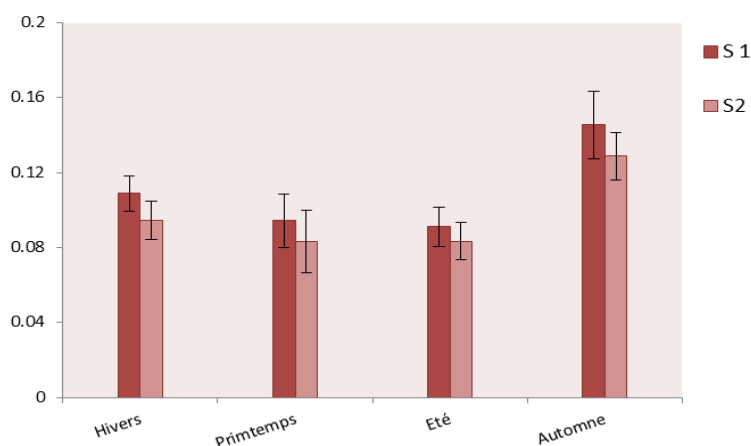
**Tableau 15.** Résultats des niveaux de significativité des comparaisons inter/intrasites des concentrations en Cd, Cu, Zn et Pb relevées dans la chair de *C. glaucum* de la lagune El Mellah

	p		
	Saison		Station
	S1	S2	
<b>Cd</b>	0.000***	0.000***	0.0398 *
<b>Cu</b>	0.000***	0.000***	0.5468 ns
<b>Zn</b>	0.000***	0.000***	0.1873 ns
<b>Pb</b>	0.000***	0.000***	0.1462 ns

\* :  $p < 0.05$ , \*\*\* :  $p < 0.001$ , ns : non significative.

## 2.1 Bioaccumulation du cadmium

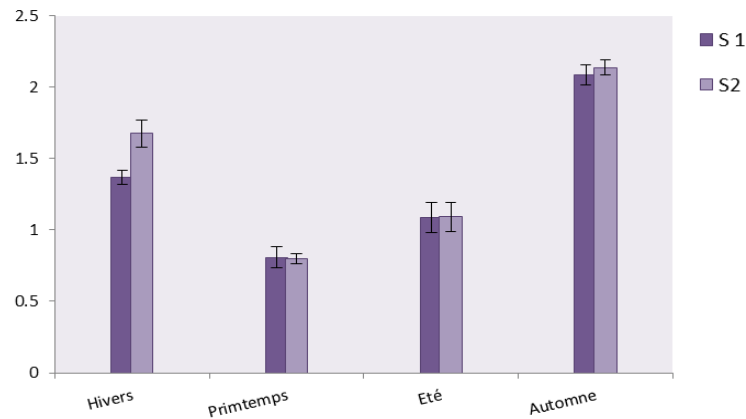
Les concentrations en Cd dans la chair de *C. glaucum* de la lagune d'El Mellah montrent des variations hétérogènes aussi bien sur le plan spatial que temporel. La distribution des teneurs en Cd semble suivre un gradient décroissant du nord (S1) au sud (S2) avec un rythme saisonnier ; les valeurs moyennes sont significativement plus élevées ( $p < 0.001$ ) en automne (fig. 30) que celles enregistrées au printemps et en été au niveau des deux sites échantillonnés.



**Figure 30.** Variation spatio-temporelle des concentrations moyennes (mg/kg) en Cd chez *C. glaucum* de la lagune El Mellah

## 2.2 Bioaccumulation du cuivre

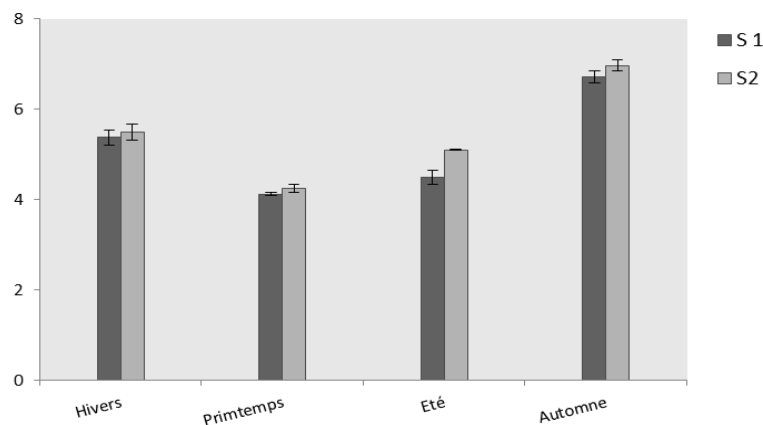
L'évolution temporelle de la concentration moyenne en Cu montre une teneur maximale pendant la saison automnale de l'ordre de 2.14 mg/kg, alors que la minimale 0.80 mg/kg est observée au printemps (fig. 31).



**Figure 31.** Variation spatio-temporelle des concentrations moyennes (mg/kg) en Cu chez *C. glaucum* de la lagune El Mellah

## 2.3 Bioaccumulation du zinc

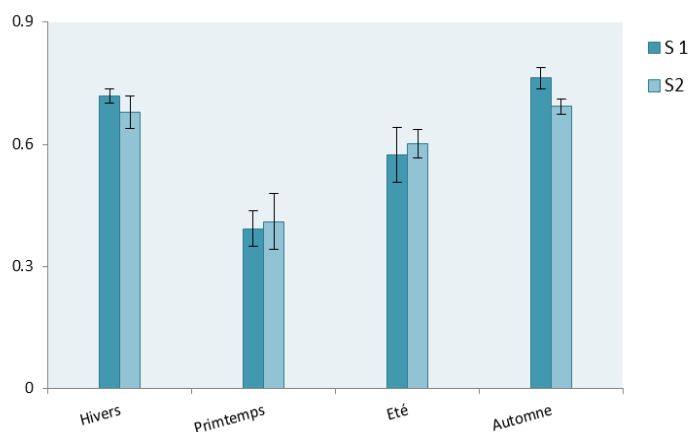
La teneur minimale en Zn est enregistrée en saison printanière (4.12 mg/kg) au niveau de S1, une augmentation significative ( $p < 0,001$ ) est notée en automne avec une valeur maximale de l'ordre de 6.97 mg/kg au niveau de S2 (fig. 32).



**Figure 32.** Variation spatio-temporelle des concentrations moyennes (mg/kg) en Zn chez *C. glaucum* de la lagune El Mellah

## 2.4 Bioaccumulation du plomb

C'est en automne que la concentration moyenne la plus élevée en Pb est enregistrée (0.76 mg/kg). La teneur moyenne la plus faible de ce métal dans les tissus de la coque du Mellah est observée comme pour le Cd, Cu et Zn en saison printanière (0.39 mg/kg) (fig. 33).



**Figure 33.** Variation spatio-temporelle des concentrations moyennes (mg/kg) en Pb chez *C. glaucum* de la lagune El Mellah

## 3. Discussion

Dans cette étude, nous avons essayé d'évaluer le niveau de contamination de la lagune El Mellah par les éléments traces métalliques Cd, Cu, Zn et Pb sur la base de leur dosage *in toto* dans les tissus secs de *C. glaucum* issue de deux stations d'échantillonnage. En se référant à Ladhar-Chaabouni (2009) l'évaluation de la bioaccumulation métallique basée sur l'analyse « *in toto* » chez la coque renseigne sur la biodisponibilité des métaux dans l'environnement et de leur assimilation par ces organismes.

L'examen global des niveaux de bioaccumulation des métaux lourds par *C. glaucum* de la lagune El Mellah nous a permis de constater que cet animal accumulait les différents métaux recherchés dans sa chair selon l'ordre suivant Cd < Pb < Cu < Zn. Par ailleurs, nos résultats ne montrent aucune variation spatiale des concentrations tissulaires en éléments traces métalliques à l'exception du Cd ; ce dernier présente, en effet, une légère différence

entre les deux sites échantillonnés illustrée par des teneurs cadmiques réparties selon un gradient de concentration décroissant du nord (S1) vers le sud (S2).

Le cuivre et le zinc sont des métaux essentiels indispensables à la vie dont l'accumulation se fait sous forme dissoute ou par ingestion d'aliments ; en ce qui concerne le Cd, son accumulation a lieu essentiellement par voie dissoute (Wang & Fisher 1996) ; ce qui expliquerait les valeurs relativement élevées relevées chez les coques examinées.

Par ailleurs, nos données montrent une variabilité saisonnière très marquée de la bioaccumulation de l'ensemble des métaux traces étudiés. Nous notons, en effet, que les concentrations maximales en Cd, Cu, Zn et Pb sont toutes enregistrées en automne ; ces teneurs se maintiennent à un niveau élevé en hiver puis chutent significativement durant le printemps et l'été. Ces variations seraient liées à l'état physiologique (variations pondérales) de la coque ; il est, en effet, noté que les périodes de ponte, chez cette population de coques, coïncident avec ces deux saisons (printemps/été). De nombreux travaux ont montré que les processus physiologiques liés à la reproduction expliquent l'essentiel des variations saisonnières des concentrations métalliques dans les tissus des bivalves (Cossa et al., 1980 ; Cossa, 1989 ; Girratano et al., 2011). Pendant la gamétogenèse les gonades se développent énormément et peuvent constituer un piège efficace pour l'incorporation des métaux dans l'organisme ; en revanche, les pontes qui correspondent à l'émission des œufs, s'accompagnent d'une chute des teneurs métalliques combinée à une baisse du poids de l'animal (Kaimoussi et al., 2000).

Néanmoins, les variations des concentrations saisonnières en métaux traces peuvent aussi être causées par la combinaison de plusieurs facteurs directement corrélés au poids du bivalve tels que la température, la disponibilité en nourriture et la croissance ainsi que d'autres facteurs liés à la modification du cycle biogéochimique et à la biodisponibilité des métaux (Widdows, 1978; Cossa et al., 1980; Paez-Osuna et al., 1995; Langston & Spence, 1995 ; Okumus & Stirling, 1998 ; Abdenour et al., 2000 ; Wong et Cheung, 2001; Cheggour

et al., 2001; Rainbow et al., 2004 ; Stello, 2005 ; Casas, 2005 ; Beldi et al., 2006 ; Taleb & Boutiba, 2007).

Enfin, toutes nos données montrent que les niveaux de concentration en métaux traces Cd, Cu, Zn et Pb (tab. 14) enregistrés chez *C. glaucum* de la lagune EL Mellah sont plus faibles que ceux relevés chez différentes espèces de bivalves peuplant d'autres sites lagunaires et estuariens (tab. 16). Les concentrations en ETM de la coque d'El mellah sont bien inférieures aux normes de concentrations limites autorisées en Algérie et dans différents autres pays (tab. 17). Nos résultats sont comparables à ceux de Boudjellal et al. (1998) qui ont dosé les mêmes métaux chez *Ruditapes decussatus*, un autre bivalve benthique de la lagune El Mellah ; Nous pouvons donc conclure que la lagune n'a encore pas atteint un état critique de contamination métallique du fait que son bassin versant est le siège d'une activité agricole modérée, peu anthropisé et assez loin de toute source de pollution industrielle.

L'utilisation de *C. glaucum* comme bio indicateur de l'état de santé de la lagune El Mellah s'avère intéressante; les données sur la biologie de ce bivalve dans son milieu présentent un double intérêt : l'un pour une éventuelle exploitation du gisement et l'autre pour un éventuel monitoring du plan d'eau.

**Tableau 16.** Comparaison des concentrations métalliques (mg/kg de poids sec) chez différentes espèces de bivalves de systèmes lagunaires et estuariens.

Espèce	Cd			Cu			Zn			Pb			Site	Reference
	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy		
<i>Cerastoderma glaucum</i>	0.08	0.15	0.10	0.80	2.14	1.38	4.12	6.97	5.32	0.39	0.76	0.60	Lagune El Mellah/ Algérie	Présente étude
	0.02	0.11	0.06	1.35	7.08	3.54	6.37	52.1 7	27.5	-	-	-	Lac Ganzirri/ Italie	Di Bella et al., 2013
	< 0.17	< 0.17	-	4.50	14.7 8	-	-	-	-	1.12	4.05	-	Lagune d'Obidos/ Portugal	Valez et al., 2016
<i>Cerastoderma edule</i>	< 0.004	3.16	1.57	4.9	18.1	8.77	38.5	78.5	58.3	9.3	37.7	18.9	Lagune Moulay Bou Selham) Maroc	Cheggour et al., 2001
	0.095	4.01	2.37	6.45	37.6	22.6	75.4	151	115	8.09	30	16.5	Lagune Sidi Moussa/ Maroc	
	-	-	-	0.15	24.4 5	7.91	85.5 5	139. 35	117	5.6	32.3	18.7 5	Estuaire du Bouregreg/ Maroc	Benmessaoud, 2007
<i>Ruditapes decussatus</i>	-	-	0.09	-	-	2.9	-	-	11.4	-	-	0.82	Lagune El Mellah/Algérie	Boudjellel et al., 1998
	-	-	-	0.25	13.7 5	6.18	71.9	144. 7	107. 95	8.3	30.7	16.6 5	Estuaire du Bouregreg/ Maroc	Benmessaoud, 2007
	0.16	0.36	-	5.8	14	-	90	137	-	1.2	8.2	-	Lagune de Tunis/ Tunisie	Chalghmi, 2015
<i>Venerupis aurea laeta</i>	0.41	0.14	1.55	2.98	9.45	5.20	46.4 6	102. 1	65.7 6	-	-	-	Lac Ganzirri/ Italie	Di Bella et al., 2013
<i>Scrobicularia plana</i>	-	-	1.34	-	-	32.4	-	-	131	-	-	-	Estuaire du Loukkos/ Maroc	Cheggour et al., 2005
	-	-	2.3	-	-	51.5	-	-	179	-	-	-	Estuaire de Sebou/Maroc	
	-	-	2.3	-	-	45.2	-	-	172	-	-	-	Estuaire de Bouregreg/ Maroc	
	-	-	2.7	-	-	35.2	-	-	173	-	-	-	Estuaire d'Oum er Rbia/ Maroc	
<i>Senilia senilis</i>	0.60	1.03	0.97	-	-	-	-	-	-	0.87	4.54	2.84	Système lagunaire togolais/ Togo	Ouro-Sama et al. 2014
<i>Crassostrea gasar</i>	0.68	1.03	0.83	-	-	-	-	-	-	0.79	4.12	2.95		

**Tableau 17.** Teneurs maximales admises pour les métaux traces règlementés (Cd, Pb) dans la chair des bivalves

<b>Autorité compétente/ Pays</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>
<b>MPRH</b> (mg/kg de poids frais)/ Algérie	1	1.5
<b>EFSA</b> (mg/kg de poids sec)/ CE	5	7,5
<b>EFSA</b> (mg/kg de poids frais)/ CE	1	1.5
<b>USFDA</b> (mg/kg de poids frais)/ USA	4	1.70
<b>FSANZ</b> (mg/kg de poids frais)/Australie; Nouvelle-Zélande	2	2

MPRH: Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques; EFSA: European Food Safe Authorities; USFDA: United States Food and Drug Administration; FSANZ: Food Standards Australia and New Zealand

# **Conclusion & perspectives**

## Conclusion

Les points essentiels qui ressortent de cette étude sont les suivants :

### ❖ *Cerastoderma glaucum*

- Quel que soit le site de récolte de *C. glaucum* du Mellah, l'étude de la croissance relative fait apparaître l'existence d'allométries négatives démontrant que la croissance de l'animal en longueur est plus rapide que celle du reste des paramètres biométriques mesurés.
- L'analyse des données des fréquences de taille a permis d'identifier trois groupes d'âge chez l'ensemble des coques collectées.
- A âge égal, la taille et le poids de la coque collectée dans la station 1 sont supérieurs à ceux de la coque récoltée dans la station 2.
- Le taux de mortalité totale de la population de *C. glaucum* issue du Mellah est relativement élevé.
- Le cycle sexuel de *Cerastoderma glaucum* est étalé sur l'ensemble de l'année avec deux périodes de ponte : l'une printanière et l'autre estivo-automnale.
- Les émissions gamétiques coïncident avec la chute des valeurs de l'indice de condition.
- La sex-ratio est légèrement en faveur des femelles.
- Aucun cas d'hermaphrodisme n'a été signalé au cours de cette étude.
- La température et la chlorophylle a sont les deux facteurs abiotiques les plus associés à l'IC alors que la salinité ne semble pas influencer ce paramètre.
- L'évaluation des niveaux de contamination de *C. glaucum* par les ETM (Cd, Cu, Zn et Pb) montre qu'ils sont très faibles.
- A l'exception du Cd aucune variation spatiale des concentrations des métaux lourds mesurées n'a été observée.

- Les concentrations en Cd, Cu, Zn et Pb chez la coque du Mellah suivent un rythme saisonnier, les valeurs les plus élevées sont enregistrées en hiver en automne.

#### ❖ *Ruditapes decussatus*

- L'étude de la croissance relative chez *Ruditapes decussatus* issue de la lagune d'El Mellah basée sur l'analyse des mesures métriques (longueur, largeur et épaisseur) fait apparaître des relations de type allométrie négative, indiquant que cette population présente une forme à la fois allongée et aplatie.
- la croissance des palourdes s'effectue à vitesse égale autant en longueur qu'en poids total (isométrie).
- Les paramètres de croissance ainsi que l'indice de performance de *R. decussatus* de la lagune El Mellah, sont relativement très élevés (en comparaison avec ceux rapportés dans les différentes régions).
- L'âge de *R. decussatus* de la lagune El Mellah est estimé à six années et la longévité théorique maximale à environ 8 ans.
- Le taux de mortalité totale de la population de la palourde issue du Mellah est relativement faible.

En perspectives il serait judicieux de poursuivre et d'approfondir l'étude écobioologique des deux espèces *C. glaucum* et *R. decussatus* et de l'axer plus particulièrement sur:

- Leur dynamique des populations et leur production secondaire
- L'étude des relations entre morphométrie et conditions environnementales
- La reproduction (détermination de la taille de première maturité sexuelle)
- Etude de leur régime alimentaire

- Etude de l'impact de facteurs biotiques tels que le parasitisme et la prédation sur les populations de coque et de palourde de la lagune d'El Mellah.
- Analyse de la bioaccumulation des ETM chez *R. decussatus* et dans d'autres matrices environnementales tels que l'eau et le sédiment de la lagune afin d'identifier son origine et les voies de contaminations des bivalves.

# **Références bibliographiques**

- Abdenour C., Smith B.D., Boulakoud M.S., Samraoui B., Rambow P.S., 2000. Trace metals in shrimps and sediments from Algeria water. *J. Catalog. Mat. Envir.*, 3, 9-12.
- Alloway B.J., Ayres D.C., 1997. *Chemical Principles of Environmental Pollution*. Blackie Academic and Profesional, an imprint of Chapman and Hall, London. 394 pp.
- Aloui-Bejaouj N., 1998. La croissance absolue de *Mytilus galloprovincialis* dans le lac de Bizerte : relation taille/âge dans les stations d'élevage. *Bulletin INSTM*, 25, 51-66.
- Amiard, J.C., Amiard-Triquet, C., Metayer, C., 1987. Application de la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique Zeeman au dosage de 8 éléments traces (Hg, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Se) dans les matières biologiques solides. *Water Res.*, 21(6), 693-697.
- Anibal J., Esteves E., Rocha R., 2011. Seasonal variations in gross biochemical composition, percent edibility, and condition index of the clam *Ruditapes decussatus* cultivated in the Ria Formosa (South Portugal). *Journal of Shellfish Research*, 30, 17-23.
- Anonyme, 2005. Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar 1- Réserve intégrale du Lac El Mellah (Wilaya d'El Tarf) Ministère de l'Agriculture et du Développement rural direction Générale des Forêts.
- Aranguren R., Gomez-Leon J., Balseiro P., Costa M.M., Novoa B., Figueras A., 2014. Abnormal mortalities of the carpet shell clam *Ruditapes decussatus* (Linnaeus 1756) in natural bed populations: a practical approach. *Aquaculture Research*, 45, 1303-1310.
- Arjonilla M., Forja A., Gomez-Parra A., 1994. Sediment analysis does not provide a good measure of heavy metal bioavailability to (*Cerastoderma glaucum*) (Mollusca: Bivalvia) in confined coastal ecosystems. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 52, 810-817.
- Askew C.G., 1972. The growth of *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas* in Ensworth Harbour. *Aquaculture*, 1, 237-259.
- ATSDR, 1990. Toxicological profile for creosote. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA.
- Bailey B., Koran P., Bradley H.C., 1942. The autolysis of muscle of highly active and less active fish. *Biological Bulletin*, 83 (1), 129-136.
- Baize D., 1997. Teneurs en éléments traces métalliques dans les sols (France). Références et stratégies d'interprétation. INRA Editions, Paris, 408 pp.
- Bakalem A., Romano J.C., 1979. Les peuplements benthiques du lac Mellah. Rapport de la mission du C.R.O.P sur le lac Mellah, 13-22.
- Baker J.R., 1966. *Cytological technique*. Methuen, London: 280 pp.

- Bamber R.N., Batten S.D., Shearer M., Bridgewater N.D., 1992. On the ecology of brackish water lagoons in Great Britain, *Aquat. Conserv.*, 2 (1), 65-94.
- Banha M., 1984. Aspectos da biologia (crescimento e reprodução) de *Ruditapes decussatus* Lineu, 1789 (Mollusca, Bivalvia) na Ria Formosa-Algarve. Relatório de estágio de licenciatura em Biologia, Faculdade de Ciências de Lisboa, Portugal, 119 p.
- Barnes R.S.K., 1980. Coastal lagoons. Cambridge University Press, Cambridge, 103 pp.
- Basset A., Elliott M., West R.J., Wilson J.G., 2013. Estuarine and lagoon biodiversity and their natural goods and services. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 132, 1-4.
- Bhattacharya C.G., 1967. A sample method of resolution of a distribution into Gaussian components. *Biometrics*, 23, 115- 135.
- Bayne B.L., 1999. Physiological components of growth differences between individual oysters (*Crassostrea gigas*) and a comparison with *Saccostrea commercialis*. *Physiol. Biochem. Zool.*, 72, 705-713.
- Beldi H., Gimbert F., Maas S., Scheifler R., Soltani N., 2006. Seasonal variations of Cd, Cu, Pb and Zn in the edible mollusk *Donax trunculus* (Mollusca, Bivalvia) from the gulf of Annaba, Algeria, *Afric. J. Agri. Res.*, 1(4), 85-90.
- Beldi H., Draredja B., Soltani N., 2004. Données préliminaires sur la coque *Cardium glaucum* dans la lagune Mellah (Algérie Nord-Est). Septièmes journées tunisiennes des Sciences de la Mer, Zarzis (Tunisie).
- Benmessaoud F., 2007. Qualité physico-chimique, métallique et bactériologique des eaux de l'estuaire de Bou Regreg et impact sur la biologie de *Venerupis decussata* (LINNE, 1758) et *Cardium edule* (LINNE, 1767). Thèse de doctorat, Université Mohammed V, Rabat, 306 pp.
- Benomar S., Bouhaimi A., El Hamidi F., Mathieu M., Ouichou A., Moukrim A., 2006. Cycle de reproduction de la moule africaine *Perna perna* (Mollusca, Bivalvia) dans la baie d'Agadir : Impact des rejets d'eaux usées domestiques et industrielles. *Biologie & Santé*, 6 (1), 25-36.
- Berthet B., 2008. Les espèces sentinelles. In les biomarqueurs dans l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques, Amiard & Amiard-Triquet, Eds, Lavoisier TEC & Doc, Paris, 121-148.
- Beukema J.J., Meehan B.W., 1985. Latitudinal variation in linear growth and other shell characteristics of *Macoma balthica*. *Marine Biology*, 90, 27-33.
- Bhattacharya C.G., 1967. A sample method of resolution of a distribution into Gaussian components. *Biometrics*, 23, 115- 135.

- Borchardt T., 1985. Relationship between carbon and cadmium uptake in *Mytilus edulis*. Mar. Biol., 85, 233-244.
- Boudjellal B., Refes W., Sellali B., Ounadi F., Azzouz M., Eddalia N., Benchikh S., 1998. Concentration des métaux lourds chez la palourde *Ruditapes decussatus* (L.) d'un milieu lagunaire : le lac Mellah (El Kala)/ Algérie. International Symposium on Marine Pollution, Monaco, AIEA, 456- 459.
- Bowmer T., Jenner H.A., Foekema E., Van der Meer M., 1994. The detection of chronic biological effects in the marine intertidal bivalve *Cerastoderma edule*, in model ecosystem studies with pulverised fuel ash: reproduction and histopathology. Environmental Pollution, 85, 191-204.
- Boyden C.R., 1972. Relationship of size to age in the cockles *Cerastoderma edule* and *C. glaucum* from the river Crouch estuary, Essex. Journal of Conchology, 27, 475-489.
- Boyden C.R., 1971. A comparative study of the reproductive cycle of the cockles *Cerastoderma edule* and *C. glaucum*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 51, 605-622.
- Branes Z., Sargos D., Ounissi O., Amblard C., 2010. Variabilité saisonnière et spatiale de la biomasse et de la composition du phytoplancton de la Lagune Mellah (Algérie-Méditerranée). Revue Synthèse, 21, 13-22.
- Breber P., 1985. On-growing of the carpet shell clam (*Tapes decussatus* (L.)): two years' experience in Venice Lagoon. Aquaculture, 44, 51-56.
- Brock V., 1979. Habitat selection of two congeneric bivalves, *Cardium edule* (L.) and *C. glaucum* (Bruguière) in sympatric and allopatric populations. Mar. Biol., 54, 149-156.
- Brock V., 1980a. Notes on relations between density, setting and growth of two sympatric cockle *Cardium edule* and *C. glaucum*. Orphelia, 1, 241-248.
- Brock V., 1980b. Evidence for niche differences in sympatric populations of *Cerastoderma edule* and *C. lamarcki*. Marine Ecology Progress Series, 2, 75-80.
- Caill-Milly N., Bru N., Barranger M., Gallon L., D'Amico F., 2014. Morphological Trends of Four Manila Clam Populations (*Venerupis philippinarum*) on the French Atlantic Coast: Identified Spatial Patterns and their Relationship to Environmental Variability. Journal of Shellfish Research, 33(2), 355-372.
- Caill-Milly N., Bru N., Kelig M., Borie C., D'Amico F., 2012. Shell Shape Analysis and Spatial Allometry Patterns of Manila Clam (*Ruditapes philippinarum*) in a Mesotidal Coastal Lagoon. Journal of Marine Biology, 1-11.

- Callender E., 2003. Heavy Metals in the Environment-Historical Trends. In: B.S. Lollar (Ed.), Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry. Elsevier-Pergamon, Oxford, 67-105.
- Camacho-Valdez V., Ruiz-Luna A., Ghermandi A., Nunes P.A.L.D., 2013. Valuation of ecosystem services provided by coastal wetlands in northwest Mexico. Ocean. Coast. Manage, 78, 1-11.
- Campbell P.G.C., 1995. Interactions between trace metals and organisms: critique of the free-ion activity model. Metal speciation and bioavailability in aquatic systems. A. Tessier et D. R. Turner, J. Wiley & Sons, Chichester, UK., 45-97.
- Campbell P.G.C., Couillard Y., 2004. Prise en charge et détoxification des métaux chez les organismes aquatiques. In: Pelletier E., Campbell P.G.C. & Denizeau F. (eds.), Ecotoxicologie Moléculaire – Principes fondamentaux et perspectives de développement. Presses de l'Université du Québec, Sainte-Foy, Québec. 197-256.
- Carpene E., George S.G., 1981. Absorption of cadmium by gills of *Mytilus edulis* (L.). Molecular Physiology, 1, 23-34.
- Casas S., 2005. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis* en milieu méditerranéen. Thèse de Doctorat, Université du Sud Toulon Var, France, 301 pp.
- Castaings J., 2012. Étude du fonctionnement hydrosédimentaire d'un écosystème lagunaire sur des échelles de temps multiples. Application au complexe lagunaire "étangs plavasiens - étang de l'Or - canal du Rhône à Sète". Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 204 pp.
- Chalghmi H., 2015. Etude de la pollution marine par les hydrocarbures et caractérisation de leurs effets biochimiques et moléculaires sur la palourde *Ruditapes* sp. Thèse de doctorat Universités de Monastir (Tunisie) & Bordeaux (Bordeaux), 260 pp.
- Chalghmi H., Zrafi I., Gourves P-I., Bourdineauda J-P., Saidane-Mosbahib D., 2016. Combined effects of metal contamination and abiotic parameters on biomarker responses in clam *Ruditapes decussatus* gills: an integrated approach in biomonitoring of Tunis lagoon. Environ. Sci.: Processes Impacts, 18, 895-907.
- Cheggour M., Chafik A., Langston W.J., Burt G.R. , Benbrahim S., Texier H., 2001. Metals in sediments and the edible cockle *Cerastoderma edule* from two Moroccan Atlantic lagoons: Moulay Bou Selham and Sidi Moussa. Environmental Pollution, 115, 149-160.
- Cheggour M., Chafik A., Fisher N.S., Benbrahim S., 2005. Metal concentrations in sediments and clams in four Moroccan estuaries. Marine Environmental Research, 59, 119-137.

- Cherkaoui S., 2006. Structure et organisation des peuplements macrozoobenthiques de l'estuaire du Bou Regreg après la construction du barrage. Thèse de doctorat, Université Mohammed V, Rabat, 270 pp.
- Chiffolleau J.F., Auger D., Chartier E., Michel P., Truquet I., Ficht A., Gonzalez J.L., Romana L.A., 2001. Spatiotemporel changes in Cadmium contamination in the Seine estuary (France). *Estuaries*, 24 (6B), 1029-1040.
- Chora S., Starita-Geribaldi M., Guignonis J.M., Samson M., Roméo M., Bebianno M.J., 2009. Effect of cadmium in the clam *Ruditapes decussatus* assessed by proteomic analysis. *Aquat. Toxicol.*, 94, 300-308.
- Chryssanthakopoulou V., Kaspiris P., 2005a. Reproductive cycle of the carpet shell clam *Ruditapes decussatus* (Linnaeus 1758) in Araxos lagoon (NW Peloponnisos, Greece) and in Evinos estuary (South Aitolokarnania, Greece). *Fresenius Environmental Bulletin*, 14 (11), 999-1005.
- Chryssanthakopoulou V., Kaspiris P., 2005b. Age and growth of the carpet shell clam *Ruditapes decussatus* (Linnaeus 1758) in Araxos lagoon (NW Peloponnisos, Greece). *Fresenius Environmental Bulletin*, 14 (11), 1011-1017.
- Cossa D., 1989. A review of the use of *Mytilus* spp as quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal waters. *Oceanologica acta*, 12(4).
- Cossa D., Bourget E., Pouliot D., Piuze J., Chanut J.P., 1980. Geographical and seasonal variations in the relationship between trace metal content and body weight in *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.*, 58, 7-14.
- Cossa, D., Lassus P. 1989. Le cadmium en milieu marin. *Biogéochimie et écotoxicologie*, Editions Ifremer, Plouzané, France. 16, 111p.
- Costa C., Aguzzi J., Menesatti P., Antonucci F., Rimatori V., Mattoccia M., 2008. Shape analysis of different populations of clams in relation to their geographical structure. *Journal of Zoology*, 276, 71-80.
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., van den Belt M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387 (6630), 253-260.
- Dabouineau L., Ponsero A., 2009. Synthesis on biology of Common European Cockle *Cerastoderma edule*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00581394>
- Dameron C., Howe P.D., 1998. Copper Environmental Health criteria n°200, World Health Organization. Geneva.

- Dang C., de Montaudouin X., Gam M., Paroissin C., Bru N., Cailly-Milly N., 2010. The Manila clam population in Arachon Bay (SW France): Can it be kept sustainable? *Journal of Sea Research*, 63, 108-118.
- Delgado M., Perez-Camacho A., 2002. Hermaphroditism in *Ruditapes decussatus* (L.) (Bivalvia) from the Galician coast (Spain). *Scientia Marina*, 66, 183-185.
- Delgado M., Pèrez-Camacho A., 2005. Histological study of the gonadal development of *Ruditapes decussatus* (L.) (Mollusca: Bivalvia) and its relationship with available food. *Scientia Marina*, 69, 87-97.
- Delgado M., Perez-Camacho A., 2007. Comparative study of gonadal development of *Ruditapes philippinarum* (Adams and Reeve) and *Ruditapes decussatus* (L.) (Mollusca: Bivalvia): Influence of temperature. *Scientia Marina*, 71, 471-484.
- Derbali A., 2011. Biologie, abondance et cartographie de deux espèces de Bivalves: l'huître perlière *Pinctada radiata* et la coque glauque *Cerastoderma glaucum* dans le golfe de Gabès. Thèse de doctorat, Université de Sfax, 169 pp.
- Derbali A., Jarboui O., Ghorbel M., 2009. Reproductive biology of the cockle *Cerastoderma glaucum* (Mollusca: Bivalvia) from the north coast of Sfax (Gulf of Gabes, Tunisia). *Ciencias Marinas*, 35(2), 141-152.
- Derbali A., El Hasni K., Jarboui O., Ghorbel M., 2012. Distribution, abundance and biological parameters of *Cerastoderma glaucum* (Mollusca: Bivalvia) along the Gabes coasts (Tunisia, Central Mediterranean). *Acta Adriatica*, 53 (3), 363-374.
- Derbali A., Hadj Taieb A., Kammoun W., Gouirah J., Wannes-Ghorbel A., Zamouri-Langar N., Ghorbel M., Jarboui O., 2016. Stock assessment, spatial distribution and biological parameters of the clam *Venerupis decussata* along the Sfax coasts (Tunisia, Central Mediterranean). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(1), 177-184.
- Desprez M., Ducrotoy J.P., Elkaim B., Lafite R., Lemoine M., Sueur F., 1987. Crise de la production de coques (*Cerastoderma edule*) en Baie de Somme: analyse de la reproduction et relations avec l'environnement. *Haliotis*, 16, 327-351.
- Di Bella G., Lo Turco V., Potortì A., Rando R., Licata P., Dugo G., 2013. Statistical analysis of heavy metals in *Cerastoderma edule glaucum* and *Venerupis aurea laeta* from Ganzirri Lake, Messina (Italy). *Environ. Monit. Assess.*, 185, 7517-7525.
- Draredja B., 1992. Conditions hydrosédimentaires et structure de la macrofaune benthique en période printanière d'un écosystème lagunaire méditerranéen: lac Mellah (Algérie). Thèse Magister, ISMAL, Alger, 147 pp.

- Draredja B., 2005. Structure et organisation de la macrofaune benthique de la lagune Mellah (Méditerranée Sud-Occidentale, Algérie). *J. Rech. Océanographique*, 30(1-2), 24-33.
- Draredja B., 2007. Structure et fonctionnement d'un milieu lagunaire méditerranéen : lagune Mellah (Algérie Nord-Est). Thèse de Doctorat d'État, Université Badji Mokhtar, Annaba. 225 pp.
- Draredja B., Bakalem A., 2004. Biomasse des peuplements macrobenthiques de la lagune Mellah (Algérie Septentrionale) en période printanière. *Sciences et Technologie*, 21, 61-65.
- Draredja B., Kara M.H., 2004. Diversité de la macrofaune benthique de la lagune Mellah (Algérie Nord-Est). *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 37, 515.
- Draredja B., Melouah K., Beldi H., Benmarce S., 2012. Diversité de la macrofaune benthique de la lagune Mellah (Parc national d'El-Kala, Algérie Nord-Est). *Bull. Soc. zool. Fr.*, 137(1-4), 73-86.
- Ducrotoy J.P., Rybarczyk H., Souprayen J., Bachelet G., Beukema J.J., Desprez M., Doerjes et al., 1991. A comparison of the population dynamics of the cockle (*Cerastoderma edule* L.) in North-Western Europe. In: Elliott, M., Ducrotoy, J.P. (Eds.), *Estuaries and Coasts Spatial and Temporal Intercomparisons*. Olsen and Olsen, Fredensborg, 173-183 p.
- Essid N., 2008. Caractérisation de la pollution organique et minérale des sédiments de la lagune de Bizerte et impact écologique sur les peuplements des nématodes libres: étude à grande échelle et au niveau d'un parc mytilicole. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de Bizerte, Tunisie, 303 pp.
- Fahy E., Carroll J., Murran S., 2005. The Dundalk Cockle *Cerastoderma edule* Fishery in 2003–2004: Marine Institute Irish Fisheries Investigation Series, 14, 16 pp.
- FAO 2005-2018. Cultured Aquatic Species Information Programme *Ruditapes decussatus*. Cultured Aquatic Species Fact Sheets. Texte par Figueras, A. Dans: Département des pêches et de l'aquaculture de la FAO [en ligne]. Rome. Mis à jour 13 January 2005. [Cité le 18 June 2018].
- Fernandez-Castro N., Guillou J., Le Pennec M., Cardenas-Lopez J.J., 1989. Le cycle sexuel de *Cerastoderma edule* L. (Bivalve: Cardiidae) à Brouennou (Finistère). *Haliotis*, 19, 325-334.
- Fischer W., Bauchot M.L., Schneider M., 1987. Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche (revision 1). Méditerranée et Mer Noire, zone de pêche 37. volume 2. vertébrés, CEE, FAO, ED. FAO, Rome, 761-1530.

- Franc A., 1960. Classe des bivalves. In : Grassé P.P, (Ed). Traité de zoologie. Anatomie, systématique. Tome V. Fascicule II. Paris : Masson.1845-2133 p.
- Frankham R., 1995. Inbreeding and extinction: a threshold effect. *Conservation Biology*, 9, 792-799.
- Gabe, M., 1968. Techniques histologiques. Masson & Cie, Paris. 113 pp.
- Gam M., de Montaudouin X., Bazairi H., 2010. Population dynamics and secondary production of the cockle *Cerastoderma edule*: A comparison between Merja Zerga (Moroccan Atlantic Coast) and Arcachon Bay (French Atlantic Coast). *Journal of Sea Research*, 63, 191-201.
- Garcia F., 1993. Interprétation des stries valvaires pour l'évaluation de la croissance de *Ruditapes decussatus* L. *Oceanologica Acta*, 16, 199-203.
- Gaspar M.B., Santos M.N., Vasconcelos P., 2001. Weight-length relationships of 25 bivalve species (Mollusca: Bivalvia) from the Algarve coast (southern Portugal). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 81, 805-807.
- Gaspar M.B, Pereira A.M., Vasconcelos P., Monteiro C.C., 2004. Age and growth of *Chamelea gallina* from the Algarve coast (southern Portugal): influence of seawater temperature and gametogenic cycle on growth rate. *Journal of Molluscan Studies*, 70 (4), 371-377
- Gayanilo F.C., Pauly D., 1997. FAO-ICLARM stock assessment tools (FiSAT) reference manual. FAO Computerized Information Series (Fisheries) No. 8. Rome: FAO, 262 pp.
- Gayanilo F.C., Sparre P., Pauly D., 2005. FAO-ICLARM stock assessment tools II (FiSAT II). Revised version. User's guide. FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. 8, revised version. FAO, Rome.
- George S.G., 1980. Correlation of metal accumulation in mussels with the mechanism of uptake, metabolism and detoxication: a review. *Thalassia Jugoslavica*, 16, 347-365.
- Ghéno Y., Le Guen J.C., 1968. Détermination de l'âge et croissance de *Sardinella Eba* (Val.) dans la région de Pointe-Noire. *Cahiers ORSTOM. Série Océanographie*, 6 (2), 69-82.
- Giarratano E., Gil M.N., Malanga G., 2011. Seasonal and pollution-induced variations in biomarkers of transplanted mussels within the Beagle Channel. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1337-1344.
- Gili J.M., Coma R., 1998. Benthic suspension feeders: their paramount role in littoral marine food webs. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(8), 316-321.
- Glémarec M., 1986. Ecological impact of an oil spill: utilization of biological indicators. *Wat. Sci. Tech.*, 18, 203-211.

- Gontikaki E., Antoniadou C., Chintiroglou C. C., 2003. Population structure of *Cerastoderma glaucum* and *Abra ovata* in Vouliagmeni lagoon (Attiki). Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 83, 1095-1097.
- Gonzalez J.L., Chiffolleau J.F., Miramand P., Thouvenin B., 1999. Le cadmium: comportement d'un contaminant métallique en estuaire, Programme scientifique Seine Aval, Editions Ifremer, Plouzané, France, 31.
- Gonzalez-Fernandez C., Albentosa M., Campillo J.A., Vinas L., Fumega J., Franco A., Besada V., et al., 2015. Influence of mussel biological variability on pollution biomarkers. Environ. Res., 137, 14-31.
- George S. G., 1980. Correlation of metal accumulation in mussels with the mechanisms of uptake, metabolism and detoxification: a review. Thalassia Jugoslavica, 16, (2-4), 347-365.
- Gosling E.M., 2003. Bivalves molluscs; Biology, Ecology and Culture. Oxford, OX2OEL, Fishing News Books: 443pp.
- Grassé P., 1960. Mollusques Lamellibranches in Traité en Zoologie. Masson et Cie. Paris, 2: 1906-2133.
- Grimes S., 1994. Contribution à la connaissance des populations de *Cardium glaucum* (Bruguère, 1789), *Loripes lacteus* (Linnaeus, 1758) et *Brachydontes marioni* (Locard, 1889) du lac Mellah (El- Kala, Algérie): Écologie et dynamique. Thèse de Magister, ISMAL (Alger), 211pp.
- Guelorget O., Perthuisot J.P., 1983. Le domaine paralique : expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. Travaux du Laboratoire de Géologie, Presses de l'ENS, Paris, 136 pp.
- Guelorget O., Frisoni G.F., Ximenes M.C., Perthuisot J.P., 1989. Expression biologique du confinement dans une lagune méditerranéenne: le lac Mellah (Algérie). Rev. Hydrobiol. Trop., 22(2), 87-99.
- Hamida L., 2004. Etude comparative du cycle de reproduction de la palourde *Ruditapes decussatus* en milieux naturel (Sud Tunisie) et contrôlé (écloserie). Cahiers de Biologie Marine, 45, 291-303.
- Hamza-Chaffai A., 2014. Usefulness of bioindicators and biomarkers in pollution biomonitoring. Int. J. Biotechnol. Wellness Ind., 3, 19-26.
- Hamza-Chaffai A., Pellerin J., Amiard J.C., 2003. Health assessment of marine bivalve *Ruditapes decussatus* from the Gulf of Gabès. Environment International 28, 609-617.

- Hancock D.A., 1967. Growth and mesh selection in the edible cockle (*Cardium edule* L.).  
Journal of Applied Ecology, 4, 137-157.
- Harding J.P., 1949. The use of probability paper for the graphical analysis of polymodal frequency distributions. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 28, 141-53.
- Helm M.M., Bourne N., Lovatelli A. (comp./éd.) 2006. Ecloserie de bivalves. Un manuel pratique. FAO Document technique sur les pêches. No. 471. Rome, FAO:184 pp.
- Huxley J., Teissier G., 1936. Terminology of relative growth rates. Nature, 137, 780-781.
- Iglesias J.I.P., Navarro E., 1990. Shell growth of the cockle *Cerastoderma edule* in the Mundaca estuary (north Spain). Journal of Molluscan Studies, 56, 229-238.
- Jennings J.R., 1979. The effect of cadmium and lead on the growth of two species of Marine phytoplankton with particular reference to the development of tolerance. J. Plankton. Res., 1, 121.
- Jensen K. T., 1992. Dynamics and growth of the cockle, *Cerastoderma edule*, on an intertidal mudflat in the Danish Wadden Sea: effects of submersion time and density. Netherlands Journal of Sea Research, 28, 335-345.
- Jensen K.T., 1993. Density dependant growth in cockles (*Cerastoderma edule*): evidence from interannual comparisons. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 73(2), 333-342.
- Juric I., Bušelić I., Ezgeta-Balić D., Vrgoć N., Peharda M., 2012. Age, growth and condition index of *Venerupis decussata* (Linnaeus, 1758) in the eastern Adriatic Sea. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 12, 613-618.
- Kaimoussi A., Chafik A., Cheggour M., Mouzdahir A., Bakkas S., 2000. Seasonal variations of metal concentrations (Cd, Cu, Zn, Fe and Mn) in mussel *Mytilus galloprovincialis* from El Jadida coastline (Morocco). Mar. Life, 10 (1-2), 77-85.
- Kandeel E.D., 2006. Quantitative Assessment of Gamete Production in Two Commercially Harvested Clams, *Venerupis aurea* and *Tapes decussata* (Bivalvia:Veneridae) in Lake Timsah, Suez Canal, Egypt. CATRINA, 1(1), 41-52.
- Kandeel E.D., 2008. Length-Weight Relationships and Monthly Variations in Body Weights and Condition Indices of Two Clam's Species; *Venerupis aurea* and *Tapes decussata* in Lake Timsah, Egypt. CATRINA, 3(1), 111-124.
- Kandeel E.K., 2016. Population analysis of *Tapes decussata* (Bivalvia: Veneridae) in Lake Timsah, Suez Canal, Egypt. Journal of Advances in Biology, 9 (1), 1776-1788.

- Kandeel E.K., Mohammed S.Z., Mostafa A.M., Abd-Alla M., 2017. Population dynamics of the Cockle *Cerastoderma glaucum*: A comparison between Lake Qarun and Lake Timsah, Egypt. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 17, 945-958.
- Kandeel E.K., Mohammed S.Z., Mostafa A.M., Abd-Alla M.E., 2013. Reproductive biology of the cockle *Cerastoderma glaucum* (Bivalvia:Cardiidae) from Lake Qarun, Egypt. Egyptian Journal of Aquatic Research, 39, 249-260.
- Kandeel K.E., 2006. Quantitative Assessment of Gamete Production in Two Commercially Harvested Clams, *Venerupis aurea* and *Tapes decussata* (Bivalvia:Veneridae) in Lake Timsah, Suez Canal, Egypt. CATRINA, 1 (1), 41-52.
- Karray S., Smaoui-Damak W., Rebai T., Hamza-Chaffai A., 2015. The reproductive cycle, condition index, and glycogen reserves of the cockles *Cerastoderma glaucum* from the Gulf of Gabès (Tunisia). Environ Sci Pollut Res., 22 (22) ,7317-7329.
- Karray S., Tastard E., Moreau B., Delahaut L., Geffard A., Guillon E., Denis F., Hamza-Chaffai A., Chénais B., Marchand J., 2015. Transcriptional response of stress-regulated genes to industrial effluent exposure in the cockle *Cerastoderma glaucum*. Environ. Sci. Pollut. Res., 1-14.
- Kilada R., 2010. Validated age and growth estimates of two clam species in a saltwater lake on the Suez Canal in Egypt. Egypt J. Aquat. Biol. & Fish., 14 (2), 111-126.
- Kingston P.F., 1974. Studies on the reproductive cycles of *Cardium edule* and *C. glaucum*, Mar. Biol., 28 (4), 317-323.
- Kjerfve B., 1994. Coastal Lagoons. In: Coastal Lagoon Processes (ed. Kjerfve B), pp. 1-8. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
- Kryger J., Riisgard H.U., 1988. Filtration rate capacities in 6 species of European freshwater bivalves. Oecologia, 77, 34-38.
- Kucuksezgin F., Kontas A., Altay O., Uluturhan E., Darilmaz E. 2006. Assessment of marine pollution in Izmir Bay: nutrient, heavy metal and total hydrocarbon concentrations. Environment International, 32: 41-51.
- Labourg P.J., Lasserre G., 1980. Dynamique des populations de *Cerastoderma glaucum* dans une lagune a nagé de la région d'Arcachon. Mar. Bio., 60, 147-157.
- Ladhar-Chaabouni R., 2009. Utilisation et mise au point au niveau moléculaire de biomarqueurs pour étudier la répartition spatiale de la contamination au voisinage d'une source de pollution. Thèse de doctorat, Université de Sfax, Tunisie, 153 pp.
- Lagadic L., Caquet T., Amiard J.C, Ramade F., 1998. Utilisation de biomarqueurs pour la surveillance de la qualité de l'environnement. Lavoisier. Paris. 320 pp.

- Lagadic L., Caquet T., Amiard J.C., 1997. Biomarqueurs en écotoxicologie : principes et définitions. Masson, Paris. 367 pp.
- Lane T.W, Morel M.M., 2000. A biological function for cadmium in marine diatoms. Proc. Natl. Acad. Sci. U S A., 97(9), 4627-4631.
- Langston W.J., Spence S.K., 1995. Biological factors involved in metal concentrations observed in aquatic organisms, Environ. Sci. Technol., 26, 407-467.
- Laruelle F. 1999. Phénologie et déterminisme de la reproduction chez *Ruditapes decussatus* (L.) et *R. philippinarum* (Adams et Reeves) en Bretagne. Thèse de Doctorat. Université de Bretagne Occidentale, Brest. 230 pp.
- Lasserre G., Postma H., 1982. Les lagunes côtières. Actes du Symposium International sur les lagunes côtières, 8-14 septembre 1981, Bordeaux, France. Oceanol. Acta, N°SP, 461.
- Leal J.H., 2002. Bivalves. In: K. E. Carpenter (ed.) The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic. Volume 1. Introduction, mollusks, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes and chimaeras. FAO Identification Guide for Fishery Purposes. FAO, Rome, 25-98 pp
- Le Treut Y., 1986. La palourde : anatomie, élevage, pêche, consommation et inspection sanitaire. Thèse de Doctorat. Université Bretagne Occidentale, France, 161pp.
- Leontarakis P.k., Xatzianastasiou L.I., Theodorou J.A., 2008. Biological aspects of the lagoon cockle, *Cerastoderma glaucum* (Poiret 1879), in a coastal lagoon in Keramoti, Greece in the northeastern Mediterranean. Journal of Shellfish Research, 27(5), 1171-1175.
- Lindgarth M., Andre C., Jonsson P.R., 1995. Analysis of the spatial variability in abundance and age structure of two infaunal bivalves, *Cerastoderma edule* and *C. lamarcki*, using hierarchical sampling programs. Marine Ecology Progress Series, 116, 85-97.
- Longshaw M., Malham S.K., 2013. A review of the infectious agents, parasites, pathogens and commensals of European cockles (*Cerastoderma edule* and *C. glaucum*). J. Mar. Biol. Assoc. U. K., 93, 227-247.
- Lorenzen C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments spectrométrie equation. Limnol. oceanogr., 12, 343-346.
- Lubet P., Mann R., 1987. Les différentes modalités de la reproduction chez les mollusques bivalves. Haliotis, 16, 181-195.
- Lubet P., 1991. Reproduction des mollusques. In: Barnabé G (coord.), Bases Biologiques de l'Aquaculture. Tec et Doc, Lavoisier, 167-203.

- Lubet P., 1981. Action de la température sur le cycle de reproduction des lamellibranches. Extrait Bull. Soc. Zool. France, 106 (3), 283-291.
- Lubet, P., 1984. Biologie de la reproduction de mollusques bivalves d'importance commerciale en Méditerranée. Haliotis, 14, 49-68.
- Machreki-Ajmi M., Ketata I., Ladhar-Chaabouni R., Hamza-Chaffai A., 2007. The effect of in situ cadmium contamination on some biomarkers in *Cerastoderma glaucum*. Ecotoxicology, 17, 111.
- Machreki-Ajmi M., Rebai T., Hamza-chaffai A., 2013. Reproductive Strategy in a Littoral Population of the Cockle *Cerastoderma glaucum* from the Gulf of Gabès Area (Southeastern Tunisia). Journal of Shellfish Research, 32 (3), 733-738.
- Machreki-Ajmi M., 2009. Validation des biomarqueurs de pollution chez le mollusque bivalve *Cerastoderma glaucum* issu du golfe de Gabès : Etude in situ et transplantation in vivo. Thèse de Doctorat. Fac. Sci. Sfax, Tunisie, 205 pp.
- Machreki-Ajmi M., Hamza-Chaffai A., 2006. Accumulation of cadmium and lead in *Cerastoderma glaucum* originating from the Gulf of Gabès, Tunisia. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 76, 529-537.
- Machreki-Ajmi M., Hamza-Chaffai A., 2008. Assessment of sediment/water contamination by in vivo transplantation of the cockles *Cerastoderma glaucum* from a non-contaminated to a contaminated area by cadmium. Ecotoxicol. Lond. Engl., 17, 802-810.
- Magni P., Draredja b., Melouah K., Como S., 2015. Patterns of seasonal variation in lagoonal macrozoobenthic assemblages (Mellah lagoon, Algeria). Marine Environmental Research, 109, 168-176.
- Maître-Allain T., 1983. Croissance de deux espèces de palourdes dans l'étang de Thau (Herault, France) en fonction des facteurs hydrologiques. Rapp. Comm. Intern. de la Mer Med., 28, 165-166.
- Malham S.K., Hutchinson T.H., Longshaw M., 2012. A review of the biology of European cockle (*Cerastoderma* spp.). Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 92, 1563-1577.
- Marchand M., Kantin R., 1997. Les métaux traces en milieu aquatique. Océanis, 23(4), 595-629.
- Mariani S., Piccari F., De Matthaeis E., 2002. Shell morphology in *Cerastoderma* spp. (Bivalvia: Cardiidae) and its significance for adaptation to tidal and non-tidal coastal habitats. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 82(3), 483-490.

- Martinez-Castro C., Vazquez E., 2012. Reproductive cycle of the cockle *Cerastoderma edule* (Linnaeus 1758) in the Ria de Vigo (Galicia, northwest Spain). *Journal of Shellfish Research*, 31 (3), 757-767.
- Martoja R., Martoja-Pierson M., 1967. *Initiation aux techniques de l'histologie animale*. Masson, 345 pp.
- Matias D., Joaquim S., Matias A.M., Moura P., de Sousa J.T. , Sobral P., Leitão A., 2013. The reproductive cycle of the European clam *Ruditapes decussatus* (L., 1758) in two Portuguese populations: Implications for management and aquaculture programs. *Aquaculture*, 406-407, 52-61.
- Matozzo V., Marin M.G., 2007. First evidence of altered vitellogenin-like protein levels in clam *Tapes philippinarum* and in cockle *Cerastoderma glaucum* from the Lagoon of Venice. *Mar. Pollut. Bull.*, 55(10-12), 494-504.
- McArthur V.E., 1998. Predation and the survival of juvenile *Cerastoderma glaucum* Bruguière (Mollusca: Bivalvia) in a coastal lagoon. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 225, 79-97.
- Melouah K., Draredja B., Beldi H., 2014. Dynamique de la coque *Cerastoderma glaucum* (Mollusca, Bivalvia) dans la lagune Mellah (Algérie Nord-Est). *Revue des Sciences et de la Technologie. Synthèse*, 28, 34-45.
- Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques (MRRH), 2011. *Statistiques des pêches*. Alger, Algerie.
- Mohammad S.H. , Belal A.A., El-Agroudy N.A., 2009. A Study on *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789) As a Biomonitor Aspect of Oil Pollution in Lake Timsah, Suez Canal, Egypt. *CATRINA*, 4 (1), 21-30.
- Mohammad S.H., Belal A.A., Hassan S.S.Z., 2014. Growth, age and reproduction of commercially clams *Venerupis aurea* and *Ruditapes decussatus* in Timsah Lake, Suez Canal, Egypt. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 43(4), 589-600.
- Mohammad S.H., 2002. *Ecological and biological studies on the bivalves Cerastoderma glaucum and Papyridea papyraca in Lake Timsah, Suez Canal*. Thèse de doctorat, Suez Canal University, Egypte, 258 pp.
- Mohammad S.H., Mohallal M.E., Mohammed S.Z., Attia M.N., 2006. Age and growth of the cockles *Cerastoderma glaucum* and *Papyridea papyraca* in Lake Timsah, Suez Canal. *Catrina*, 1, 25-32.

- Montaudouin X., Bachelet G., 1996. Experimental evidence of complex interactions between biotic and abiotic factors in the dynamics of an intertidal population of the bivalve *Cerastoderma edule*. *Oceanologica acta*, 19, 449-464.
- Moreira R., Balseiro P., Romero A., Dios S., Posada D., Novoa B., Figueras A., 2012. Gene expression analysis in *Ruditapes philippinarum* and *Ruditapes decussatus* following bacterial infection yields molecular insights into pathogen resistance and immunity. *Developmental and comparative immunology*, 36(1),140-149.
- Müller Y., 2016. Reconnaître les principaux bivalves fouisseurs ou foreurs au moyen de leurs siphons. *Port Vivant*, 81pp.
- Murren C.J., Auld J.R., Callahan H., Ghalambor C.K., Handelsman C.A., Heskell M.A., Kingsolver J.G., et al., 2015. Constraints on the evolution of phenotypic plasticity: limits and costs of phenotype and plasticity. *Heredity*, 115, 293-301.
- Navarro E., Iglesias J.I.P., Larranaga A., 1989. Interannual variation in the reproductive cycle and biochemical composition of the cockle *Cerastoderma edule* from Mundaca Estuary (Biscay, North Spain). *Mar. Biol.*, 101, 503-511.
- Newell R.I.E., 2004. Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension - feeding bivalve molluscs: a review. *Journal of Shellfish Research*, 23, 51-61.
- Newell R.I.E., Hilbish T.J., Koehn R.K., Newell C.J., 1982. Temporal variation in the reproductive cycle of *Mytilus edulis* L. (Bivalvia, Mytilidae) from localities on the east coast of the United States. *Biol. Bull.*, 162, 299-310.
- Nixon S.W., 1982. Nutrient dynamics, primary production and fisheries yields of lagoons. *Actes du Symposium International sur les lagunes côtières*, 8-14 septembre 1981, Bordeaux, France. *Oceanol. Acta.*, N°SP, 357-371.
- Norkko A., Hewitt J.E., Thrush S.F., Funnell G. A., 2006. Conditional outcomes of facilitation by a habitat - modifying subtidal bivalve. *Ecology*, 87,226-234.
- Ojea J., Pazos A.J., Martinez D., Novoa S., Sanchez J.L., Abad M., 2004. Seasonal variation in weight and biochemical composition of the tissues of *Ruditapes decussatus* in relation to the gamete to genic cycle. *Aquaculture*, 238, 451-468.
- Okumus I., Stirling H.P., 1998. Seasonal variations in the meat weight, condition index and biochemical composition of mussels (*Mytilus edulis* L.) in suspended culture in two Scottish area lochs, *Aquaculture*, 159 (3-4), 249-261.
- OMS-IPCS, 1998. Environmental Health Criteria n°200: copper, World Health Organisation, International Programme on chemical safety.

- Ouro-Sama K., Solitoke H., Gnandi K., Afiademanyo K., Bowessidjaou E., 2014. Évaluation et risques sanitaires de la bioaccumulation de métaux lourds chez des espèces halieutiques du système lagunaire togolais. *Vertigo*, 14(2), 1-18.
- Paez-Osuna F., Frias- Espericueta M.G, Osuna-Lopez J.I., 1995. Trace metal concentrations in relation to season and gonadal maturation in the oyster *Crassostrea iridescens*, *Mar. Envir. Res.*, 40, 19-31.
- Parache A., 1982. La palourde. *La Pêche Maritime*, 1254, 496-507.
- Parada J.M., Molares J., 2008. Natural mortality of the cockle *Cerastoderma edule* (L.) from the Ria of Arousa (NW Spain) intertidal zone. *Rev. De. Biol. Mar. Y Oceanogr.*, 43, 501-511.
- Park K.I., Choi K.S., 2004. Application of enzyme-linked immunosorbent assay for studying of reproduction in the Manila clam *Ruditapes philippinarum* (Mollusca: Bivalvia): I. Quantifying eggs. *Aquaculture*, 241, 667-687.
- Park K.Y., Oh C.W., 2002. Length-weight relationships of bivalves from coastal waters of Korea. *Naga, the ICLARM Quarterly*, 25(1), 21-22.
- Pato C.A.F., 1979. Données pour l'application des modèles de production à l'étude d'une population de *Venerupis decussata* (L.) exploitée dans la Baie de Santander (nord de l'Espagne). *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 175, 30-33.
- Pauly D., Munro J.L., 1984. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrate. *Fishbyte*, 2, 21.
- Pauly D., 1983. Length-converted catch curves: A powerful tool for fisheries research in the tropics (part I). *Fishbyte*, 1, 9-13.
- Perez-Camacho A., Román G., 1984. Crecimiento, reproducción, mortalidad y producción del berberecho *Cerastoderma edule* (L.), en la Ría de Arousa. *Cuad. Area Cienc. Mariñ. Sem. Est. Gal.*, 499-507.
- Perez-Camacho A., Delgado M., Fernandez-Reiriz U., Labarta M.J., 2003. Energy balance, gonad development and biochemical composition in the clam *Ruditapes decussatus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 25, (8), 133-145.
- Periera J.C., Chaves R., Leitao A., Matias D., Guedes-Pinto H., 2011. Genetic analysis of two Portuguese populations of *Ruditapes decussatus* by RAPD profiling. *Helgoland Marine Research*, 65, 361-367.
- Poppe G.T., Goto Y., 1991. *European Seashells. Volume I (Polyplacophora, Caudofoveata, Solenogastrea, Gastropoda)*. Hemmen V.C., (Ed.), Germany, Wiesbaden. 352 pp.

- Poutier J.M., 1987. Bivalves : 371-512 in Fisher W., Schneider M. & Bouchot M.L. 1987. Fiches d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Méditerranée et mer Noire. Vol. 1 Végétaux et Invertébrés. FAO, Rome, 760 pp.
- Price N. M., Morel M.M., 1990. Cadmium and cobalt substitution for zinc in a marine diatom. *Nature*, 344, 658-660.
- Rainbow P.S., Fialkowski W.A., Sokolowski B., Smith D., Wolowicz M., 2004. Geographical and seasonal variation of trace metal bioavailabilities in the Gulf of Gdansk, Baltic Sea using mussels (*Mytilus trossulus*) and barnacles (*Balanus improvisus*) as biomonitors. *Mar. Biol.*, 144, 271-286.
- Ramade F., 2007. Introduction à l'écotoxicologie : fondements et applications. Lavoisier, Paris. 618 pp.
- Ramon M., 2003. Population dynamics and secondary production of the cockle *Cerastoderma edule* (L.) in backbarrier tidal flat of the Wadden. *Sea. Sci.Mar.*, 67(4), 429-443.
- Refes W., 1994. Contribution à la connaissance de la population de *Ruditapes decussata* (Linnaeus, 1758) du lac Mellah (El-Kala, Algérie) : écologie, reproduction, dynamique des populations et exploitation. Thèse Magister, ISMAL, Alger, 197 pp.
- Reice S.R., Wohlenberg M., 1993. Monitoring freshwater benthic macroinvertebrates and benthic processes: measures for assessment of ecosystem health. pp. 287-305 in D. M. Rosenberg, and V. H. Resh, eds. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman and Hall, New York, NY.
- Ruiz C., Abad M., Sedano F., Garcia-Martin L.O., Sanchez Lopez J.L., 1992. Influence of seasonal environmental changes on the gamete production and biochemical composition of *Crassostrea gigas* (Thunberg) in suspended culture in El Grove, Galicia, Spain. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 155, 249-262.
- Rygg B., 1970. Studies on *Cerastoderma edule* (L.) and *Cerastoderma glaucum* (Poiret). *Sarsia*, 4, 65-80.
- Sara G., 2007. Sedimentary and particulate organic matter: mixed sources for cockle *Cerastoderma glaucum* in a shallow pond, Western Mediterranean. *Aquatic Living Resources*, 20, 271-277.
- Semroud R., 1983. Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens : le lac Mellah (El-Kala, Algérie). Thèse 3ème Cycle, USTHB, Alger, 137 pp.
- Serdar S., Lök A., Kirtik A., Acarli S., Küçükdermenci A., Güler M., Yiğitkurt S., 2010. Comparison of gonadal development of carpet shell clam (*Tapes decussatus* Linnaeus,

- 1758) in inside and outside of Çakalburnu Lagoon, Izmir Bay. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 10, 395-401.
- Shafee M.S., Daoudi M., 1991. Gametogenesis and spawning in the carpet-shell clam, *Ruditapes decussatus* (L.) (Mollusca: Bivalvia), from the Atlantic coast of Morocco. Aquaculture Research, 22, 203-216.
- Smaal A.C., Vonck A.P.M.A., Bakker M., 1997. Seasonal variation in physiological energetics of *Mytilus edulis* and *Cerastoderma edule* of different size classes. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 77, 817-838.
- Stellio C., 2005. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces " Hg, Cd, Pb, Zn et Cu" chez la moule *Mytilus galloprovincialis* en milieu Méditerranéen, Thèse Doctorat, 356 pp.
- Stirling H.P., Okumus T., 1994. Growth, mortality and shell morphology of cultivated mussel *Mytilus edulis* stocks cross-planted between two Scottish sea lochs. Marine Biology, 119, 115-124.
- Stora G., Gilbert F., Duport E., Picon P., 2004, The dynamics of macrobenthic populations in the central and coastal parts of the Berre Lagoon. Report, GIPREB, COM, Univ. Méditerranée, France, 19 pp.
- Szefer P., Wolowicz M., 1993. Occurrence of metal in the cockle (*Cerastoderma glaucum*) from different geographical regions in view of principal component analysis. Mar Poll., 64, 253-246.
- Tagliapietra D., Aloui-Bejaoui N., Bellafiore D., De Wit R., Ferrarin C., Gamito S., et al., 2011. The ecological implications of climate change on the Lagoon of Venice. In: The Future of Venice and its Lagoon in the Context of Global Change. UNESCO Report N. 2 Scientific Workshop, 26-27 May 2011. UNESCO Venice Office, Venice, Italy, 45p.
- Taleb M. Z, Boutiba Z., 2007. La moule *Mytilus galloprovincialis*: bioindicateur de pollution marine – cas du port d'Oran. Sciences & Technologie, 25, 59-64.
- Tarnowska K., 2010. Genetic structure and physiological variation of a widespread European lagoon specialist *Cerastoderma glaucum* (Bivalvia) living in extreme environmental conditions. Thèse de Doctorat Universités: Méditerranée (France) & Gdansk (Pologne), 138 pp.
- Tarnowska K., Wołowicz M., Chenuil A., Féral J.P., 2009. Comparative study on the morphometry and physiology of the European populations of the lagoon specialist *Cerastoderma glaucum* (Bivalvia). Oceanologia, 51(3), 437-458.

- Trigui-El Menif N., 1995. La palourde *Ruditapes decussatus* des côtes tunisiennes : biométrie, reproduction et impact de l'environnement sur la bioaccumulation en métaux traces. Thèse de Doctorat, Université de Tunis II, 261 pp.
- Trigui-El Menif N., Le Pennec M., Maamouri F., 1995. La reproduction de la palourde *Ruditapes decussatus* (Mollusque, Bivalve) sur les côtes tunisiennes. *Vie Marine* 5, 35-42.
- Trotta P., Cordisco C.A., 1998. Gonadal maturation, conditioning, and spawning in the laboratory and maturation cycle in the wild of *Cerastoderma glaucum*. *J. Shellfish Res.*, 17, 919-923.
- Urrutia M.B., Ibarrola I., Iglesias J.I.P., Navarro E., 1999. Energetics of growth and reproduction in high-tidal population of the clam *Ruditapes decussatus* from Urdaibai Estuary (Basque Country, N. Spain). *Journal of Sea Research*, 42, 35-48.
- Utting S.D., 1986. A preliminary study on growth of *Crassostrea gigas* larvae and spat in relation to dietary protein. *Aquaculture*, 56, 123-138.
- Velez C., Figueira E., Soares A., Freitas R., 2015a. Spatial distribution and bioaccumulation patterns in three clam populations from a low contaminated ecosystem. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 155, 114-125.
- Velez C., Galvão P., Longo R., Malm O., Soares A.M.V.M., Figueira E., Freitas R., 2015b. *Ruditapes philippinarum* and *Ruditapes decussatus* under Hg environmental contamination. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 1-15.
- Velez C., Pires A., Sampaio L., Cardoso P., Moreira A., Leandro S., Figueira E., Soares A., Freitas R., 2016. The use of *Cerastoderma glaucum* as a sentinel and bioindicator species: Take-home message. *Ecological Indicators*, 62, 228-241
- Viarengo A., 1989. Heavy metals in marine invertebrates: mechanisms of regulation and toxicity at the cellular level. *Aquat. Sci.*, 1, 295-317.
- Viarengo A., Lowe D., Bolognesi C., Fabbri E., Koehler A., 2007. The use of biomarkers in biomonitoring: a 2-tier approach assessing the level of pollutant-induced stress syndrome in sentinel organisms. *Comp. Biochem. Physiol.*, 146, 281-300.
- Viarengo A., Nott J.A., 1993. Mechanisms of heavy metal cation homeostasis in marine invertebrates. *Comp. Biochem. Physiol. C.*, 104, 355-372.
- Viarengo A., Ponzano E., Dondero F., Fabbri R., 1997. A simple spectrophotometric method for metallothionein evaluation in marine organisms: an application to Mediterranean and Antarctic molluscs. *Mar. Environ. Res.*, 44, 69-84.

- Von Bertalanffy L., 1938. A Quantitative theory of organic growth. *Hum. Biol.*, 10 (2), 181-213.
- Walne P.R., 1976. Experiments on the culture in the sea of the butterfish *Venerupis decussata* L. *Aquaculture*, 8, 371-381.
- Wang W.X., Fisher N.S. 1996. Assimilation of trace metal elements and carbon by the mussel *Mytilus edulis*: effects of food composition. *Limnol. Oceanogr.*, 41, 2, 197-207.
- Wegeberg A.M., Jensen K.T., 2003. In situ growth of juvenile cockles, *Cerastoderma edule*, experimentally infected with larval trematodes (*Himasthla interrupta*). *Journal of Sea Research*, 50, 37-43.
- Widdows J., 1978. Combined effects of body size, food concentration and season on the physiology of *Mytilus edulis*. *J. Mar. Biol. Ass.*, 58, 105-124.
- Wolowicz M., 1984. *Cardium glaucum* (Poiret, 1789) population from Gdansk Bay (Baltic Sea). *Polskie Archiwum Hydrobiologii*, 31, 33-44.
- Wolowicz M., 1987. A comparative study of a reproductive cycle of cockles *Cardium glaucum* (Poiret, 1789) and *C. hauniense* (Petersen, Russell 1971) (Bivalvia), from the Gdansk Bay. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 34, 91-105.
- Wong W.H., Cheung S.G., 2001. Feeding rates and scope for growth of green mussels, *Perna viridis* (L.) and their relationship with food availability in Kat O, Hong Kong, *Aquaculture*, 193 (1-2), 123-137.
- Zaouali J., 1974. Les peuplements malacologiques dans les biocoenoses lagunaires tunisiennes. Etude de l'espèce pionnière *Cerastoderma glaucum* Poiret. Thèse de Doctorat, Université de Caen, France, 345 pp.
- Zaouali J., 1975. Etude du cycle sexuel de *Cerastoderma glaucum* dans les deux lagunes hyperhalines tunisiennes : lac de Tunis et mer de Bou Ghrara. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, 23, 79-80

# **Annexes**

**Article 1- publié dans**  
**International Journal of Biosciences (IJB)**

**“Age, growth, mortality and condition index of an  
unexploited *Ruditapes decussatus* population from El  
Mellah lagoon Algeria”**

**Bensaâd-Bendjedid L., Belhaoues S., Kerdoussi A.,  
Djebbari N., Tahri M., Bensouillah M.**



## RESEARCH PAPER

## OPEN ACCESS

## Age, growth, mortality and condition index of an unexploited *Ruditapes decussatus* population from El Mellah lagoon Algeria

Lamia Bensaad-Bendjedid\*, Saber Belhaouas, Asma Kerdoussi, Naoual Djebbari, Mardja Tahri, Mourad Bensouillah

*Laboratory of Ecobiology for Marine Environment and Coastlines, Faculty of Science, Badji Mokhtar University, Annaba, Algeria*

**Key words:** *Ruditapes decussatus*, El Mellah lagoon, Growth, Condition index, Algeria

<http://dx.doi.org/10.12692/ijb/11.1.436-442>

Article published on July 31, 2017

### Abstract

Between May 2016 and April 2017, *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758) population from El Mellah lagoon was investigated to collect information about several biological parameters before it upcoming re-operating after 13 years of discontinued exploitation. Total length ranged from 22.15 to 62.53 mm, while weight varied between 2.16 and 46.83g. The allometric relationships between body sizes and length were determined; the length-weight one indicated an isometric growth and expressed as  $TW = 0.0002 SL^{2.9853}$ . The age was ranged from the first to the sixth, individuals 2 to 4 years old dominated the population; von Bertalanffy growth parameters were undertaken using the software recommended by FAO (FISAT II, VONBIT for Excel) and estimated to  $K=0.38 \text{ year}^{-1}$  and  $L_{\infty}= 63.924 \text{ mm}$ . The longevity ( $t_{max}$ ), the growth performance index ( $\Phi'$ ) and mortality rate ( $Z$ ) were 7.81 years, 3.61 and  $0.65 \text{ year}^{-1}$ , respectively. Condition Index was monthly determined for this population as a tool to identify optimal and sustainable harvesting periods which correspond to the period between October and January.

\* **Corresponding Author:** Bensaad-Bendjedid Lamia ✉ [lamiabendjedid@gmail.com](mailto:lamiabendjedid@gmail.com)

## Introduction

*Ruditapes decussatus* is widely distributed species; the habitat of this venerid clam ranges from North Atlantic coasts to Congo and the Mediterranean; in Algeria, the only coastal lagoon El Mellah supports a natural bed of this valuable species (Bakalem & Romano, 1979; Refes, 1994) which have been extensively exploited from 1980 to 1999; however from the beginning of 2000s a gradual disappearance of this population was noted inducing the interruption of fishing activities from 2004 (MPRH, 2011), but since 2015, *Ruditapes decussatus* come back on El Mellah's shores and the return to its operation is imminent.

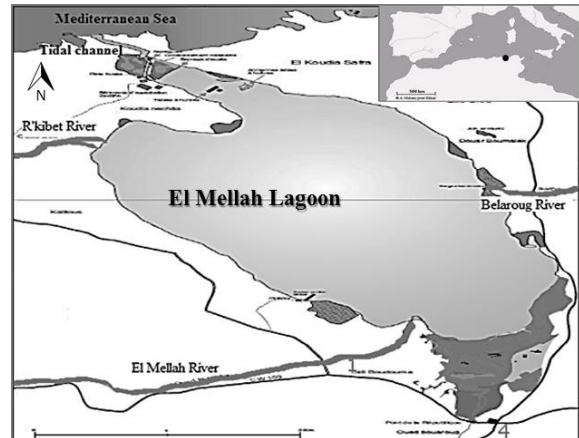
To avoid a further stock decline, a future exploitation needs to be planned and a proper study on *R. decussatus* from El Mellah lagoon should be carried out first, but while there are numerous researches on ichthyofauna, benthic macrofauna, diversity and biomass of El Mellah lagoon (Semroud, 1983; Grimes, 1994; Draredja, 2005; Chaoui *et al.*, 2006; Draredja *et al.*, 2012), only one deals with ecology and biology of *Ruditapes decussatus* (Refes, 1994) although the knowledge of the both is considered essential for dynamic, management and conservation of marine bivalves populations.

The overall goal of the present study is to update information and provide new data about some population parameters of *R. decussatus* from El Mellah lagoon by estimating: age, growth, mortality, performance index, longevity and condition index as a preliminary basis and a suitable guide for a sustainable management of this natural resource.

## Materials and methods

### Study Site

El Mellah lagoon is located in the extreme eastern of Algerian coasts (36°54' N – 8°20' E) near the Algerian- Tunisian border (Fig. 1); it covers an area of 865 ha and communicates with the sea by a long and narrow channel of 900 m; temperature and salinity vary respectively between 11.40-30.50°C and 15.90-37.10 psu (Draredja *et al.*, 2012).



**Fig. 1.** Geographical location of El Mellah lagoon.

### Sampling and laboratory procedure

From May 2016 to April 2017, the clams were monthly sampled at a mean water depth of 40 cm by hand or using a clam rake, and then transferred to the laboratory for processing. Shell length (SL, mm, maximum anteroposterior distance considered as reference length), shell height (SH, mm, maximum distance from hinge to ventral margin), shell width (SW, mm, maximum distance between the closed shell valves), were measured with Vernier caliper ( $\pm 0.01$  mm). Total wet weight (TW, g), shell weight (sW, g), tissue wet weight (tWW, g) were also measured using an analytical balance sensitive to 0.01 g.

### Relative growth

The morphometric relationships between shell dimensions and shell length with weights were investigated using the allometric equation:

$$Y = a X^b$$

This equation can be expressed in the logarithmic form:

$$\text{Log } Y = \text{Log } a + b \text{ Log } X$$

Where "Y" is the dependent variable, "X" the independent variable, "a" the intercept of the regression line, the allometry coefficient "b" (the slope) expresses the type of allometry which depends if the two variables (X, Y) have the same units of measurement (isometric:  $b = 1$ , negative allometric:  $b < 1$ , positive allometric:  $b > 1$ ); or different ones (isometric:  $b = 3$ , negative allometric:  $b < 3$ , positive allometric:  $b > 3$ ).

### Age and absolute growth

**Length-Frequency Distributions:** In order to estimate age, the Bhattacharya's method (Bhattacharya, 1967) available in the fish-stock assessment tool FISAT II 1.2 (Gayanilo *et al.*, 2005) was used, for that purpose clams were grouped into shell length classes and divided into cohorts at 2 mm intervals.

**The von Bertalanffy Growth Parameters:** asymptotic length ( $L_{\infty}$  mm) and growth coefficient ( $K$ ,  $\text{yr}^{-1}$ ) of the von Bertalanffy growth function (VBGF) (1938)  $L_t = L_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})$ , were obtained by using FISAT II and the software package VONBIT for Excel ([www.fao.org/fishery/topic/16078/en](http://www.fao.org/fishery/topic/16078/en)), the growth performance index  $\Phi'$  was determined according to the equation:  $\Phi' = \log_{10} K + 2 \log_{10} L_{\infty}$ . Pauly and Munro (1984), this index enables a meaningful comparison of growth performances of *Ruditapes decussatus* at different sites sampling.

The theoretical maximum age ( $t_{\max}$ ) was calculated as:  $t_{\max} = (3/k) + t_0$  (Gayanilo and Pauly, 1997; Scalici *et al.*, 2015).

**Mortality rate:** Mortality is an important aspect in the dynamic population of bivalves, indeed total mortality coefficient  $Z$  ( $\text{year}^{-1}$ ), is composed of two components: natural mortality ( $M$   $\text{year}^{-1}$ ); due to predation, disease, cannibalism, competition, etc..., and fisheries mortality ( $F$   $\text{year}^{-1}$ ), due to fishing activities,  $Z = M + F$ . Mortality is estimated from the slope of the right descending arm of a length-converted catch curve (Pauly, 1983) using FiSAT II which outputs  $Z$   $\text{year}^{-1}$  as well as the 95% confidence intervals surrounding  $Z$  based on the goodness of fit of the regression.

In cases where there is no fishing pressure on a species as it's the case for *Ruditapes decussatus* from El Mellah lagoon, it can be assumed that  $Z=M$  (i.e.  $F = 0$ ).

### Condition index

For the determination of the condition index (CI), 15 individuals ranging from 30-45 mm were taken randomly from each monthly sample, the CI proposed

by Walne 1976, was applied: (tissue dry weight (tDW, g)/shell dry weight (sDW, g)) \*100). tDW and sDW were obtained by oven drying at 80°C for 24 h.

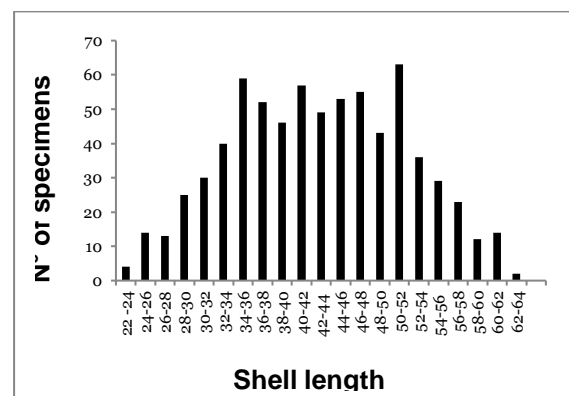
## Results

### Population structure

Data on descriptive statistics size variables of *Ruditapes decussatus* from El Mellah lagoon is given in Table 1, the majority of this population (71.81 %) is part of the size classes included between 32 to 52 mm (Fig. 2), while the smallest (22-26 mm) and the largest (58-64 mm) ones, are the less represented with respectively only 2.5% and 3.89% from the entire sampling.

**Table 1.** Size parameters and descriptive statistics of *R. decussatus* from El Mellah lagoon (n: number of individuals, SE: standard error of mean values).

Size Parameters	n	Mean $\pm$ SE	Size range
SL	720	42.34 $\pm$ 0.33	22.15-62.53
SH	707	35.34 $\pm$ 0.28	19.2-55.34
SW	707	18.35 $\pm$ 0.15	10-28.44
TW	720	16.06 $\pm$ 0.36	2.16- 46.83
sW	504	9.40 $\pm$ 0.21	1.96-28.1
tWW	504	4.73 $\pm$ 0.10	1.29-12.62



**Fig. 2.** Size-frequency distributions of *R. decussatus* from EL Mellah lagoon.

### Relative growth

Biometric data of *Ruditapes decussatus* from El Mellah lagoon (Table 2) showed a strong significant correlation between shell length/other dimensions and shell length/weights ( $R^2 \geq 0.91$ ;  $P < 0.001$ ); indeed the morphometric relationships between shell length/shell height and shell length/shell width reflected a negative allometry as well as the

relationship between tissue wet weight against shell length; however, a positive allometric growth was identified in the relationship between shell length and shell weight while an isometric one was recorded in the relation: shell length/ total weight.

**Table 2.** Length-lengths and length - weights relationships of *R. decussatus* from El Mellah Lagoon (n: number of pairs of values, R<sup>2</sup>: determination coefficient, P<0.001 for all regressions).

Y	X	a	b	R <sup>2</sup>	n	Allometry
SH	SL	-0.6365	0.8428	0.97	707	allometric -
SW	SL	-0.1944	0.4351	0.94	707	allometric -
TW	SL	0.0002	2.9853	0.98	720	isometric
sW	SL	0.00006	3.0981	0.96	504	allometric +
t WW	SL	0.0001	2.7439	0.91	504	allometric -

*Age, absolute growth and mortality rate*

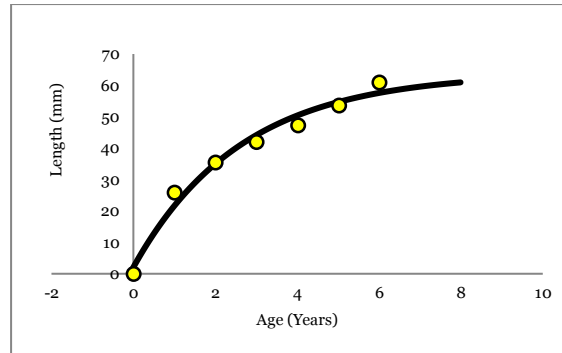
The application of Bhattacharya’s method brings out six cohorts; data on the estimated mean length at age is disclosed in the table 3; it is noteworthy that *Ruditapes decussatus* from El Mellah lagoon presents a rapid growth during the first year of life with a data value of 25.89 ± 1.74, then declines during subsequent years; the majority of specimens (74.05 %) were recorded in age range 2 to 4.

**Table 3.** Mean length at age using Bhattacharya’s method (FISAT II 1.2.0) of *R. decussatus* of El Mellah lagoon. (CM: computed mean ± standard deviation, n: number of individuals).

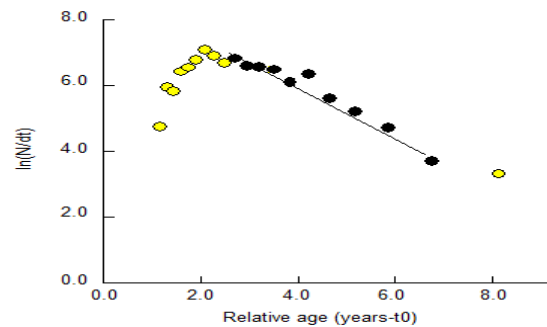
Age (year)	CM (mm)	n	%	Growth rate
1	25.89 ± 1.74	31	5.06	9.62
2	35.51 ± 2.79	151	24.63	6.45
3	41.96 ± 2.02	152	24.79	5.38
4	47.34 ± 2.56	151	24.63	6.32
5	53.66 ± 3.82	100	16.31	7.36
6	61.02 ± 0.81	28	4.56	-

Based on the age-length key the VBGF (Fig. 3) describing the growth of *R. decussatus* was estimated as:  $L_t = 63.924 (1 - e^{-0.38(t + 0.086)})$ , growth performance index ( $\Phi'$ ) and theoretical maximum age ( $t_{max}$ ) were 3.61 and 7.81 years respectively.

The length-converted catch curve analysis (fig. 4) using  $L_{\infty} = 63.924$  mm and  $K = 0.38$  yr<sup>-1</sup>, showed a low rate mortality:  $Z = 0.61$ (confidence interval CI= 0.47-0.75).



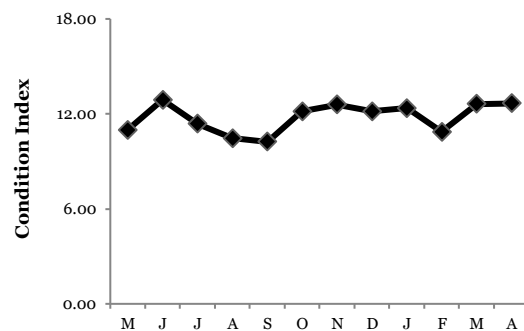
**Fig. 3.** Von Bertalanffy growth curve of *R. decussatus* from El Mellah lagoon.



**Fig. 4.** Length-converted catch curve of *R. decussatus* from El Mellah lagoon.

*Condition index*

CI of *Ruditapes decussatus* from El Mellah lagoon showed temporal variations (Fig. 5), the highest value was recorded during June (12.89) then decreased sharply in the following months until September when CI reaches its minimum value (10.23), an increasing in the CI level was observed between October and January, then CI declined 12.07% in February to reach a value of 10.86.



**Fig. 5.** Monthly variations in condition index (CI) of *R. decussatus* from El Mellah Lagoon (May 2016 to April 2017).

## Discussion

The present study analyzed some population parameters of *Ruditapes decussatus* from El Mellah lagoon as a baseline for sustainable stock management before it upcoming back into operation after more than 10 years of discontinuation, subsequently to the almost complete disappearance of this population following an irrational exploitation.

The biometric characteristics of *Ruditapes decussatus* shell form revealed a negative allometries between shell length/shell height and shell length/shell width, suggesting that the shell form was elongated and narrow, similar results were observed in Egypt (Mohammad *et al.*, 2014), in Tunisia and Italy (Costa *et al.*, 2008). These authors suggested that this shape form was related to the improvement of the burrowing efficiency in order to avoid dislodgement by hydrodynamics and predation. Indeed generally, variations in allometry of bivalves have been associated with latitude, species, physiological traits and local environmental conditions (Beukema and Meehan, 1985; Stirling and Okumus, 1994; Gosling, 2003; Caill-Milly *et al.*, 2012). An isometric allometry was noted between shell length and total weight revealing a homogeneous growth between size and weight, Kandeel (2008) and Gaspar *et al.* (2001) report similar observations respectively for *Ruditapes decussatus* from Lake Timsah (Egypt) and 11 bivalve species from Algarve coast (Portugal).

The VBGF parameters  $L_{\infty}$  and  $K$  obtained using length–frequency distribution were 63.924 mm and  $0.38 \text{ y}^{-1}$  respectively. Comparing our data with those of previous studies in various Mediterranean regions, it appears that it's close to that it was recorded in the Gulf of Fos, France (Garcia 1993) but remain lower than the values obtained in Araxos lagoon, Greece (Chryssanthakopoulou and Kaspiris, 2005). However, growth performance index ( $\Phi'$ ) displayed the greatest value (3.61); this is probably related to the favorable environmental conditions (mainly temperature and food availability) on the growth of *Ruditapes decussatus* population of El Mellah lagoon.

Regarding the low mortality rate registered ( $Z=0.61 \text{ y}^{-1}$ ), it can be only related to natural causes (aging, pathogens, predation, environmental conditions, ...) as there is not yet fishery for *R. decussatus* from El Mellah lagoon, however according to Aranguren *et al.* (2014) mortality rates in *Ruditapes* populations, especially in natural beds may results from a complex synergy of biotic and abiotic factors.

Condition index analysis have provided preliminary database on the reproduction cycle of the *Ruditapes decussatus* population of the El Mellah lagoon, indeed if we refer to several authors (Beninger and Lucas, 1984; Lucas and Beninger, 1985; Laruelle *et al.*, 1994; Ojea *et al.*, 2004) who agree that sharp falls of the CI values correspond to a spawning events, we can assume that this population presented three periods of gamete release; two partial emissions in February and May, and a main one from June to September (a histological study not yet published confirms these results). Our results are similar to those obtained in *R. decussatus* population from Gulf of Gabès, Tunisia (Trigui-El Menif, 1995), moreover in bivalves, the number of spawning and the duration of breeding season were often be related to temperature as it has a positive effect on those both physiological events (Lubet, 1970; Partridge, 1977; Laruelle *et al.*, 1994); on the other hand, the highest condition index values were recorded between October and January revealing the best period to harvesting *Ruditapes decussatus* of El Mellah lagoon.

In conclusion, the results obtained in this study may contribute initially to put in place a sustainable and profitable exploitation and then to consider the possibility to farm this population.

## References

- Aranguren R, Gomez-León J, Balseiro P, Costa MM, Novoa B, Figueras A.** 2014. Abnormal mortalities of the carpet shell clam *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1756) in natural bed populations: a practical approach. *Aquaculture Research* **45**, 1303-1310.
- Bakalem A, Romano JC.** 1979. Les peuplements benthiques du lac Mellah. Rapport de la mission sur le lac Mellah, Rapport du Centre de Recherche Océanographique et de la Pêche (CROP) 13-22.

- Beninger PG, Lucas A.** 1984. Seasonal variations in condition, reproductive activity, and gross biochemical composition of two species of adult clam reared in a common habitat: *Tapes Decussatus* L. (Jeffreys) and *Tapes philippinarum* (Adam & Reeves). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **79**, 19-37.
- Bhattacharya CG,** 1967. A sample method of resolution of a distribution into Gaussian components. Biometrics **23**, 115- 135.
- Bertalanffy L, Von.** 1938. A quantitative theory of organic growth. Human Biology **10**, 181-213.
- Beukema JJ, Meehan BW.** 1985. Latitudinal variation in linear growth and other shell characteristics of *Macoma balthica*. Marine Biology **90**, 27-33.
- Caill-Milly N, Bru B, Mahé K, Borie C, D'Amico F.** 2012. Allometry Shell Shape Analysis and Spatial Allometry Patterns of Manila Clam (*Ruditapes philippinarum*) in a Mesotidal Coastal Lagoon. Journal of Marine Biology **2012** (ID 281206), 1-11.
- Chaoui L, Kara H, Faure E, Quignard JP.** 2006. L'ichtyofaune de la lagune du Mellah (Algérie Nord-Est): diversité, production et analyse des captures commerciales. Cybium **30**, 123-132.
- Chryssanthakopoulou V, Kaspiris P.** 2005. Reproductive cycle of the carpet shell clam *Ruditapes decussatus* (Linnaeus 1758) in Araxos lagoon (NW Peloponnisos, Greece) and in Evinos estuary (South Aitolokarnania, Greece). Fresenius Environmental Bulletin **14 (11)**, 999-1005.
- Costa C, Aguzzi J, Menesatti P, Antonucci F, Rimatori V, Mattoccia M.** 2008. Shape analysis of different populations of clams in relation to their geographical structure. Journal of Zoology **276**, 71-80.
- Draredja B, Melouah K, Beldi H, Benmarce S.** 2012. Diversité de la macrofaune benthique de la lagune mellah (Parc National d'El-Kala, Algérie nord-est). Bulletin de la Société zoologique de France **137(1-4)**, 73-86.
- Draredja B.** 2005. Structure et organisation de la macrofaune benthique de la lagune Mellah (Méditerranée Sud-Occidentale, Algérie). Journal de Recherche Océanographique **30 (1-2)**, 24-33.
- Garcia F.** 1993. Interprétation des stries valvaires pour l'évaluation de la croissance de *Ruditapes decussatus* L. Oceanologica Acta **16**, 199-203.
- Gaspar MB, Santos MN, Vasconcelos P.** 2001. Weight-length relationships of 25 bivalve species (Mollusca: Bivalvia) from the Algarve coast (southern Portugal). Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom **81**, 805-807.
- Gayanilo FC, Sparre P, Pauly D.** 2005. FAO-ICLARM stock assessment tools II (FiSAT II). Revised version. User's guide. FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. 8, revised version. FAO, Rome.
- Gayanilo FC, Pauly D.** 1997. FAO-ICLARM stock assessment tools (FiSAT) reference manual. FAO Computerized Information Series (Fisheries) No. 8. Rome: FAO, 262 pp.
- Gosling EM.** 2003. Bivalves molluscs; Biology, Ecology and Culture. Oxford, OX2OEL, Fishing News Books: 443pp.
- Grimes S.** 1994. Contribution à la connaissance des populations de *Cardium glaucum* (Bruguière, 1789), *Loripes lacteus* (Linnaeus, 1758) et *Brachydontes marioni* (Locard, 1889) du lac Mellah (El-Kala, Algérie): Écologie et dynamique. Thèse de Magister, Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral Alger, Algérie, 211 pp.
- Kandeel KE.** 2008. Length-weight relationships and monthly variations in body weights and condition indices of two clam's species; *Venerupis aurea* and *Tapes decussata* in Lake Timsah, Egypt. Catrina **3**, 11-124.
- Kandeel KE.** 2016. Population analysis of *Tapes decussata* (Bivalvia: Veneridae) in Lake Timsah, Suez Canal, Egypt. Journal of Advances in Biology **9(1)**, 1776-1788.

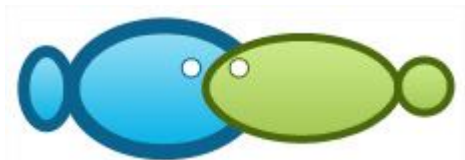
- Laruelle F, Guillou J, Paulet YM.** 1994. Reproductive pattern of the clams, *Ruditapes decussatus* and *R. philippinarum* on intertidal flats in Brittany. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom **74 (20)**, 351-366.
- Lubet P.** 1970. Cycles et rythmes sexuels chez les mollusques pélicypodes. Influence du milieu et étude expérimentale. Ann. Institut de biologie marine Michel-Pacha **3**, 24-50.
- Lucas A, Beninger PG.** 1985. The use of physiological condition indices in marine bivalve aquaculture. Aquaculture **44**, 187-200.
- Ministère de la pêche et des ressources halieutiques (MRRH).** 2011. Statistiques des pêches. Alger, Algérie.
- Mohammad SH, Belal AAM, Hassan SSZ.** 2014. Growth, age and reproduction of commercially clams *Venerupis aurea* and *Ruditapes decussatus* in Timsah Lake, Suez Canal, Egypt. Indian Journal of Geo-Marine Sciences **43(4)**, 589-600.
- Ojea J, Pazos AJ, Martinez D, Novoa S, Sanchez JL, Abad M.** 2004. Seasonal variation in weight and biochemical composition of the tissues of *Ruditapes decussatus* in relation to the gamete cycle. Aquaculture **238**, 451-468.
- Partridge JK.** 1977. Studies on *Tapes decussatus* in Ireland. Natural populations, artificial propagation and mariculture potential. PhD thesis, University College of Galway, Ireland 326 pp.
- Pauly D, Munro JL.** 1984. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrate. Fishbyte **2**, 21.
- Pauly D.** 1983. Length-converted catch curves: A powerful tool for fisheries research in the tropics (part I). Fishbyte **1**, 9-13.
- Refes W.** 1994. Contribution à la connaissance de la population de *Ruditapes decussata* (Linnaeus, 1758) du lac Mellah (El-Kala, Algérie): écologie, reproduction, dynamique des populations et exploitation. Thèse Magister en océanographie biologique, Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral Alger, Algérie 197 pp.
- Scalici M, Traversetti L, Malafoglia V, Colamartino M, Persichini T, Colasanti M.** 2015. Concepts and tools for exploiting sessile bio-filters as early warning elements: introductory applications for marine ecosystem preservation. Invertebrate Survival Journal **12**, 278-286.
- Semroud R.** 1983. Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens : le lac Mellah (El-Kala, Algérie). Thèse 3ème Cycle, Université des Sciences et de la Technologie Houari-Boumediène Alger, Algérie 137 pp.
- Stirling HP, Okumus T.** 1994. Growth, mortality and shell morphology of cultivated mussel *Mytilusedulis* stocks cross-planted between two Scottish sea lochs. Marine Biology **119**, 115-124.
- Trigui-El Menif N, Le Pennec M, Maamouri F.** 1995. La reproduction de la palourde *Ruditapes decussatus* (mollusque, bivalve) sur les côtes tunisiennes. Vie Marine **5**, 35-42.
- Walne PR.** 1976. Experiments on the culture in the sea of the butter fish *Venerupis decussata* L. Aquaculture **8**, 371-381.

**Article 2- publié dans**

**AACL Bioflux**

**“Age structure, growth and shell form of  
*Cerastoderma glaucum* (Bivalvia: Cardiidae) from El  
Mellah lagoon, Algeria”**

**Bensaâd-Bendjedid L., Belhaoues S., Kerdoussi A.,  
Djebbari N., Tahri M., Bensouillah M.**



## Age structure, growth and shell form of *Cerastoderma glaucum* (Bivalvia: Cardiidae) from El Mellah lagoon, Algeria

Lamia Bensaâd-Bendjedid, Saber Belhaoues, Asma Kerdoussi, Naouel Djebbari, Mardja Tahri, Mourad Bensouilah

Laboratory of Ecobiology for Marine Environment and Coastlines, Faculty of Science, Badji Mokhtar University, Annaba 23000, Algeria. Corresponding author: L. Bensaâd-Benjedid, lamiabendjedid@gmail.com

**Abstract.** *Cerastoderma glaucum* (Poiret, 1789) the lagoon specialist cockle, represents one of the most abundant molluscs in El Mellah coastal lagoon (northeastern Algeria); several morphological and biological characteristics of this species were investigated over a period of 18 months (January 2014 to June 2015). Analysis of allometry and different morphometric indices indicate that this population tends to assume a globular shell shape which becomes elongated as the cockle grows. From length-frequency data examination using software FISAT II and VONBIT for Excel, age was ranged from the first to the third year old, asymptotic length ( $L_{\infty}$ ) was estimated to 48.061 mm and growth coefficient ( $K$ ) was 0.71  $\text{yr}^{-1}$ . The growth performance index ( $\Phi'$ ) and theoretical life span ( $t_{\text{max}}$ ) were 3.21 and 4.23 yr respectively, total mortality rate ( $Z$ ) obtained was 1.94  $\text{yr}^{-1}$ . Monthly variations in condition index were noticed, two sharp falls due spawning events were observed, the first spawning occurred between March and June and, the second one took place from August to October. The findings of the current study can be utilized to guide future research in various fields as pathology, biomonitoring and environmental management of this species.

**Key Words:** *Cerastoderma glaucum*, shell shape, growth, Condition index, Algeria.

**Introduction.** Bivalve molluscs are frequently dominant in terms of biomass and/or abundance in estuarine and coastal habitats (Norkko & Shumway 2011); they are often key constituents of those environments (Gili & Coma 1998), consequently any changes in their condition, growth rate, abundance, or distribution may have cascading effects on both benthic and pelagic ecosystems (Dahlhoff et al 2002; Newell 2004; Norkko et al 2006).

The brackish water cockle *Cerastoderma glaucum* is an infaunal suspension-feeding bivalve common in the southern Mediterranean, it dominates sandy bottoms in sheltered bays and lagoons, and this species is considered as a key-species of macrobenthic assemblage at temperate latitudes (Sara 2007). In the food chain cockles are a link between primary producers (phytoplankton, phytobenthos) and consumers such as crabs, shrimps, fish and birds (Reise 1985), and several studies validated *C. glaucum* as biomonitor organism (Szefer et al 1999; Machreki-Ajmi & Hamza-Chaffai 2008; Machreki-Ajmi et al 2011; Hamza-Chaffai 2014).

In the Ramsar site El Mellah, the only coastal lagoon in Algeria, *C. glaucum* was first mentioned by Bakalem & Romano (1979) and, according to several authors (Guelorget et al 1989; Draredja 2005) *C. glaucum* is considered as one of the major species of benthic macroinvertebrates of this coastal wetland. Despite its ecological importance, research works specifically dedicated to it are very scarce, the main information concerning this population is limited to one study (Melouah et al 2014) dealing principally with its density and recruitment. However there is still a lack of information on this population's basic biology and life history characteristics.

In order to contribute to the baseline data and provide new information about biological parameters of *C. glaucum* from El Mellah lagoon, the present study aims to

casting light on: shell form, growth, age, estimating life span and mortality of this species in this area; besides condition index was analyzed as a preliminary indicator of reproductive cycle and spawning periods.

## Material and Method

**Study site.** The brackish water lagoon El Mellah, is located in the extreme eastern of Algerian coasts (36°54' N – 8°20' E) near the Algerian-Tunisian border (Figure 1). This shallow coastal lagoon (2.7 m of mean depth) classified as a Ramsar site since 2004 and a part of the El Kala UNESCO Biosphere Reserve covers an area of 865 hectares and communicates with the sea by a long and narrow channel of 900 m. Temperature and salinity vary between 11.40 and 30.50°C and 15.90 and 37.10 psu, respectively (Draredja et al 2012).

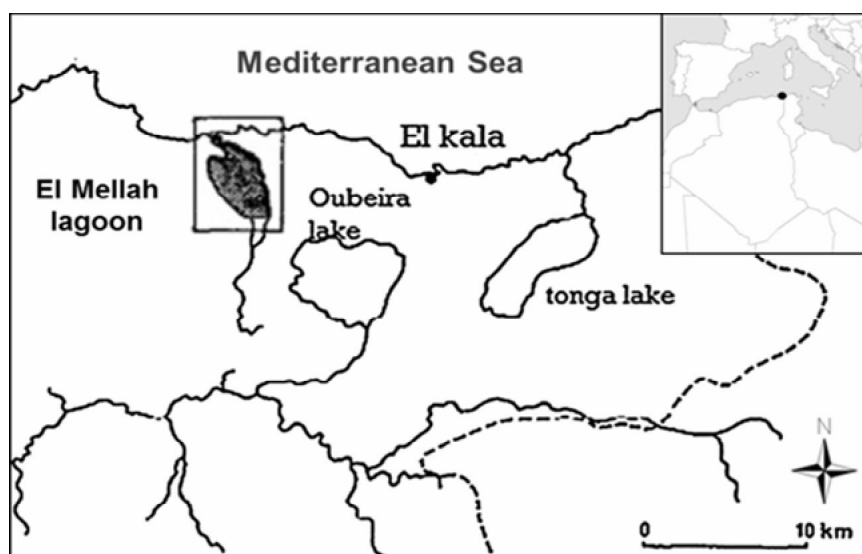


Figure 1. Geographical location of El Mellah lagoon.

**Sampling and laboratory procedure.** From January 2014 to June 2015, cockles were monthly sampled by hand or using a manual rake, then transferred to the laboratory for processing. Shell length (SL, mm, maximum distance on the anterior-posterior axis considered as reference length), shell height (SH, mm, maximum distance from hinge to ventral margin), shell width (SW, mm, maximum distance between the closed shell valves), were measured with Vernier caliper ( $\pm 0.01$  mm). Total weight (TW, g), shell dry weight (sDW, g) and tissue dry weight (tDW, g) were measured using an analytical balance sensitive to 0.01 g (KERN KB 600-2). Dry weights were obtained by drying the shell and internal tissues at 80°C for 24 h in an oven.

**Relative growth and shell form.** The morphometric relationships between shell dimensions (SL vs SH, SW; SH vs SW) and SL vs TW were investigated using the allometric equation:  $Y = a \cdot X^b$ . This equation can be expressed in its linearized form as:  $\text{Log } Y = \text{Log } a + b \text{ Log } X$ . Where; Y = the dependent variable; X = the independent variable (shell length, SL); a = intercept: initial growth coefficient; b = slope: relative growth rates of size parameters. The allometry coefficient "b" expresses the type of allometry which depends if: the two variables X and Y have the same units of measurement (isometric:  $b = 1$ , negative allometric:  $b < 1$ , positive allometric:  $b > 1$ ); or if they have different ones (isometric:  $b = 3$ , negative allometric:  $b < 3$ , positive allometric:  $b > 3$ ). The coefficient of determination ( $R^2$ ) was used as an indicator of the quality of the power of relationship between the size parameters and it was obtained with the significance level (0.001). In order to analyze the "b" values obtained in the linear regressions to confirm if they were significantly different from the isometric value (i.e. SL-SH-SW relations:  $b = 1$ ; SL-TW relation:  $b = 3$ ), a t-test was applied expressed by the equation (Sokal & Rohlf 1987; Monti et al 1991):  $t_s = |b - \beta| / S_b$ . Where  $t_s = t$ -test

value;  $b$  = slope;  $\beta$  = isometric value of the slope;  $S_b$  = standard deviation of the slope "b". A comparison between the obtained values of t-test and the correspondent tabled critical values allowed for determination of the statistical significance of the "b" values and their inclusion in the isometric range ( $b = 1 / b = 3$ ), negative allometry ( $b < 1 / b < 3$ ) or positive allometry ( $b > 1 / b > 3$ ). To further optimize shell shape analysis, morphometric indices based on the coupled ratios between the three shell axes and respective linear and ponderal variables (SL, SH, SW and TW), were calculated as follows (Selin 2007; Caill-Milly et al 2012; Vasconcelos et al 2018): Elongation index = SH/SL; Compactness (roundness) index = SW/SL; Convexity index = SW/SH; Density index (or weight ratio) = TW/SL.

**Age and absolute growth.** In order to determine the age, the Bhattacharya's method (1967) available in the fish-stock assessment tool FiSAT II 1.2.0 (Gayanilo et al 2005) was used, for that purpose cockles were grouped into shell length classes and divided into cohorts at 2 mm intervals.

To estimate  $L_\infty$  and  $K$ , also FiSAT II combined with software VONBIT for Excel (<http://www.fao.org/fishery/topic/16078/en>) were used. The von Bertalanffy growth function (VBGF)  $L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})$ , was applied to describe the growth of cockles, where  $L_\infty$  is the asymptotic shell length (mm),  $K$  the growth coefficient ( $\text{year}^{-1}$ ) and  $t_0$  is the theoretical age at length zero (year). The length-weight relationship (LWR),  $W = a \cdot SL^b$  was used to convert the asymptotic length  $L_\infty$  to the corresponding asymptotic weight ( $W_\infty$ , g). The growth performance index phi prime ( $\Phi'$ ) of *C. glaucum* from El Mellah lagoon, was determined and compared with values from different sites sampling using the following expressions (Pauly & Munro 1984):  $\Phi' = \log_{10} K + 2 \log_{10} L_\infty$ . The theoretical life span ( $t_{\max}$ ) was calculated as:  $t_{\max} = 3/k$  (Gayanilo & Pauly 1997).

**Mortality.** The instantaneous annual mortality rate ( $Z$ ,  $\text{year}^{-1}$ ) is an important aspect in the dynamic population of bivalves, indeed total mortality is divided into two components ( $Z = M + F$ ): natural mortality ( $M$ ,  $\text{year}^{-1}$ ); due to predation, disease, cannibalism, competition, etc., and fisheries mortality ( $F$ ,  $\text{year}^{-1}$ ), due to fishing activities, in cases where there is no fishing pressure on a species as it's the case for *C. glaucum* from El Mellah lagoon; it can be assumed that  $Z = M$  (i.e.  $F = 0$ ). In this study, Mortality ( $Z$ ) was estimated from the slope of the right descending arm of a length-converted catch curve (Pauly 1983) using FiSAT II which outputs  $Z$  as well as the 95% confidence intervals surrounding  $Z$  based on the goodness of fit of the regression.

**Condition index.** During one-year study period, from January 2014 to January 2015, at least 15 individuals ranging from 25 to 35 mm were taken randomly from each monthly sample for the determination of the condition index (CI), which was calculated as:  $tDW/sDW \cdot 1000$  (Walne 1976).

## Results

**Population structure and length frequency.** A total of 721 cockles were sampled and their population structure was analysed. Shell length range varied between 19.87 and 47.11 mm with a mean value of 33.29 mm, the majority of this population (71.86%) was a part of the size classes included between 28 to 38 mm (Figure 2), the weight ranged between 2.24 and 30.71 g. Data on descriptive statistics size variables of *C. glaucum* from El Mellah lagoon is shown in Table 1.

Table 1  
Size parameters and descriptive statistics of *C. glaucum* from El Mellah lagoon

Size parameters	<i>n</i>	Mean ± SE	Size range
SL	721	33.29 ± 0.185	19.87-47.11
SH	721	28.41 ± 0.148	14.8-38.45
SW	721	23.67 ± 0.129	13.45-32.85
TW	721	13.82 ± 0.191	2.24-30.71

*n*: number of individuals; SE: standard error of mean values.

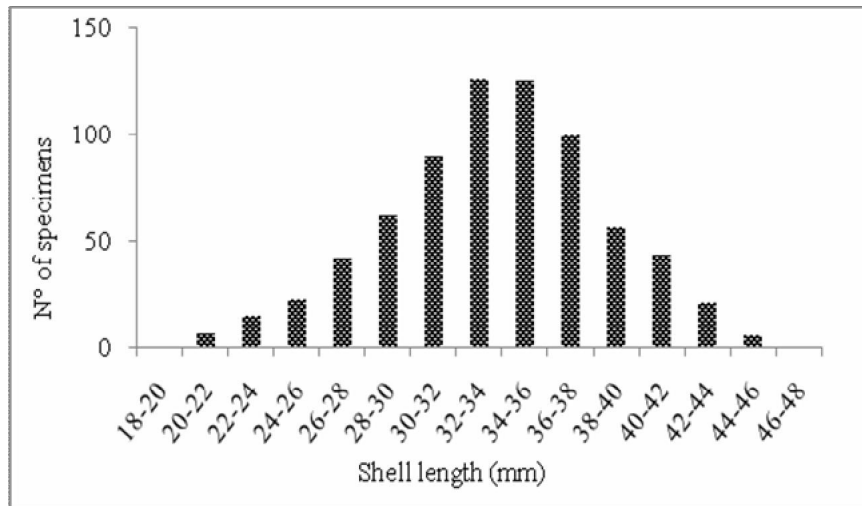


Figure 2. Length-frequency distributions of *C. glaucum* from EL Mellah lagoon.

**Relative growth and shell form.** Data concerning morphometric indices (Table 2) indicated a low TW/SL ratio (< 50%) and high values of the elongation, compactness and convexity (SH, SW were more than 70% of SL and, shell width was equal to 0.83% of height), at the same time, all morphometric relationships were significant ( $R^2 \geq 0.85\%$ ;  $p < 0.001$ ) and reflected negative allometry (SL against SH, SW and TW) (Table 3) with the exception of an isometry recorded in the relationship SH vs SW; this means that, *C. glaucum* from El Mellah is characterized by a heavy, round and globular form but as cockle grows the shell adopts a proportionally elongated and narrow shape.

Table 2  
Morphometric indices (elongation, compactness, convexity and density) of *C. glaucum* from El Mellah lagoon

Descriptor	Equation	Mean±SD	Minimum	Maximum
Elongation index	= SH/SL	0.86±0.04	0.5	1.06
Compactness index	= SW/SL	0.71±0.04	0.5	0.94
Convexity index	= SW/SH	0.83±0.05	0.63	1.43
Density index	= TW/SL	0.40±0.09	0.12	0.77

SD: standard deviation of mean values.

Table 3  
Morphometric relationships and type of growth of *C. glaucum* from El Mellah lagoon

Y	X	n	a	b	R <sup>2</sup>	β	Type of growth (t-test)
SH	SL	721	1.2542	0.8902	0.89	1	- A
SW	SL	721	0.9748	0.9098	0.85	1	- A
SW	SH	721	0.9148	0.9717	0.86	1	= I
TW	SL	688	0.0025	2.4426	0.87	3	- A

n: number of pairs of values; R<sup>2</sup>: determination coefficient;  $p < 0.001$  for all regressions; - A: negative allometry; = I: isometry.

**Age composition, growth parameters and mortality.** The analysis of the length frequency distribution over 18 months suggested the presence of three age groups (Table 4); the second age class was widely dominant in the population (77.25%) while the first was the underrepresented (6.52%). It appears that *C. glaucum* from El Mellah lagoon presents a rapid growth during the first year of life with a data value of  $25.95 \pm 3.11$  mm and then declines during the subsequent two years; moreover the theoretical lifespan ( $t_{max}$ ) was estimated at 4.23 years.

Table 4

Mean length at age of *C. glaucum* from El Mellah lagoon using Bhattacharya's method (FiSAT II 1.2.0)

Age (year)	$M \pm SD$	$n$	%	Growth rate
1	25.95 $\pm$ 3.11	47	6.52	8.31
2	34.26 $\pm$ 3.73	557	77.25	9.26
3	43.52 $\pm$ 1.42	117	16.23	-

n: number of individuals.

Based on the age-length key, the von Bertalanffy growth parameters obtained were respectively  $L_{\infty} = 48.061$  mm and  $K = 0.71$  (Figures 3 and 4), the growth performance index ( $\Phi'$ ) value was equal to 3.21 and asymptotic total weight was  $W_{\infty} = 32.05$  g. Data on results of total weights recorded for each age is shown in Figure 5.

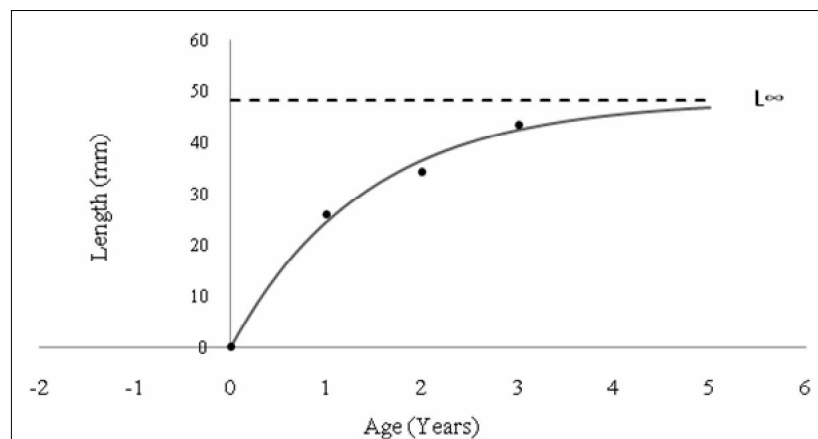


Figure 3. Von Bertalanffy growth curve of *C. glaucum* from El Mellah lagoon.

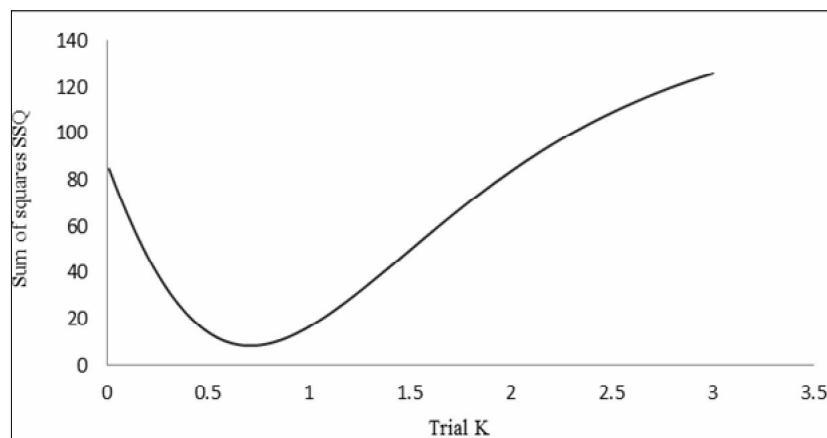


Figure 4. K optimization through minimisation of SSQ of *C. glaucum* from El Mellah lagoon.



Figure 5. Total weight at each age of *C. glaucum* from El Mellah lagoon.

The length-converted catch curve analysis (Figure 6) based on the mean shell-length distribution over 18 months and the VBGF parameters, showed an annual instantaneous mortality rate ( $Z$ ) equal to  $1.94 \text{ yr}^{-1}$  (confidence interval  $\text{CI} = 1.64\text{-}2.23$ ).

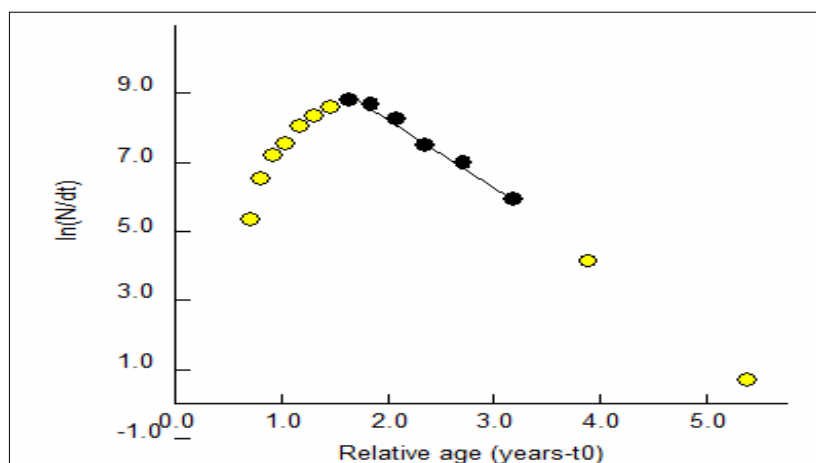


Figure 6. Length converted catch curve of *C. glaucum* from El Mellah lagoon.

**Condition index.** Condition index exhibited temporal variations (Figure 7); the maximum mean value was observed during August (48.32), while two significant declines were registered, a minor one between March and June and the major was recorded in the period from August to October when CI reaches its minimum value (26.27) with an estimated loss of 45.63%, then a gradual increase in the CI level was noted from November 2014 to January 2015 with a gain about 31.84%.

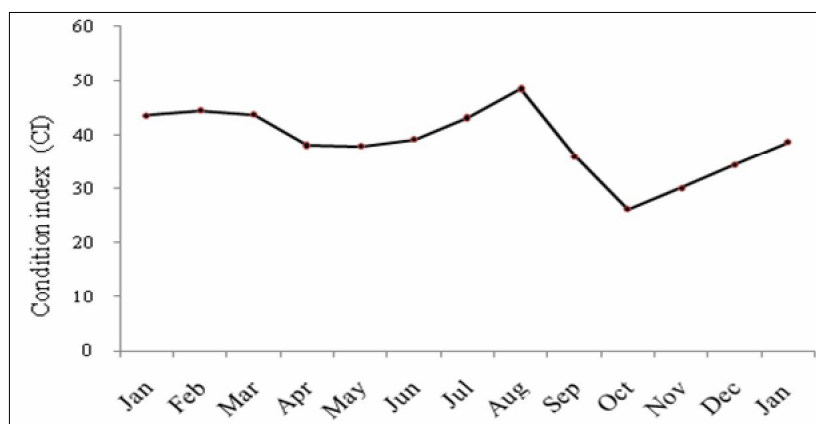


Figure 7. Monthly variations in condition index (CI) of *C. glaucum* from El Mellah lagoon (January 2014 to January 2015).

**Discussion.** In *C. glaucum* from El Mellah lagoon the maximum shell length observed was 47.11 mm. Comparing our data with those of previous studies in various Mediterranean regions, it appears that it is higher to those registered in Tunisia, in the Boughrara Lagoon (29 mm, Derbali et al 2009) and the Gabes coasts (37 mm, Derbali et al 2012) and, in Egypt such as in Lake Qarun and Lake Timsah (27 and 32 mm respectively, Kandeel et al 2017) but this size remains smaller than that observed in northeastern Mediterranean lagoon of Keramoti (53.25 mm, Leontarakis et al 2008). It seems that *C. glaucum* size varied markedly according to environmental factors in different geographical areas. Derbali et al (2012) report that the elevated water temperatures and phytoplankton high levels of the Gulf of Gabes promote rapid growth. On the other hand Tarnowska et al (2009) showed that a low average salinity negatively affects shell growth of *C. glaucum* from the Baltic Sea.

The analysis of the morphometric indices and relationships among the different size parameters suggests that *C. glaucum* from El Mellah lagoon adopts a globular shell shape which becomes elongated as the cockle grows. The elongated form expressed through significant negative allometry was also reported for another bivalve species (*Ruditapes decussatus*) from El Mellah lagoon (Bensaâd-Bendjedid et al 2017) and, for the same species in Eastern and Southern Mediterranean coastal waters (Gontikaki et al 2003; Derbali 2011; Kandeel et al 2017). On the other hand Mariani et al (2002), and Leontarakis et al (2008) described respectively an isometric and positive relative growth in *C. glaucum* from several Mediterranean sites, Atlantic and Baltic coastal habitats. This wide variation in relative growth of the species is surely genotype-driven but also various local-specific environmental factors can strongly influence shell shape variation present in bivalves (Seed 1968). Mariani et al (2002) underlined that the different allometric patterns of *C. glaucum* are functional responses to different habitat typologies. Indeed bivalves are known for their remarkable morphological diversity and the phenotypic plasticity which perceived as a key mechanism for enabling organisms to survive in the face of environmental change (Caill-Milly et al 2014; Muren et al 2015); this especially applies to the *C. glaucum* which has proven its ability to resist to extreme and unstable lagoons environmental conditions, making it a specialist of these ecosystems (Tarnowska et al 2009).

Concerning the absolute growth of species *Cerastoderma* spp., it should be noted that existing literature on the subject concerns mainly *Cerastoderma edule*, this being probably connected with the fact that *C. edule* is extensively exploited throughout its range and has a high economic value, unlike *C. glaucum* which is not commercially fished (Malham et al 2012). However in *C. glaucum* population from El Mellah lagoon, estimating  $L_{\infty}$ ,  $K$  and  $\Phi'$  were 48.061 mm,  $0.71 \text{ y}^{-1}$  and 3.21 respectively. These findings are quite higher than what was described in previous studies dealing with this species; so far the best results ( $L_{\infty} = 46.45 \text{ mm}$ ,  $K = 0.15$  and  $\Phi' = 2.51$ ) being described by Mohammad et al (2006) in *C. glaucum* from Lake Timsah (Suez Canal). Dabouineau & Ponsero (2009) reviewed the main factors influencing the growth of cockles; they noted that the season, the location, water temperature, food availability or population density are key factors affecting the growth of cockles; this allows us to suggest that the good results obtained in present study may be explained by the positive impact of El Mellah environmental conditions on cockles growth. On the other hand, the estimated lifespan ( $t_{\text{max}}$ ) was 4.23 years; this value seems to be consistent with results obtained by Boyden (1972) and Mohammad et al (2006) who estimated the maximum age of this species to approximately 5 years in Crouch estuary (England) and Lake Timsah (Egypt) respectively. However longevity has been estimated to be in excess of 6 years for some populations, although with mortality events and poor growth, this can often be reduced to 2-3 years maximum (Jensen 1992; Lindegarth et al 1995).

The mortality rate registered was considered to be from natural causes ( $M$ ) as there is no *C. glaucum* fishery in El Mellah lagoon. Its value ( $Z = M = 1.94 \text{ y}^{-1}$ ) was high compared with that of another unexploited bivalve *Ruditapes decussatus* ( $Z = 0.61 \text{ y}^{-1}$ ) from the same site (Bensaâd-Bendjedid et al 2017). Kandeel et al (2017) attributed the relatively high natural mortality rate of cockles in Lake Qarun ( $1.06 \text{ yr}^{-1}$ ) to anthropogenic activities (e.g., habitat modification and degradation), other authors

attributed it to impact of parasitic infections and high predation rates, as well as the extreme temperatures (Reise 1985; Desclaux et al 2004; Thieltges 2006; Dabouineau & Ponsero 2009). A number of studies of mortality events in *Cerastoderma* spp. show that it is difficult to unequivocally assign a cause to the deaths (Malham et al 2012). According to Burdon et al (2014) cockle mortality can be the result of extrinsic factors, including both physico-chemical and biotic factors, such as competition for food and space, poor environmental quality, or removal by predators; internal physiological factors may also play a part and include the effects of disease, poor body condition and post-spawning mortality.

It is well known that bivalves Condition index is linked to reproductive state, furthermore several authors agree that sharp falls of the CI values correspond to spawning events (Lucas & Beninger 1985; Laruelle et al 1994). Accordingly the analysis of monthly fluctuations of condition index of *C. glaucum* from El Mellah allowed the preliminarily determination of two gamete releases during 2014; one took place between March and June and, the other one during summer/early autumn (August to October). Our results are similar to those obtained in *C. glaucum* populations from Lake Tunis, BouGrara sea and Gulf of Gabes (Zaouali 1980; Derbali et al 2009) while an annual pattern of four spawning was recorded by Kandeel et al (2013) in cockles from Lake Quarun. However in bivalves, it should be emphasized that the number of spawning and the duration of breeding season were often related to temperature as it has a positive effect on those both physiological events (Lubet 1970; Partridge 1977; Laruelle et al 1994).

**Conclusions.** In the present study the good growth performance showed by *C. glaucum* reveals its well adaptation to local conditions, probably mainly related to food availability and favorable environmental conditions offered by El Mellah lagoon. Also our results bring out for the first time baseline data on several morphometric and physiological parameters concerning this species which can facilitate adequate stock management in this area. However it would be advisable that future researches focus on the impact of predation and parasitism widely described in the literature as the major biotic factors influencing cockle population dynamics and which might explain the abnormally high rate of natural mortality or shell morphology pattern observed in *C. glaucum* from El Mellah.

## References

- Bakalem A., Romano J. C., 1979 Les peuplements benthiques du lac Mellah. Rapport de la mission sur le lac Mellah, Rapport du Centre de Recherche Océanographique et de la Pêche (CROP) juin 1979, pp. 13-22.
- Bensaâd-Bendjedid L., Belhaoues S., Kerdoussi A., Djebbari N., Tahri M., Bensouillah M., 2017 Age, growth, mortality and condition index of an unexploited *Ruditapes decussatus* population from El Mellah lagoon Algeria. International Journal of Biosciences 11(1):436-442.
- Bhattacharya C. G., 1967 A sample method of resolution of a distribution into Gaussian components. Biometrics 23(1):115-135.
- Boyden C. R., 1972 Relationship of size to age in the cockles *Cerastoderma edule* and *C. glaucum* from the river Crouch estuary, Essex. Journal of Conchology 27:475-489.
- Burdon D., Callaway R., Elliott M., Smith T., Wither A., 2014 Mass mortalities in bivalve populations: a review of the edible cockle *Cerastoderma edule* (L.). Estuarine, Coastal and Shelf Science 150:271-280.
- Caill-Milly N., Bru N., Mahe K., Borie C., D'Amico F., 2012 Shell shape analysis and spatial allometry patterns of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) in a mesotidal coastal lagoon. Journal of Marine Biology vol. 2012, Article ID 281206, 11 pp.
- Caill-Milly N., Bru N., Barranger M., Gallon L., D'Amico F., 2014 Morphological trends of four Manila clam populations (*Venerupis philippinarum*) on the French Atlantic coast: identified spatial patterns and their relationship to environmental variability. Journal of Shellfish Research 33(2):355-372.

- Dabouineau L., Ponsero A., 2009 Synthesis on biology of common European cockle *Cerastoderma edule*. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00581394>. Accessed: March, 2018.
- Dahlhoff E. P., Stillman J. H., Menge B. A., 2002 Physiological community ecology: variation in metabolic activity of ecologically important rocky intertidal invertebrates along environmental gradients. *Integrative and Comparative Biology* 42:862-871.
- Derbali A., 2011 Biologie, abondance et cartographie de deux espèces de Bivalves: l'huître perlière *Pinctada radiata* et la coque glauque *Cerastoderma glaucum* dans le golfe de Gabès. PhD thesis, University of Sfax, Tunisia, 169 pp.
- Derbali A., Jarboui O., Ghorbel M., Zammouri-Langar N., 2009 Population structure, distribution and relative abundance of *Cerastoderma glaucum* (Mollusca: Bivalvia) from the Bou Ghrara lagoon (Gulf of Gabes, southern Tunisia). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 2(2):1-7.
- Derbali A., El Hasni K., Jarboui O., Ghorbel M., 2012 Distribution, abundance and biological parameters of *Cerastoderma glaucum* (Mollusca: Bivalvia) along the Gabes coasts (Tunisia, Central Mediterranean). *Acta Adriatica* 53(3):363-374.
- Desclaux C., De Montaudouin X., Bachelet G., 2004 Cockle (*Cerastoderma edule*) population mortality: the role of the digenean parasite *Himasthla quissetensis*. *Marine Ecology Progress Series* 279:141-150.
- Draredja B., 2005 Structure et organisation de la macrofaune benthique de la lagune Mellah (Méditerranée Sud-Occidentale, Algérie). *Journal de Recherche Océanographique* 30(1-2):24-33.
- Draredja B., Melouah K., Beldi H., Benmarce S., 2012 Diversité de la macrofaune benthique de la lagune Mellah (Parc National d'El-Kala, Algérie nord-est). *Bulletin de la Société Zoologique de France* 137(1-4):73-86.
- Gayanilo F. C., Pauly D., 1997 FAO-ICLARM stock assessment tools. (FISAT). Reference Manual. FAO Computerized Information Series (Fisheries), No. 8, FAO, Rome, 262 pp.
- Gayanilo F. C., Sparre P., Pauly D., 2005 FAO-ICLARM stock assessment tools II (FISAT II). Revised version. User's guide. FAO Computerized Information Series (Fisheries), No 8, revised version, FAO, Rome, 168 pp.
- Gili J. M., Coma R., 1998 Benthic suspension feeders: their paramount role in littoral marine food webs. *Trends in Ecology and Evolution* 13(8):316-321.
- Gontikaki E., Antoniadou C., Chintiroglou C. C., 2003 Population structure of *Cerastoderma glaucum* and *Abra ovata* in Vouliagmeni lagoon (Attiki). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 83:1095-1097.
- Guelorget O., Frisoni G. F., Ximenes M. C., Perthuisot J. P. 1989 Expression biogéologiques du confinement dans une lagune méditerranéenne: le lac Mellah (Algérie). *Revue d'Hydrobiologie Tropicale* 22(2):87-99.
- Hamza-Chaffai A., 2014 Usefulness of bioindicators and biomarkers in pollution biomonitoring. *International Journal of Biotechnology for Wellness Industries* 3:19-26.
- Jensen K. T., 1992 Dynamics and growth of the cockle, *Cerastoderma edule*, on an intertidal mudflat in the Danish Wadden Sea: effects of submersion time and density. *Netherlands Journal of Sea Research* 28:335-345.
- Kandeel K. E., Mohammed S. Z., Mostafa A. M., Abd-Alla M. E., 2013 Reproductive biology of the cockle *Cerastoderma glaucum* (Bivalvia:Cardiidae) from Lake Qarun, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 39:249-260.
- Kandeel K. E., Mohammed S. Z., Mostafa A. M., Abd-Alla M. E., 2017 Population dynamics of the cockle *Cerastoderma glaucum*: a comparison between Lake Qarun and Lake Timsah, Egypt. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 17:945-958.
- Laruelle F., Guillou J., Paulet Y. M., 1994 Reproductive pattern of the clams, *Ruditapes decussatus* and *R. philippinarum* on intertidal flats in Brittany. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 74(2):351-366.

- Leontarakis P. K., Xatzianastasiou L. I., Theodorou J. A., 2008 Biological aspects of the lagoon cockle, *Cerastoderma glaucum* (Poiret 1879), in a coastal lagoon in Keramoti, Greece in the northeastern Mediterranean. *Journal of Shellfish Research* 27(5):1171-1175.
- Lindegarth M., Andre C., Jonsson P. R., 1995 Analysis of the spatial variability in abundance and age structure of two infaunal bivalves, *Cerastoderma edule* and *C. lamarcki*, using hierarchical sampling programs. *Marine Ecology Progress Series* 116:85-97.
- Lubet P., 1970 Cycles et rythmes sexuels chez les mollusques pélécy-podes. Influence du milieu et étude expérimentale. *Ann Institut de biologie marine Michel-Pacha* 3:24-50.
- Lucas A., Beninger P. G., 1985 The use of physiological condition indices in marine bivalve aquaculture. *Aquaculture* 44:187-200.
- Machreki-Ajmi M., Hamza-Chaffai A., 2008 Assessment of sediment/water contamination by in vivo transplantation of the cockles *Cerastoderma glaucum* from a non-contaminated to a contaminated area by cadmium. *Ecotoxicology* 17:802-810.
- Machreki-Ajmi M., Rebai T., Hamza-Chaffai A., 2011 Variation of metallothionein-like protein and metal concentrations during the reproductive cycle of the cockle *Cerastoderma glaucum* from an uncontaminated site: a 1-year study in the Gulf of Gabès area (Tunisia). *Marine Biology Research* 7:261-271.
- Malham S. K., Hutchinson T. H., Longshaw M., 2012 A review of the biology of European cockle (*Cerastoderma* spp.). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 92:1563-1577.
- Mariani S., Piccari F., De Matthaeis E., 2002 Shell morphology in *Cerastoderma* spp. (Bivalvia: Cardiidae) and its significance for adaptation to tidal and non-tidal coastal habitats. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 82(3):483-490.
- Melouah K., Draredja B., Beldi H., 2014 Dynamique de la coque *Cerastoderma glaucum* (Mollusca, Bivalvia) dans la lagune Mellah (Algérie Nord-Est). *Revue des Sciences et de la Technologie. Synthèse* 28:34-45.
- Mohammad S. H., Mohallal M. E., Mohammed S. Z., Attia M. N., 2006 Age and growth of the cockles *Cerastoderma glaucum* and *Papyridea papyracea* in Lake Timsah, Suez Canal. *Catrina* 1(1):25-32.
- Monti D., Frenkiel L., Moueza M., 1991 Demography and growth of *Anomalocardia brasiliensis* (Gmelin) (Bivalvia: Veneridae) in a mangrove, in Guadeloupe (French West Indies). *Journal of Molluscan Studies* 57:249-257.
- Murren C. J., Auld J. R., Callahan H., Ghalambor C. K., Handelsman C. A., Heskell M. A., Kingsolver J. G., MacLean H. J., Masel J., Maughan H., Pfennig D. W., Relyea R. A., Seiter S., Snell-Rood E., Steiner U. K., Schlichting C. D., 2015 Constraints on the evolution of phenotypic plasticity: limits and costs of phenotype and plasticity. *Heredity* 115:293-301.
- Newell R. I. E., 2004 Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: a review. *Journal of Shellfish Research* 23:51-61.
- Norkko A., Hewitt J. E., Thrush S. E., Funnell G. A., 2006 Conditional outcomes of facilitation by a habitat-modifying subtidal bivalve. *Ecology* 87:226-234.
- Norkko J., Shumway S. E., 2011 Bivalves as bioturbators and bioirrigators. In: *Shellfish aquaculture and the environment*. Shumway S. E. (ed), John Wiley & Sons, Inc., pp. 297-317.
- Partridge J. K., 1977 Studies on *Tapes decussatus* in Ireland. Natural populations, artificial propagation and mariculture potential. PhD Thesis, University College of Galway, Ireland, 336 pp.
- Pauly D., 1983 Length-converted catch curves: a powerful tool for fisheries research in the tropics (part I). *Fishbyte* 1(2):9-13.
- Pauly D., Munro J. L., 1984 Once more on the comparison of growth in fish and invertebrate. *Fishbyte* 2(1):21.

- Reise K., 1985 Tidal flat ecology - an experimental approach to species interactions. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo, 194 pp.
- Sara G., 2007 Sedimentary and particulate organic matter: mixed sources for cockle *Cerastoderma glaucum* in a shallow pond, Western Mediterranean. Aquatic Living Resources 20:271-277.
- Seed R., 1968 Factors influencing shell shape in the mussel *Mytilus edulis*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 48:561-584.
- Selin N. I., 2007 Shell form, growth and life span of *Astarte arctica* and *A. borealis* (Mollusca: Bivalvia) from the subtidal zone of northeastern Sakhalin. Russian Journal of Marine Biology 33(4):232-237.
- Sokal R. R., Rohlf F. J., 1987 Introduction to biostatistics. 2nd edition, W. H. Freeman and Co., New York, 363 pp.
- Szefer P., Wolowicz M., Kusak A., Deslous-Paoli J. M., Czarnowski W., Frelek K., Belzunce M. J., 1999 Distribution of mercury and other trace metals in the cockle *Cerastoderma glaucum* from the Mediterranean Lagoon Etang de Thau. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 36(1):56-63.
- Tarnowska K., Wołowicz M., Chenuil A., Féral J. P., 2009 Comparative study on the morphometry and physiology of the European populations of the lagoon specialist *Cerastoderma glaucum* (Bivalvia). Oceanologia 51(3):437-458.
- Thieltges D. W., 2006 Parasite induced summer mortality in the cockle *Cerastoderma edule* by the trematode *Gymnophallus choledocus*. Hydrobiologia 559:455-461.
- Vasconcelos P., Moura P., Pereira F., Pereira A. M., Gaspar M. B., 2018 Morphometric relationships and relative growth of 20 uncommon bivalve species from the Algarve coast (southern Portugal). Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 98(3):1-12.
- Walne P. R., 1976 Experiments on the culture in the sea of the butterfish *Venerupis decussata* L. Aquaculture 8:371-381.
- Zaouali J., 1980 [Sexual cycle of *Cerastoderma glaucum* Poiret, 1798 (Bivalvia, Eulamellibranchia, Cardiidae) in Lake Tunis and in the Bou Grara sea (Tunisia)]. Archives de l'Institut Pasteur de Tunis 57:281-295. [in French]

Received: 13 March 2018. Accepted: 31 May 2018. Published online: 26 June 2018.

Authors:

Lamia Bensaâd-Bendjedid, Laboratory of Ecobiology for Marine Environments and Coastlines, Faculty of

Science, Badji Mokhtar University-Annaba, 23000 Annaba, Algeria, e-mail: lamiabendjedid@gmail.com

Saber Belhaoues, Laboratory of Ecobiology for Marine Environments and Coastlines, Faculty of Science, Badji

Mokhtar University-Annaba, 23000 Annaba, Algeria, e-mail: belhaoues.saber@yahoo.fr

Asma Kerdoussi, Laboratory of Ecobiology for Marine Environments and Coastlines, Faculty of Science, Badji

Mokhtar University-Annaba, 23000 Annaba, Algeria, e-mail: asma\_kerd@yahoo.fr

Naouel Djebbari, Laboratory of Ecobiology for Marine Environments and Coastlines, Faculty of Science, Badji

Mokhtar University-Annaba, 23000 Annaba, Algeria, e-mail: bionawel@hotmail.com

Mardja Tahri, Laboratory of Ecobiology for Marine Environments and Coastlines, Faculty of Science, Badji

Mokhtar University-Annaba, 23000 Annaba, Algeria, e-mail: mardja.tahri@yahoo.fr

Mourad Bensouilah, Laboratory of Ecobiology for Marine Environments and Coastlines, Faculty of Science, Badji

Mokhtar University-Annaba, 23000 Annaba, Algeria, e-mail: bensouilah\_mourad@yahoo.fr

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

How to cite this article:

Bensaâd-Bendjedid L., Belhaoues S., Kerdoussi A., Djebbari N., Tahri M., Bensouilah M., 2018 Age structure, growth and shell form of *Cerastoderma glaucum* (Bivalvia: Cardiidae) from El Mellah lagoon, Algeria. AACL Bioflux 11(3):894-904.

# Résumés

Le présent travail porte sur l'étude des paramètres de croissance et certains traits d'histoire de vie de la coque *Cerastoderma glaucum* et la palourde *Ruditapes decussatus* issues de la lagune El Mellah, le suivi du cycle de reproduction de l'espèce *C. glaucum* et, enfin l'évaluation du niveau de contamination métallique de la coque par le cadmium, le cuivre, le zinc et le plomb.

L'analyse des caractères biométriques reliant la longueur de la coquille à sa largeur et son épaisseur a révélé l'existence d'allométries négatives ceci aussi bien pour la coque que pour la palourde collectées au niveau des deux sites. A âge égal, la taille et le poids de la coque collectée dans la station 1 sont supérieurs à ceux de la coque récoltée dans la station 2. Dans la lagune El Mellah, le taux de mortalité totale est élevé chez la coque et faible chez la palourde.

L'application de l'équation de von Bertalanffy fait apparaître, chez les deux espèces, l'existence de valeurs relativement élevées des longueurs asymptotiques et des indices de performance de croissance.

Le cycle sexuel de *Cerastoderma glaucum* comprend deux périodes de ponte : l'une printanière et l'autre estivo-automnale coïncidant avec la chute des valeurs de l'indice de condition. La température et la chlorophylle *a* sont les deux facteurs les plus associés à l'IC.

L'évaluation des niveaux de contamination de *C. glaucum* par les ETM (Cd, Cu, Zn et Pb) montre qu'ils sont élevés en hiver et en automne mais bien en dessous des valeurs guides préconisées ; A l'exception du Cd aucune variation spatiale des concentrations des métaux lourds mesurées n'est observée. Les valeurs moyennes enregistrées montrent l'ordre croissant suivant  $Cd < Pb < Cu < Zn$ .

Les résultats obtenus font apparaître que les eaux de la lagune El Mellah offrent des conditions favorables à la croissance des bivalves étudiés et ne présentent pas de contaminations métalliques. Ces conditions plaideraient en faveur de la mise en place d'un élevage de bivalves dans cette lagune ; toutefois, des études complémentaires seraient nécessaires pour la réalisation de pareil projet.

**Mots clés:** *Cerastoderma glaucum*, *Ruditapes decussatus*, Lagune El Mellah, croissance, reproduction, métaux traces, espèce sentinelle.

The present work focuses on the study of growth parameters and some life history traits of the cockle *Cerastoderma glaucum* and the clam *Ruditapes decussatus* from the El Mellah lagoon, the reproductive cycle monitoring of *C. glaucum*, and, finally, the assessment of the level of metallic contamination of the cockles by cadmium, copper, zinc and lead.

The analysis of the biometric characters connecting the length of the shell to its width and thickness revealed the existence of negative allometries for both the cockle and the clam collected at the two sites. At equal age, the size and weight of the hull collected in station 1 are greater than those of the cockle harvested in station 2. In the El Mellah lagoon, the total mortality rate is high in the *C. glaucum* and low in *R. decussatus*.

The application of the von Bertalanffy equation reveals, in both species, the existence of relatively high values of asymptotic lengths and growth performance indices.

The sexual cycle of *Cerastoderma glaucum* includes two spawning periods: one in spring and the other in summer/autumn coinciding with the fall in the values of the condition index. Temperature and chlorophyll a are the two factors most associated with IC.

The evaluation of the levels of contamination of *C. glaucum* by the trace metals (Cd, Cu, Zn and Pb) shows that they are high in winter and autumn but well below the recommended guideline values; With the exception of Cd, no spatial variation in measured heavy metal concentrations is observed. The average values recorded show the ascending order Cd < Pb < Cu < Zn.

The results obtained show that the waters of the El Mellah lagoon provide favorable conditions for the growth of the studied bivalves and do not have any metallic contaminations. These conditions would plead in favor of setting up a bivalve farm in this lagoon; however, additional studies would be required for such a project.

**Key words:** *Cerastoderma glaucum*, *Ruditapes decussatus*, El Mellah lagoon, growth, reproduction, trace metals, sentinel species.

يركز العمل الحالي على دراسة معاملات النمو وبعض صفات تاريخ حياة *Cerastoderma glaucum* و *Ruditapes decussatus* من بحيرة الملاح، مراقبة الدورة التناسلية لـ *C. glaucum* ، وأخيراً تقييم مستوى التلويث المعدني للقواقع *C. glaucum* بواسطة الكاديوم والنحاس والزنك والرصاص. كُشف تحليل الخصائص البيومترية التي تربط الطول ببقية المعلمات الخطية للصدفة (العرض والسماكة) بوجود نقاط سلبية سلبية لكل من *C. glaucum* و *R. decussatus* اللذين تم جمعهما في الموقعين. في عمر متساوٍ ، يكون حجم ووزن *C. glaucum* الذي يتم جمعه في المحطة 1 أكبر من وزن القواقع التي يتم حصادها في المحطة 2. وفي بحيرة الملاح ، يكون معدل الوفيات الإجمالي مرتفعاً في *C. glaucum* ومنخفض في *R. decussatus* . ويكشف تطبيق معادلة فون برتلانفي ، في كلا النوعين ، عن وجود قيم عالية نسبياً للأطوال التقاربية ومؤشرات أداء النمو.

تشمل الدورة الجنسية لـ *Cerastoderma glaucum* فترتين من التبويض: واحدة في فصل الربيع والأخرى في فصل الصيف / الخريف تتزامن مع الانخفاض في قيم مؤشر الحالة. درجة الحرارة والكلوروفيل هما العاملان الأكثر ارتباطاً بـ IC.

ويبين تقييم مستويات تلوث *C. glaucum* بواسطة المعادن النزرة (Cd و Cu و Zn و Pb) أنها مرتفعة في فصلي الشتاء والخريف ولكن أقل بكثير من القيم التوجيهية الموصى بها ؛ وباستثناء Cd ، لا يلاحظ أي اختلاف مكاني في تركيزات المعادن الثقيلة المقاسة. يظهر متوسط القيم المسجلة الترتيب التصاعدي  $Cd < Pb < Cu < Zn$ . تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن مياه بحيرة الملاح توفر ظروف مواتية لنمو ذوات الصدفتين المدروسة وليس لها أي تلوث معدني. هذه الشروط تدافع عن إقامة مزرعة ثنائية المصراع في هذه البحيرة. ومع ذلك ، ستكون هناك حاجة لدراسات إضافية لمثل هذا المشروع.

**الكلمات المفتاحية :** *Cerastoderma glaucum* ، *Ruditapes decussatus*، بحيرة الملاح، النمو، التكاثر،

المعادن .