



DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

Lakel Belqassim et Zaoui Menaouer

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN HYDROBIOLOGIE MARINE ET CONTINENTALE

Spécialité : Ressources Halieutiques

THÈME

**Étude morphométrique de deux morphotypes d'*Holothuria*
(*Holothuria*) *tubulosa* (A & B) et d'*Holothuria*
(*Roweothuria*) *arguinensis* de la côte de Mostaganem.**

Soutenue publiquement le 18 /09/2019

DEVANT LE JURY

Président	M ^{lle} OULHIZ Aïcha	MCB	U. Mostaganem
Encadrant	M. MEZALI Karim	Pr	U. Mostaganem
Co-Encadrant	M. MANSOURI Toufik	MAB	U. Mostaganem
Examineur	M. BOUZAZA Zoheir	MCB	U. Mostaganem

*Thème réalisé au Laboratoire de Protection, Valorisation des Ressources Marine et Littorale et
Systématique Moléculaire (Université de Mostaganem)*

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

Avant tout, nous remercions ALLAH de nous avoir donné le courage et la patience de mener à bien ce travail ;

Nous tenons à remercier Monsieur **MEZALI Karim**, Professeur au Département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture de l'université de Mostaganem, pour nous avoir encadrés pendant ce travail. Nous le remercions également de nous avoir donné un sujet dans lequel nous avons pu nous réaliser jour après jour malgré toutes les difficultés rencontrées. Nous voudrions aussi le remercier pour ses conseils et ses critiques constructifs ;

Nous tenons à remercier d'une façon toute particulière notre Co-encadrant, Monsieur, **MANSOURI Toufik**, Maitre-Assistant (B) au Département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture de l'université de Mostaganem, qui nous a aidés pendant tout ce travail, nous le remercions encore pour ses encouragements et pour le temps précieux qu'il nous a consacré toutes les fois que cela était nécessaire. Sa grande expérience sur terrain nous a facilité énormément la réalisation de ce mémoire ;

Nous tenons également à remercier très chaleureusement M^{lle}. **OULHIZ Aicha** Maitre de conférences (B) au département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture, de l'université de Mostaganem, pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury de notre mémoire ;

Nos sincères remerciements vont également à M. **BOUZAZA Zoheir**, maitre de Conférences (B) au département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture de l'université de Mostaganem, pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail ;

En fin, nous remercions chaleureusement tous les professeurs du département des sciences de la mer et de l'Aquaculture ainsi que tous les étudiants de Master 2 Ressources Halieutique de l'année 2019.

Dédicace

Pour tous ceux que j'aime, je dédie ce travail, ce fruit de plusieurs années, à :

Mes très chers parents que j'estime beaucoup pour leurs tendresses et compréhension, pour leur soutien moral et matériel, ils m'ont soutenue encouragés pour arriver à ce niveau universitaire. Que je souhaite tellement leurs présences.

A mes frères et ma sœur que j'aime énormément

A toute ma famille sans exception,

A mon cher ami et binôme : Belqassim

A tous mes amies

A tous les étudiants des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture et surtout mes collègues de la promotion Ressources Halieutiques sans exception.

Et enfin à ceux qui mon aidé à réaliser ce mémoire.

Menaouer

Dédicace

Pour tous ceux que j'aime, je dédie ce travail, ce fruit de plusieurs années à :

Mes très chers parents que j'estime beaucoup pour leurs tendresses et compréhension, pour leur soutien moral et matériel, ils m'ont soutenues encouragés pour arriver à ce niveau universitaire. Que je souhaite tellement leurs présences.

A mes frères et mes sœurs que j'aime énormément

A toute ma famille sans exception,

A mon cher ami et binôme : Menaouer

A tous mes amies

A tous les étudiants des Sciences de la Mer et d'Aquaculture et surtout mes collègues sans exception.

Et enfin à ceux qui mon aidé à réaliser ce mémoire.

Belqassim

Résumé

Dans la présente étude nous avons réévalué le statut taxinomique de quelques espèces d'holothuries du genre *Holothuria* échantillonnées au niveau d'une station de la côte de Mostaganem. L'évaluation taxinomique a été réalisée à travers une étude plus fine sur la morphologie géométrique des sclérites des deux morphotypes de *Holothuria (Holothuria) tubulosa* (A & B) et de *Holothuria (Roweothuria) arguinensis*. Les méthodes statistiques utilisées (analyse factorielle discriminante et la classification ascendante hiérarchique) ont confirmé des différences nettes et hautement significatives entre les individus des deux morphotypes. Selon les résultats, le morphotype "A" correspond à *Holothuria (Holothuria) tubulosa* classique précédemment décrite par Kohler (1921) ; alors que le morphotype "B" correspond à une espèce écotype de *Holothuria tubulosa*. De même, notre étude a mis l'accent sur la présence de lien de parenté entre le morphotype "A" de *Holothuria (Holothuria) tubulosa* et l'espèce invasive *Holothuria (Roweothuria) arguinensis*. Ce dernier résultat corrobore avec ceux obtenus dans la littérature.

Mots clés : Sclérites, Espèce-écotype, Statut taxinomique, Morphologie géométrique, Analyse factorielle discriminante.

Abstract

In this study we have re-evaluated the taxonomic status of some sea cucumber species from the *Holothuria* genera sampled at a station on the Mostaganem coast. The systematic evaluation was carried out through a more detailed study on the geometric morphology of the ossicles of the two morphotypes of *Holothuria (Holothuria) tubulosa* (**A** & **B**) and *Holothuria (Roweothuria) arguinensis*. The statistical methods used (discriminant factor analysis and hierarchical classification) confirmed clear and highly significant differences between the individuals of the two morphotypes. According to the results, the morphotype "A" corresponds to the classical *Holothuria (Holothuria) tubulosa* previously described by Kohler (1921); while the morphotype "B" corresponds to an ecotype species of *Holothuria tubulosa*. Similarly, our study has focused on the relationship between the morphotype **A** of *Holothuria (Holothuria) tubulosa* and the invasive species *Holothuria (Roweothuria) arguinensis*. This last result corroborates with those obtained in the literature.

Key words: Ossicles, Ecotype species, Taxonomic status, Geometric morphology, Discriminant factor analysis.

في هذه الدراسة، قمنا بإعادة تقييم الحالة التصنيفية لبعض أنواع خياريات بحر من نوع هولوثوريا التي تم أخذ عينات منها في محطة على ساحل مستغانم. تم إجراء التقييم التصنيفي من خلال دراسة أكثر تفصيلاً عن الشكل الهندسي للعظيمات للنمطين المورفولوجيين من *Holothuria (Roweothuria)* و *Holothuria (Holothuria) tubulosa (A & B)* مع *arguinensis*. أكدت الطرق الإحصائية المستخدمة (تحليل العوامل التمييزية والتصنيف التسلسلي الهرمي) وجود اختلافات واضحة وهامة للغاية بين الأفراد من الشكلين المورفولوجيين. ووفقاً للنتائج، فإن الشكل المورفولوجي "A" يتوافق مع *Holothuria (Holothuria) tubulosa* الكلاسيكي الموصوف سابقاً بواسطة (Koehler 1921)؛ في حين يتوافق النمط المورفولوجي "B" مع أنواع بيئية من *Holothuria tubulosa*. وبالمثل، سلطت دراستنا الضوء على وجود قرابة بين النمط المورفولوجي من "A" *Holothuria (Holothuria) tubulosa* والأنواع الغازية من *Holothuria (Roweothuria)* مع *arguinensis*. هذه النتيجة الأخيرة تتفق مع تلك التي تم الحصول عليها في الأبحاث العلمية.

كلمات مفتاحية: العظيمات، أنواع بيئية، الحالة التصنيفية، الشكل الهندسي، تحليل العوامل التمييزية.

Liste des abréviations

Longb : Longueur des boucles.

Largb : Largeur des boucles.

Surfb : Surface des boucles.

périmb : Périmètre des boucles.

nmbtb : Nombre de trous des boucles.

diamdt : Diamètre du disque des tourelles.

surfdt : Surface du disque des tourelles .

périmdt : Périmètre du disque des tourelles.

FA : (largb/longb) forme allongée des boucles.

AFD : Analyse factorielle discriminante.

CAH : Classification ascendante hiérarchique.

µm : Micromètre.

Liste des figures

Figure 01 : Phylogénie des échinodermes actuels d'après (Telford <i>et al.</i> , 2014).....	2
Figure 02 : Morphologie externe d'une holothurie du genre <i>Holothuria</i> (Samyn <i>et al.</i> , 2006). ...	5
Figure 03 : Anatomie interne d'une holothurie du genre <i>Holothuria</i> (Samyn <i>et al.</i> , 2006).....	6
Figure 04 : Sclérites d' <i>Holothuria (R.) arguinensis</i> d'après (Mansouri et Mezali, données non publiées).....	9
Figure 05 : Répartition d' <i>Holothuria (H.) tubulosa</i> (zone hachurée en rouge) (Richon, 2008)..	11
Figure 06 : Comportement de reproduction chez <i>Stichopus hermanni</i> (Photo : Maria Byrne et Kennedy Wolfe, 2018).....	13
Figure 07 : Individus d' <i>Holothuria (F.) hilla</i> après scission (Lee <i>et al.</i> , 2008). .	13
Figure 8 : Commensalisme chez les holothuries. A : <i>Carapus bermudensis</i> ; B : <i>Holothuria mexicana</i> (Rogers <i>et al.</i> , 2018).	14
Figure 09 : Transformation des holothuries en bêche-de-mer. (Ngaluafe <i>et al.</i> , 2018).....	15
Figure 10 : Spécimens d' <i>Holothuria tubulosa</i> transformés en bêche-de-mer avant d'être vendus à des acheteurs chinois locaux (Neghli et Mezali, 2019). A) (Images : Slimane-Tamacha 2018)..	16
Figure 11 : Holothuriculture. (Purcell et Wu, 2017).....	17
Figure 12 : La Crique de la Salamandre	20
Figure 13 : Echantillonnage des holothuries.....	21
Figure 14 : Prise de photos de sclérites à l'aide d'une tablette intégrée au microscope photonique.....	22
Figure 15 : Exemple d'une classification ascendante hiérarchique	25
Figure 16 : Morphologie externe d'un individu de <i>Holothuria (H.) tubulosa</i> A.....	27
Figure 17 : Morphologie externe d'un individu de <i>Holothuria (H.) tubulosa</i> B.....	28
Figure 18 : Morphologie externe de l'individu de <i>Holothuria (R.) arguinensis</i>	29
Figure 19 : Quelques sclérites de <i>Holothuria (H.) tubulosa</i> "A".....	30
Figure 20 : Quelques sclérites de <i>Holothuria (H.) tubulosa</i> "B".....	30
Figure 21 : Quelques sclérites de <i>Holothuria (R.) arguinensis</i>	31
Figure 22 : Moyennes de la variable longueur des boucles chez les trois espèces étudiées.....	32
Figure 23 : Moyennes de la variable largeur des boucles chez les trois espèces étudiées.....	32

Figure 24 : Moyennes de l'indice FA (Forme allongée des boucles) chez les trois espèces étudiées.	33
Figure 25 : Moyennes de la variable surface des boucles chez les trois espèces étudiées.	33
Figure 26 : Moyennes de la variable périmètre des boucles chez les trois espèces étudiées.....	34
Figure 27 : Moyennes de la variable nombre des trous des boucles chez les trois espèces étudiées.	34
Figure 28 : Moyennes de la variable diamètre des disques des tourelles chez les trois espèces étudiées.	35
Figure 29 : Moyennes de la variable surface des disques des tourelles chez les trois espèces étudiées.	35
Figure 30 : Moyennes de la variable périmètre des disques des tourelles chez les trois espèces étudiées.....	36
Figure 31 : Projection des individus dans le plan factoriel. H. tA : <i>Holothuria tubulosa</i> "A" ; H. tB : <i>Holothuria tubulosa</i> "B" ; H. arag : <i>Holothuria arguinensis</i>	37
Figure 32 : Les barycentres (centres de gravités) de chaque type d'espèce avec les ellipses de confiance à 95%.....	38
Figure 33 : Les variables sélectionnées par le modèle discriminant. (IN : variables prises par le modèle discriminant ; OUT : variable exclues de modèle discriminant). Se référer au tableau 02 pour les abréviations.	39
Figure 34 : Classification ascendante hiérarchique par le critère d'agrégation de Ward	40

Liste des tableaux

Tableau 1 : Systématique des holothuries de la classe Holothroidea.	4
Tableau 02 : les mensurations (variables) réalisées sur les sclérites des holothuries étudiées....	23
Tableau 03 : Valeurs moyennes des mensurations réalisées sur les sclérites de trois espèces d'holothuries étudiées. Se référer au tableau 02 pour les abréviations des variables.	31L
Tableau 04 : Test de la MANOVA.....	37
Tableau 05 : Corrélation des variables avec les axes de l'AFD. Se référer au tableau 02 pour les abréviations	39
Tableau A : Test d'Anderson-Darling de normalité des variables. Les valeurs à l'intérieur du tableau sont les probabilités critiques (p-values).....	51
Tableau B : Test M de Box (Approximation asymptotique du khi-deux) de l'égalité des matrices de covariances.....	51
Tableau C : Test unidimensionnel d'égalité des moyennes des classes. DDL1 : Degré de liberté (numérateur), DDL2 : Degré de liberté (dénominateur).....	52

Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre I : Revue bibliographique

I. Echinodermes	2
II. Holothuries	3
II.1. Classification des holothuries.....	4
II.2. Morphologie générale	4
II.2.1. Morphologie externe	4
II.2.2. Morphologie interne.....	5
II.2.2.1. Le système nerveux.....	6
II.2.2.2. Système digestif	6
II.2.2.3. L'appareil ambulacraire	7
II.2.2.4. Les tentacules	7
II.2.2.5. L'appareil respiratoire.....	7
II.2.2.6. Organes reproducteurs.....	7
II.2.2.7. Endosquelette	8
a) Corpuscules turriformes	9
b) Boucles	10
c) Plaques perforées	10
d) Batônnetts	10
III. Répartition géographique des holothuries	10
IV. Identification des holothuries	11
V. Rôle écologique des holothuries	12
VI. Reproduction.....	12
VII. Symbioses et commensalismes	14
VIII. Importances économiques des holothuries	14
IX. Propriétés médicinales	16

X. Holothuriculture	17
---------------------------	----

Chapitre II : Matériels et méthodes

I. Rappel historique et objectif de l'étude	18
II. Zone d'étude.....	20
II.1. Crique de la Salamandre (35°54'35.85"N/0° 3'15.02"E)	20
II.2. Echantillonnage et traitement des échantillons	21
II.3. Traitement des échantillons.....	21
III.4. Mesures adoptées (les variables)	23
III. Analyse factorielle discriminante (AFD).....	23
III.1. Analyse pas-à-pas ascendante.....	24
III.2. Test de pouvoir discriminant (MANOVA).....	24
IV. Classification ascendante hiérarchique (CAH).....	24
IV.1. Définition du critère de distance.....	25
IV.2. Méthode de Ward	25
V. Traitement statistique des données	26
□ Moyenne arithmétique	26
□ Ecart-type.....	26

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Identifications des espèces d'holothuries échantillonnées	27
II. Résultats des mensurations effectuées sur les sclérites des holothuries étudiées	31
II.1. Présentations graphiques des valeurs moyennes de mensurations effectuées sur les sclérites des holothuries étudiées	32
III. Résultats de l'analyse factorielle discriminante (AFD).....	37
III.1. Résultats de la MANOVA	37
III.2. Analyse discriminante pas-à-pas ascendante	39
IV. Classification ascendante hiérarchique.....	40
V. Discussion	41
Conclusion	43

Référence bibliographiques	44
Annexe 01	50
Annexe 02	51

Introduction

Les holothuries sont une classe d'invertébrés marins de l'embranchement des Échinodermes. On dénombre plus de 1400 espèces qui s'observent dans tous les mers et océans, de la zone littorale aux profondeurs les plus extrêmes (**Kerr et Kim, 2001a**). Elles jouent un rôle clé dans le maintien de l'équilibre des écosystèmes marins par un recyclage continu des nutriments, la stimulation de la croissance des algues, et elles contribuent à la régulation de la teneur en carbone et le pH de l'eau de mer (**Purcell et al., 2016a**).

Les holothuries sont relativement bien connues aujourd'hui sur le plan anatomique (**Feral et Massin, 1982**). Les holothuries méditerranéennes ont été décrites par pas mal d'auteurs dont les plus appropriés sont les travaux réalisés par (**Koehler, 1921; Tortonese, 1965b; Rowe, 1969**). Par contre, les approches de systématique moléculaire et de phylogénétique viennent de commencer avec les travaux de (**Kerr et Kim, 2001b; Kerr et al., 2005; Samyn et al., 2005**). Le biotope particulier et leur tendance cryptique font qu'elles sont particulièrement difficiles à échantillonner, limitant ainsi les possibilités d'étude de leur abondance, distribution et répartition (**Mezali, 2008**). Le rôle écologique de ces espèces est largement bien maîtrisé par les scientifiques mais la taxinomie de plusieurs groupes d'holothuries est encore balbutiante, et, au cours des dix dernières années, certaines espèces ont été redéfinies. La description de ces espèces est fondée essentiellement sur leur endosquelette formé essentiellement de sclérites calcaires microscopiques, dispersées dans les différentes parties de leurs corps. En Algérie, les études portant sur la phylogénie et la phylogéographie des concombres de mer sont rares. Jusqu'à ce jour, nous signalons : Les études de (**Mezali, 2008**) et la révision systématique de quelques espèces d'holothuries de la côte Algérienne faite par (**Mansouri, 2015**).

Les travaux présentés dans ce mémoire consistent à réévaluer le statut taxinomique des deux morphotypes de *H. (H.) tubulosa* (**A & B**) à travers une étude plus fine sur la morphologie géométrique des sclérites de ces deux formes en utilisant des analyses statistiques poussées. Une autre espèce d'holothurie de la côte algérienne [*Holothuria (R.) arguinensis*] a été considéré dans cette étude.

Revue bibliographique

Les espèces de la classe des Échinodermes sont caractérisées par quatre caractères uniques (Mezali, 2008) :

- Une symétrie pentaradiée (d'ordre 5) parfois masquée par une symétrie bilatérale
- Un squelette intradermique formé de nombreuses sclérites calcaires ;
- Un système ambulacraire. Celui-ci est formé d'un système de canaux internes connectés à des extensions externes. Cet appareil particulier n'existe dans aucun autre groupe du règne animal. Il assure principalement le mouvement et la nutrition des animaux ;
- Des tissus très flexibles appelés tissu conjonctif variable qui leur permet de changer volontairement et rapidement leur rigidité.

II. Holothuries

Les concombres de mer de l'ordre des Holothuriida sont des invertébrés sédentaires, préférant les habitats à phanérogames ainsi que ceux des milieux confinés et abrités tels que les baies, lagunes et lagons. Elles s'observent depuis les premiers mètres d'eau jusqu'à une profondeur de 20 à 30m [100m pour *Holothuria (Platyperona) forskali*] ; ce sont donc des espèces littorales facilement accessibles aux pêcheurs (Bell *et al.*, 2008; Duvauchelle, 2010). Les holothuries peuvent constituer jusqu'à 90% de la biomasse dans les écosystèmes des fonds marins (Hendler *et al.*, 1995). Elles sont couramment trouvées sur des aires de sables ou inféodées aux herbiers. Sur ces différents substrats, les holothuries ingèrent le sédiment et le biofilm, retiennent la matière organique et rejettent les éléments minéraux comme le sable (Gosliner *et al.*, 1996). La classe Holothuroidea, se compose d'approximativement 1400 espèces actuelles réparties en 6 ordres, 25 familles et environ 200 genres (Pawson, 2007).

II.1. Classification des holothuries

Le tableau 1 décrit la systématique des holothuries de la classe Holothuroidea

Tableau 1 : Systématique des holothuries de la classe Holothroidea.

Phylum (Embranchement)	Echinodermata Bruguère (1791)
Sous-Phylum	Echinozoa
Super-Classe	Cryptosyringida Smith (1984)
Classe	Holothuroidea De Blainville (1834)
Ordre	Holothuriida Miller et al (2017)
Famille	Holothuriidae Ludwig (1894)
Genre	<i>Holothuria</i> Linnaeus (1758)

II.2. Morphologie générale

II.2.1. Morphologie externe

Les holothuries possèdent, en général, un corps mou (**Conand, 1990**), non segmenté, cylindrique plus ou moins allongé selon un axe antéropostérieur (**Rowe et Richmond, 1997**). Elles ont une symétrie bilatérale visible à la surface du corps qui s'est secondairement surimposée à la symétrie pentaradiaire typique (**Fig. 02**). La bouche, antérieure, est entourée d'une ceinture de tentacules (multiples de cinq allant jusqu'à trente) spécialisés dans la collecte des nourritures, l'anus étant postérieur (**Fig. 02**). Les holothuries possèdent également des pieds ambulacraires ou podia qui s'organisent en plusieurs rangées et qui leur servent à la locomotion et la fixation au substrat (**Fig. 02**). Sur le trivium, qui est la partie du corps qui forme la sole rampante des holothuries, les podia sont disposées en trois rangées ou recouvrent toute la sole (**Fig. 02**). Sur le bivium qui forme les côtés et le dos de cette faune, ils peuvent être modifiés en verrues ou papilles plus ou moins développées (**Fig. 02**). On notera que les podia peuvent aussi servir à la respiration et à la réception sensorielle (**Hyman, 1955; Meyer et Lawrence, 1982; Conand, 1990**).

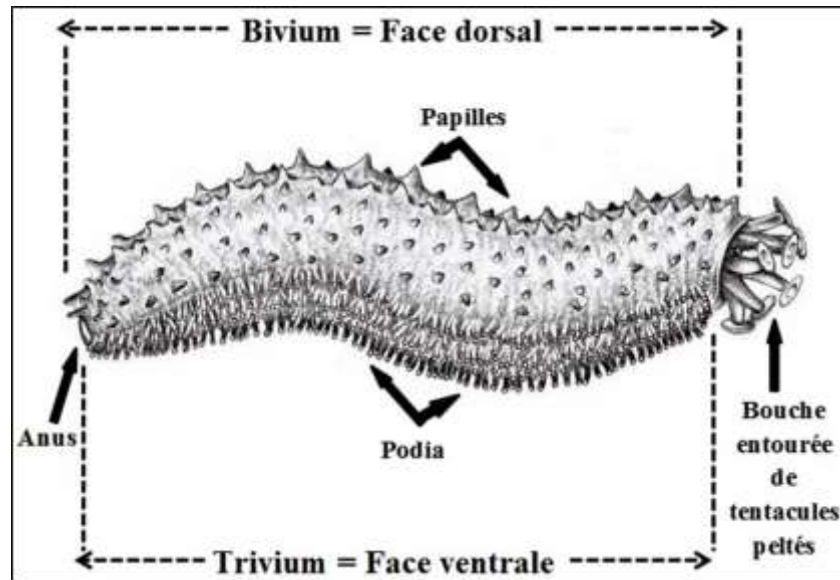


Figure 02 : Morphologie externe d'une holothurie du genre *Holothuria* (Samyn *et al.*, 2006).

II.2.2. Morphologie interne

Les holothuries sont caractérisées par un endosquelette réduit, formé de spicules inclus dans le tégument qui sont des éléments microscopiques essentiels en taxinomie. Le tégument constitue la partie comestible de l'individu. Elles présentent une cavité générale spacieuse dans laquelle on retrouve les gonades, le tube digestif, les arbres respiratoires (tubes dichotomiques aveugles se connectant à la base du tube digestif), le système hémal et parfois, selon l'espèce, des tubes de Cuvier (**Fig. 3**). Ceux-ci sont des organes de défense collants et toxiques fixés à la base des arbres respiratoires qui sont expulsés par l'orifice cloacal vers n'importe quel organisme dérangeant l'holothurie. Les tubes de Cuvier sont présents chez certaines espèces des genres *Holothuria*, *Actinopyga* et particulièrement abondants chez les *Bohadschia* (Rowe et Richmond, 1997; Hamel *et al.*, 2001).

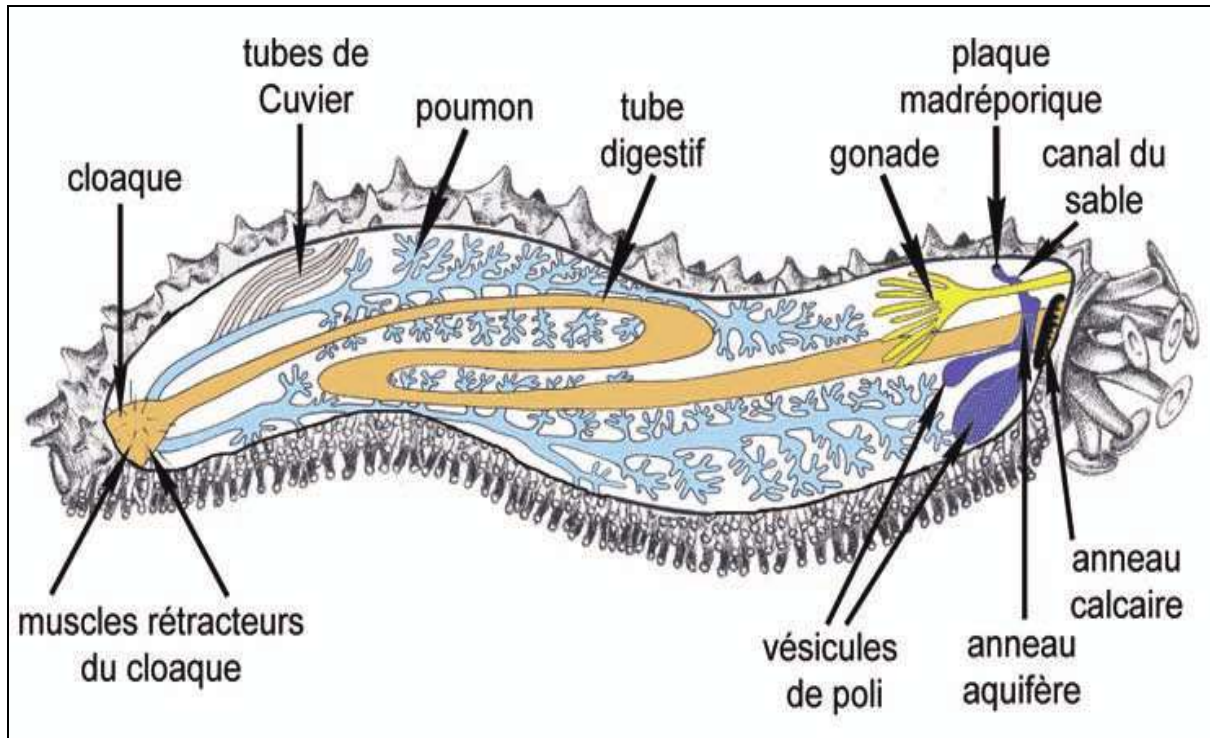


Figure 03 : Anatomie interne d'une holothurie du genre *Holothuria* (Samyn *et al.*, 2006).

II.2.2.1. Le système nerveux

Les organes de sens des holothuries sont représentés par des cellules sensorielles réparties sur la surface du corps .il existe également des taches pigmentées photosensibles sur leurs corps.

II.2.2.2. Système digestif

La bouche, sans dents est suivie d'un pharynx et d'un œsophage ; l'intestin qui suit est très long pour optimiser la digestion d'une alimentation peu énergétique ; la digestion peut durer jusqu'à 36 heures chez certaines espèces (Guille *et al.*, 1986). Lors d'une agression, les organes digestifs peuvent être expulsés d'un seul coup. Il existe des zones de rupture préexistantes qui se régénèrent ensuite (Jans *et al.*, 1995).

II.2.2.3. L'appareil ambulacraire

L'appareil ambulacraire (ou aquifère) est un véritable système hydraulique, qui contribue au mouvement ou à l'alimentation de l'animal. Il consiste en un réseau de canaux hydrauliques comprenant un anneau central duquel partent cinq tubes radiaires s'étendant dans le corps et les bras (**Mezali *et al.*, 2014**).

II.2.2.4. Les tentacules

La bouche est entourée de tentacules ramifiés (**Fig. 02**). Les tentacules buccaux correspondant à une modification des pieds ambulacraires « podia » hautement contractile. Ces tentacules servant à collecter la nourriture sur le fond (**Koehler, 1921**).

II.2.2.5. L'appareil respiratoire

Il est sous le nom d'organe arborescent. Ce sont des sacs volumineux très ramifiés qui se réunissent en un tronc commun avant de s'ouvrir dans l'ampoule rectale. Leurs parois sont minces et ils sont dotés d'une musculature puissante qui se contracte et expulse l'eau de mer qui les remplis toutes les vingt secondes. Leur remplissage s'effectue passivement (**Jans *et al.*, 1995**).

II.2.2.6. Organes reproducteurs

Le système reproducteur est composé d'une gonade (mâle ou femelle) et d'un gonoducte débouchant sur le gonopore externe, situé à proximité de la bouche. La gonade se compose d'un grand nombre de tubes gonadiques ramifiés dont la partie distale flotte librement dans le coelome. Elle est soutenue du côté proximal par un mésentère relié à la partie antérieure du tube digestif : Les cellules reproductrices sont situées dans ces tubes gonadiques et seront relarguées à maturation (**Guille *et al.*, 1986**).

II.2.2.7. Endosquelette

Presque tous les Échinodermes ont un squelette dur. La nature de ce squelette change d'un groupe à un autre dans le phylum (**Hampton, 1958**). On reconnaît les Holothuries par l'existence d'un squelette dermique ou endosquelette (**Mezali, 1998; Mezali et al., 2003**). Leur squelette est formé d'ossicules à l'intérieur du derme ; qui peuvent avoir des formes variées et sont utilisées dans la classification des différentes espèces (**Fig. 04**). Les sclérites ne sont pas uniformes dans toute la paroi du corps de l'holothurie. Il existe une différence notable entre les sclérites de la face ventrale et celles de la face dorsale du corps (**Massin, 1994**). Les sclérites ont des formes très variées notamment celles des organes internes du corps. On distingue une vingtaine de types de spicules différents, mais généralement fixes pour chaque espèce (**Mezali, 2008**).

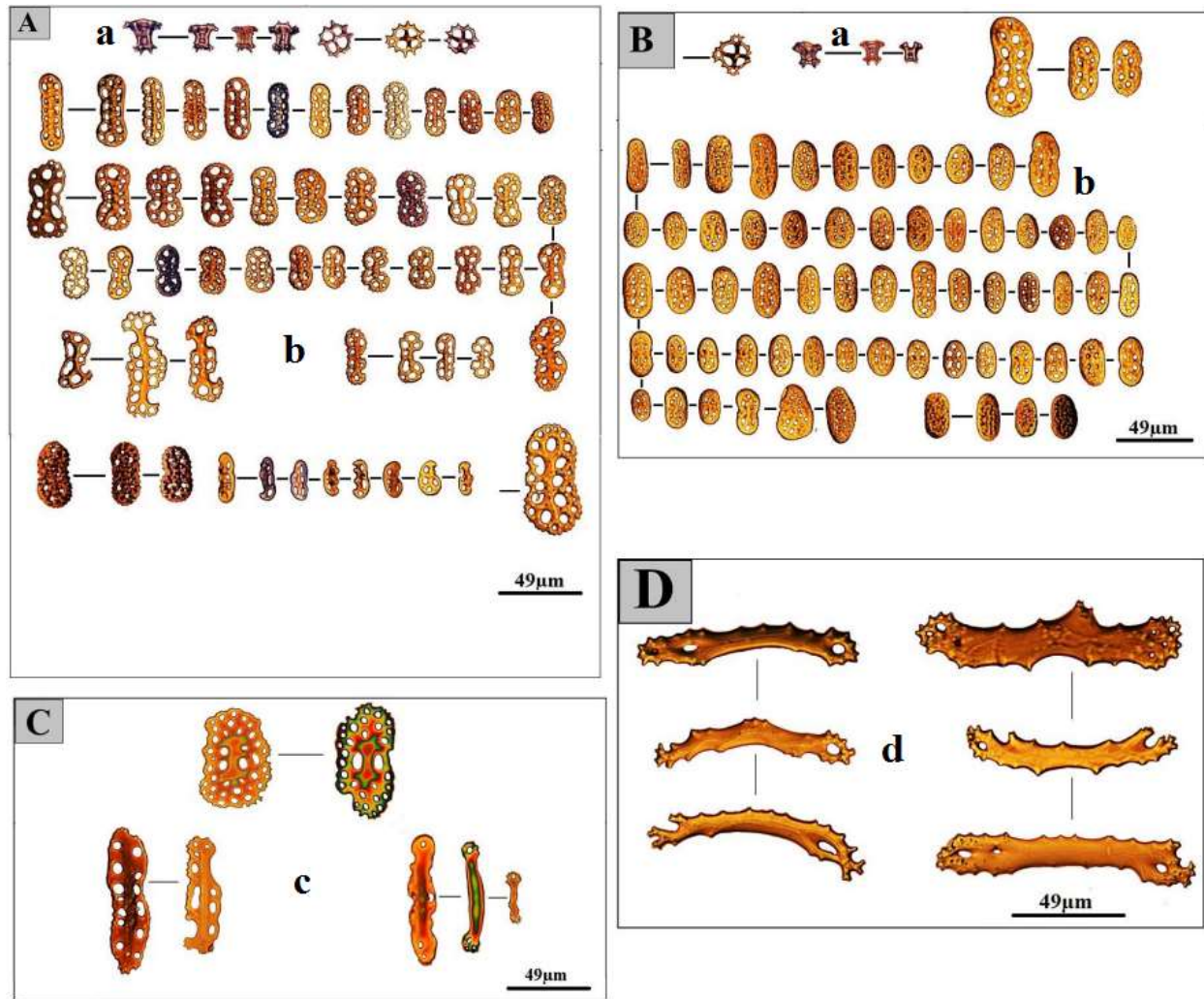


Figure 04 : Sclérites d'*Holothuria (R.) arguinensis* d'après (Mansouri et Mezali, données non publiées). A : sclérites de la face dorsale ; B : sclérites de la face ventrale ; C : sclérites des papilles ; D : sclérites des tentacules. a : Tourelles ; b : boucles ; c : plaques perforées ; d : bâtonnets.

a) Corpuscules turriformes

Les corpuscules turriformes ou tourelles sont formés d'un disque perforé surmonté d'une flèche formée de quatre piliers qui peuvent être reliés entre eux par une ou plusieurs entretoises (Fig. 04). Ces piliers sont à leur tour surmontés d'une couronne d'épines (Samyn *et al.*, 2006).

b) Boucles

La surface de la boucle présente toujours de petite aspérités coniques, pointues et assez rapprochés (**Fig. 04**). Ces boucles ont une forme ovale avec 3 paires d'orifices disposés symétriquement, mais souvent ces boucles s'allongent et offrent de 4 à 6 paires d'orifices successifs (**Samyn et al., 2006**).

c) Plaques perforées

Ce sont des spicules de tailles variables (**Fig. 04**). Elles sont généralement séparées sur la base du ratio longueur, de leur rugosité, de leur arrangement et du diamètre de leur perforations (**Samyn et al., 2006**).

d) Batônnetts

Ce sont des ossicules en forme de baguette allongée, lisse ou épineuse, simple ou ramifiée, perforée ou non, qui peut être renflée au centre et/ou distalement (**Fig. 04**). Les bâtonnets sont présents dans les podia, les papilles, les tentacules (**Samyn et al., 2006**).

III. Répartition géographique des holothuries

Certaines espèces se trouvent sur les substrats durs (roches, anfractuosités, récifs coralliens) ou en épibioses sur des végétaux ou des invertébrés. Elles sont surtout caractéristiques des fonds meubles, pouvant vivre soit à leur surface, soit, de manière temporaire ou permanente, dans le sédiment, n'exposant que leurs tentacules (**Belbachir, 2012**). D'après (**Mezali, 2011**), en Méditerranée est plus précisément dans les eaux algériennes, parmi les espèces dominantes se trouvent *Holothuria (H.) tubulosa*. L'espèce précitée est l'espèce la plus répandue en Méditerranée (**Fig. 05**).



Figure 05 : Répartition d'*Holothuria (H.) tubulosa* (zone hachurée en rouge) (Richon, 2008).

IV. Identification des holothuries

La détermination des holothuries est plus difficile que celle des autres Échinodermes, il est peu de groupes chez lesquels les erreurs se soient montrées aussi nombreuses, et chez lesquels la synonymie soit aussi compliquée (**Koehler, 1921**). L'identification est basée sur :

- La forme de leur structure endosquitique ;
- La forme de l'anneau calcaire (**Pawson et Barraclough-Fell, 1965**) ;
- L'arrangement des pieds ambulacraire ;
- Le nombre et l'arrangement des tentacules (**Pawson, 1966**) ;
- Le nombre de vésicules de poli ;
- La présence ou l'absence d'organe de Cuvier (**Conand et de Ridder, 1990**);
- La présence ou l'absence des dents anales (**Pawson, 1966**).

V. Rôle écologique des holothuries

La bioturbation des sédiments par un rythme nyctéméral (**Purcell *et al.*, 2016b**). Les dépositivores figurent parmi les plus grands consommateurs de matières détritiques des fonds marins, jouant ainsi un rôle important dans le déblaiement, le recyclage et le reconditionnement des nutriments, surtout des matières organiques (**Jumars et Self, 1986**). La technique employée par les diverses espèces d'holothuries pour puiser leurs aliments dans la couche supérieure des sédiments varie fortement en fonction de leurs tentacules et de la morphologie de leur appareil digestif (**Roberts *et al.*, 2001**). Les holothuries s'alimentent soit en ingérant les matières situées à la surface du substrat, soit en absorbant des sédiments riches en nutriments. Les sédiments ingérés par les holothuries dépositivores se composent principalement de matières inorganiques (restes de coquillages, corallines, squelettes – ou tests – de foraminifères, restes inorganiques du benthos, silicates), de matières détritiques organiques (plantes marines, algues, animaux morts en décomposition), de microorganismes (bactéries, diatomées, protozoaires et cyanophycées), ou de boulettes fécales expulsées par l'holothurie elle-même ou par d'autres animaux (**Massin, 1982; Moriarty, 1982**). Elles jouent par conséquent un rôle important dans le « detritus food web ». La quantité et la qualité des matières organiques varient d'année en année en fonction de nombreux facteurs, notamment des sédiments sous-jacents et, sans doute, des niveaux de **pollution** (**Dar, 2004**). Elles influencent aussi la chimie de l'eau qui les entoure par la dissolution de calcaire (qui vient compenser localement l'acidification). Elles ont la capacité de faire des associations avec de très nombreuses espèces de différents embranchements (crabes, crevettes, polychète, poisson etc.), qui donne lieu à des travaux novateurs en communication chimique marine (**Caulier *et al.*, 2016**).

VI. Reproduction

Généralement, les holothuries sont à sexes séparés (gonochoriques) et ne présentent pas de dimorphisme sexuel. Il est à cet effet impossible de discerner extérieurement les mâles des femelles (**Ramofafia *et al.*, 2000; Hamel *et al.*, 2001**). Les holothuries ont la capacité de se reproduire sexuellement ou asexuellement (**Fig. 06 ; 07**). Il y a des corrélations entre les facteurs environnementaux et une combinaison de caractères tels que la taille de corps, la disponibilité

alimentaire, la stabilité de l'habitat, la mortalité et la fourniture des larves. Ces facteurs interagissent les uns avec les autres et font partie d'un modèle qui prédit le type de reproduction qu'il présente (Mackey et Hentschel, 2001). Certaines espèces d'holothuries peuvent se reproduire de manière asexuée par fission (Fig. 07).



Figure 06 : Comportement de reproduction chez *Stichopus herrmanni* montrant (à gauche) un mâle libérant des gamètes qui attirent les petits poissons, et (à droite) la posture érigée typique des holothuries en train de frayer (Photo : Maria Byrne et Kennedy Wolfe, 2018).



Figure 07 : Individus d'*Holothuria (F.) hilla* après scission (Lee *et al.*, 2008). Individu postérieur (en haut) et individu antérieur (en bas). Les flèches indiquent les zones en régénération.

VII. Symbioses et commensalismes

De très nombreux petits animaux ainsi que certains parasites, peuvent vivre en symbiose ou en commensalisme avec les holothuries. Certaines crevettes nettoyeuses, notamment plusieurs espèces dont *Periclimenes imperator* vivent sur le tégument des holothuries. Le commensalisme est fréquent dans la cavité coelomique des grosses holothuries tropicales. On y trouve notamment plusieurs espèces de crabes et de crevettes nettoyeuses pouvant entrer et sortir librement de l'anus. Certains petits poissons comme les Carapidae (**Fig. 08**) séjournent et circulent librement dans l'anus et parfois une partie du tube digestif des grosses holothuries, où ils trouvent un abri mais aussi une aire de reproduction pour certaines espèces, qui peuvent y habiter en couple (**Rogers et al., 2018**).

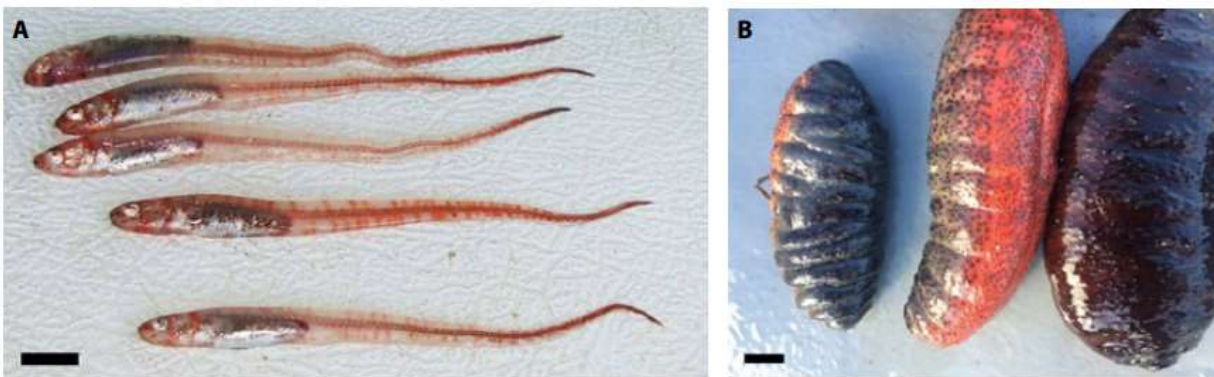


Figure 8 : Commensalisme chez les holothuries. A : *Carapus bermudensis* ; B : *Holothuria mexicana* (**Rogers et al., 2018**).

VIII. Importances économiques des holothuries

Outre leur importance écologique, les concombres de mer représentent une ressource économique appréciable pour de nombreuses populations. Les captures totales pour les régions de l'Asie et de l'Océanie sont de l'ordre de 20 000 à 40 000 tonnes par an ; les zones tempérées de l'hémisphère Nord prélèvent, aussi, une part considérable des prises mondiales (9 000 tonnes par an), alors que les prises d'holothuries sont relativement moins importantes en Afrique et dans l'océan Indien (2000 à 25000 tonnes par an), et elles sont particulièrement faibles en Amérique latine et dans la région des Caraïbes (moins de 1000 tonnes par an) (**Toral-Granda et al., 2008**) due à la non exploitation de ces espèces. Une fois pêchées, elles sont éviscérées et leur chair est

lavée et traitée (au sel, à l'eau bouillante et à la chaleur) pour devenir le produit exporté alors appelé trévang ou "bêche-de-mer" [Fig. 09]. Le commerce de la "bêche-de-mer", est l'une des formes les plus anciennes de commerce dans les îles du Pacifique (Conand et Byrne, 1993) ; il vise essentiellement à satisfaire les marchés orientaux d'aliments de luxe. Les principaux pays de consommation sont la Chine, Hong Kong, Taïwan, Singapour, la Corée et la Malaisie (Ferdouse, 2004) ; *Holothuria scabra*, *Holothuria fuscogilva* et *Holothuria nobilis* sont les espèces, les plus prisées, avec un prix atteignant 15-40 USD le kilogramme (Bruckner, 2006). La valeur globale des "bêches-de-mer" importées et réexportées vers et de Hong Kong entre 1999 et 2005 était de 453 millions d'USD (Toral-Granda, 2002). En effet, en réponse à la forte demande du marché chinois, quelques pays de l'Est de l'Atlantique et de la mer Méditerranée (Portugal, Espagne, Turquie, Italie et la Grèce) ont développé cette activité (Marquet *et al.*, 2017).



Figure 09 : Transformation des holothuries en bêche-de-mer. (A) bacs de ramassage des holothuries ; (B) *Actinopyga sp. aff. flammea* ; (C) marquage de *Holothuria fuscogilva* ; (D) pesage et enregistrement des données ; (E) ébouillantage ; (F) salage ; (G) échantillons étiquetés ; (H) produit séché ; (I) procédure habituelle de séchage au soleil (Ngaluafe *et al.*, 2018).

Dans les pays du Maghreb l'exploitation des holothuries vient de commencer. Au niveau de la Tunisie nous avons enregistré des propositions afin de commercialisés ces espèces. En effet (**Ben Mustapha et Hattour, 2016**) ont proposé en première approche une limite commerciale de 50 concombres de mer par jour, pendant seulement trois mois de l'année. Selon ces deux auteurs Tunisiens cette proposition conservatrice, pourrait être revue une fois qu'ils disposeront de plus d'informations sur l'impact écologique des prélèvements. En Algérie, (**Neghli et Mezali, 2019**) ont signalé des pêches illicites et destructives des holothuries (**Fig. 10**). Ces deux auteurs ont élaboré des recommandations afin d'établir des marchés légaux pour vendre des holothuries transformées en bêche-de-mer.



Figure 10 : Spécimens d'*Holothuria tubulosa* transformés en bêche-de-mer avant d'être vendus à des acheteurs chinois locaux (**Neghli et Mezali, 2019**). A) produit séché ; B) sélection de produits de qualité ; C) mise en sac pour la vente. (**Images : Slimane-Tamacha 2018**).

IX. Propriétés médicinales

Outre l'alimentation humaine, les holothuries sont aussi exploitées pour leurs propriétés médicinales. Sans cholestérol, avec une teneur élevée en protéine (55 % du poids sec du corps) et contenant 10-16 type de mucopolysaccharides et des saponines, les concombres de mer aideraient à réduire les douleurs arthritiques (**Toral-Granda, 2006**). Les saponines qu'ils renferment, toxiques en doses importantes, présenteraient en dose homéopathique des propriétés anti-inflammatoires et anticancéreuses (**Toral-Granda, 2006**). Les holothuries possèderaient en outre des agents antibactériens et antifongiques (Toral-Granda, 2006). Le liquide coelomique de certaines espèces d'holothuries présenterait aussi une activité anti-oxydante (**Hawa et al., 1999**)

Ainsi, en Chine, une vingtaine d'espèces d'holothuries comestibles sont considérées depuis longtemps comme des aliments toniques et des médicaments traditionnels (Chen, 2005). En Malaisie, certaines espèces appartenant à la famille des Stichopodidés sont utilisées pour la guérison de blessure, le traitement d'ulcère de l'estomac et comme calmant.

X. Holothuriculture

Les premières formes d'élevage d'holothuries ont été développées au Japon où elles sont pratiquées depuis le 18^e siècle (Tanaka, 1992). Des pierres étaient à cette époque le plus souvent utilisées, placées au fond de la mer pour fournir un habitat semi-naturel et rassembler des juvéniles et des géniteurs de certaines espèces d'holothuries (Tanaka, 1992). Une véritable aquaculture industrielle a débuté en Chine dans les années quatre-vingt avec l'élevage d'une espèce tempérée très prisée *A. japonicus* (Chen, 2005).

Actuellement, presque partout dans le monde, l'holothuriculture tient une place importante dans la filière aquacole. Grâce au perfectionnement des méthodes d'élevage (Fig. 11). Il est actuellement possible de produire en éclosérie des centaines de milliers de juvéniles qu'on peut lâcher ensuite dans le milieu naturel pour aider à accélérer la reconstitution de stocks épuisés et assurer la viabilité de la pêche d'holothuries (Purcell, 2004).



Figure 11 : Holothuriculture. (À gauche) Bassin utilisé pour la polyculture d'holothuries de sable, d'huîtres perlières et de mérous. (À droite) Holothuries de sable fraîches pêchées dans les bassins de polyculture de Chine méridionale (Purcell et Wu, 2017).

Chapitre II :

Matériels et méthodes

I. Rappel historique et objectif de l'étude

Si le rôle écologique des holothuries est largement bien maîtrisé aujourd'hui, la taxinomie de plusieurs groupes de ces espèces est encore balbutiante, et, au cours des dix dernières années, certaines espèces ont été redéfinies. Par exemple, le statut taxinomique de *H. tubulosa*, *H. stellati*, *H. dakarensis* et *H. mammata* a été sujet de beaucoup de discussions et de changements dans la littérature. (Koehler, 1921; Koehler, 1927) a considéré *H. tubulosa*, *H. stellati* et *H. mammata* des espèces distinctes et bien séparées. Panning (1934) a noté des ressemblances entre ces espèces et il a maintenu le rang spécifique de *H. mammata* tout en considérant *H. stellati* comme étant une variété de *H. tubulosa*. En 1940 (Panning, 1940) a considéré *H. stellati* comme étant une super-espèce composé de quatre espèces : *H. stellati*, *H. stellati tubulosa*, *H. stellati mammata* et *H. stellati dakarensis*. (Cherbonnier, 1950) a reconnu *H. tubulosa*, *H. mammata* et *H. dakarensis* comme étant des espèces séparées et a confirmé leurs statuts taxinomiques spécifique ainsi que les caractéristiques qui les différencient. (Tortonese, 1965a) a aussi entré dans ce débat en étudiant des échantillons des côtes Italienne ou il a identifié *H. mammata* et *H. tubulosa*. Ce même auteur a conclu sur la difficulté d'établir le statut taxinomique de *H. stellati* et il a recommandé d'autres études taxinomiques afin de situer la position exacte de *H. stellati* et de déterminer sa relation avec *H. tubulosa*. (Rowe, 1969) et (Ahmed, 1988) ont distingué 18 sous genres d'*Holothuria* et ont conclu qu'il est impératif de signaler entre parenthèses ces sous genres. De plus, (Rowe, 1969) a conclu qu'il est possible de distinguer les espèces du sous genre *Holothuria* par la taille de leurs endosquelette (sclérites). (Gustato et al., 1980) ont étudié la systématique et la fréquence d'occurrence des espèces du genre *Holothuria* dans le golfe de Naples (Italie) et l'accent a été mise sur la définition du statut taxinomique de *H. (H.) stellati*. Ces auteurs ont reconnu *H. (H.) tubulosa* de *H. (H.) stellati* et ont présenté une comparaison détaillée entre ces deux espèces (dans l'eau et en dehors de l'eau) ainsi que la morphologie et le pourcentage de leurs sclérites. (Zavodnik, 2003) a mentionné que la position taxinomique de *H. (H.) stellati* reste encore très ambiguë et débattue. (Mezali, 2008) et (Mezali et Paulay, 2009) ont proposé des résultats confluant et ont conclu que *H. (H.) stellati* existe en méditerranée d'après les résultats obtenus sur l'analyse morphologique et endosquelettique de cette espèce. Ces mêmes auteurs ont émis l'hypothèse de l'existence de deux morphotypes pour *H. (H.) tubulosa* (A & B) ainsi qu'un cas d'hybridisme entre *H. (H.) stellati* et *H. (R.) poli*.

Holothuria (H.) tubulosa **A** correspond à *Holothuria (Holothuria) tubulosa* classique précédemment décrite par **(Koehler, 1921)** alors que le morphotype **B** est considéré comme étant une espèce totalement différente d'*Holothuria (H.) tubulosa*. Ce résultat a été confirmé ultérieurement dans les études de **(Mansouri, 2015; Mansouri et al., 2016; Mansouri et Mezali, 2017, 2018)**.

Dans la présente étude, le statut taxinomique des deux morphotypes de *H. (H.) tubulosa* (**A & B**) a été réévalué par une étude statistique de leurs endosquelettes. Pour réaliser une étude taxinomique pertinente, nous avons ajouté des individus de l'espèce *Holothuria (R.) arguinensis*.

II. Zone d'étude

II.1. Crique de la Salamandre (35°54'35.85"N/0° 3'15.02"E)

La Crique de la Salamandre est située au Sud-Ouest de la ville de Mostaganem. La plage a la forme d'un petit anse (**Fig. 12**). Elle est limitée en arrière par une falaise constituée par des différentes roches. La partie centrale est caractérisée par des substrats sableux alors que les deux parties droite et gauche sont caractérisées par des substrats rocheux. Notamment le côté gauche où nous avons constaté la présence des blocks de roches énormes. Durant l'échantillonnage nous avons enregistré une absence totale de l'herbier à *Posidonia oceanica*. Ce site en termes de biodiversité est moins riche que d'autre sites (par exemple le site de Stidia) et ceci s'explique par le fait que cette plage été l'endroit où se déversent des rejets urbains et industrielles. Notamment les rejets issus du complexe « Senic ».



Figure 12 : La Crique de la Salamandre.

II.2. Echantillonnage et traitement des échantillons

Les individus de deux morphotypes d'*Holothuria (H.) tubulosa* (A & B) et d'*Holothuria (R.) arguinensis* ont été prélevés dans une station de la côte de Mostaganem [la Crique de la Salamandre (**Fig. 12**)]. L'échantillonnage a été réalisé en apnée sur une profondeur qui varie entre -0.5 et -2 m de fond (**Fig. 13**). Un ensemble de 11 individus a été récolté [3 individus du morphotype A d'*Holothuria (H.) tubulosa*, 4 individus d'*Holothuria (H.) tubulosa* B et 4 individus d'*Holothuria (R.) arguinensis*]. Chaque individu a été mis dans un sachet avec son identifiant.



Figure 13 : Echantillonnage des holothuries.

II.3. Traitement des échantillons

Au laboratoire, chaque individu fraîchement collecté a été anesthésié au chlorure de magnésium pour le relaxer afin de pouvoir photographier toutes les parties du corps (bivium, trivium, tentacules) pour la description morphologique.

Pour l'étude de l'endosquelette, nous avons utilisé le protocole qui est modifié par **Mezali (2012)**. Pour cela, Les sclérites ont été isolées en prélevant un morceau de tissus (sur les deux faces du corps). Ce morceau de tissu a été mis dans de l'eau de Javel commerciale. Après une

durée de 10 mn environ, la préparation a été rincée 4 à 7 fois à l'eau distillée puis une goutte a été mise entre lame et lamelle pour l'observation des sclérites au microscope photonique (Grossissement 40X). Le microscope est attaché à une tablette de marque ACER qui nous a permis de prendre des photos directement (**Fig. 14**). Ensuite chaque photo a été calibrée par une échelle afin de faire les mensurations.

Les mensurations ont été réalisées en suivant la méthode de **Mansouri (2015)**. Cette méthode repose sur l'utilisation d'un logiciel qui s'appelle "ImageJ". Ce logiciel nous a permis d'obtenir une multitude de mesures, tel que : la surface et le périmètre des sclérites. Afin d'augmenter la qualité d'images, le logiciel "Photoshop VII" a été utilisé. Ce dernier nous a permis de couper les sclérites et de les organiser par les différents outils qu'il dispose.



Figure 14 : Prise de photos de sclérites à l'aide d'une tablette intégrée au microscope photonique.

III.4. Mesures adoptées (les variables)

Nous avons choisi 09 variables afin de faire nos analyses statistiques. Le tableau **02** décrit les différents types de variables utilisées.

Tableau 02 : les mensurations (variables) réalisées sur les sclérites des holothuries étudiées.

Abréviations		Description de la variable
longb [*]		Longueur des boucles
largb [*]		Largeur des boucles
surfb [*]		Surface des boucles
périmb [*]		Périmètre des boucles
nmbtb [*]		Nombre de trous des boucles
diamdt [*]		Diamètre du disque des tourelles
surfdt		Surface du disque des tourelles
périmdt		Périmètre du disque des tourelles
Les ratios (indices)		
Abréviations	Formule	Description
FA	largb/longb	C'est le ratio entre la largeur des boucles et la longueur des boucles, leur valeur variée entre 0 et 1. des petites valeurs de "FA" Indiquent des boucles qui ont une forme allongée.

(*) Signifiées les variables qui ont été déjà utilisées dans l'étude précédente Mansouri (2015).

Pour chaque face (dorsale et ventrale) cinq boucles et cinq tourelles ont été choisis et sélectionner pour les mesurer¹. Ces mensurations ont été effectuées sur un ensemble de 11 individus.

III. Analyse factorielle discriminante (AFD)

L'analyse discriminante est utilisée pour déterminer les variables qui permettent de discriminer deux ou plusieurs groupes se produisant naturellement. La méthode la plus utilisée est l'analyse discriminante linéaire de Fisher (**Fisher, 1936**). Cependant, avant de lancer une analyse discriminante la normalité multidimensionnelle et l'égalité de matrices de covariances doivent être vérifiées.

¹ Pour l'analyse statistique le critère « face dorsale ou ventrale » n'a pas été pris en considération.

III.1. Analyse pas-à-pas ascendante

Dans l'analyse discriminante pas-à-pas, le logiciel statistique construit un modèle de discrimination pas-à-pas. Plus précisément, à chaque étape, le logiciel examine toutes les variables et évalue celle qui contribue le plus à discriminer les groupes. Cette variable est alors introduite dans le modèle, puis l'algorithme du logiciel passe à la seconde variable et ainsi de suite jusqu'à l'évaluation (en terme du pouvoir discriminant) de toutes les variables présentes dans le jeu de données.

III.2. Test de pouvoir discriminant (MANOVA)

Le lambda de Wilk (Λ_{Wilk}) est l'indicateur privilégié pour l'évaluation statistique du modèle. C'est une statistique qui compare simultanément plusieurs moyennes en mesurant la part d'inertie intraclasse dans l'inertie totale. Plus précisément, c'est le déterminant de la matrice des variances-covariances intraclasse divisé par le déterminant de la matrice des variances-covariances totale. Il est donc compris entre 0 (bonne discrimination) et 1. L'approximation F du lambda de Wilk se calcule en suivant les formules de **(Rao, 1951)**.

IV. Classification ascendante hiérarchique (CAH)

La classification hiérarchique construit une hiérarchie de clusters, ou autrement dit, un arbre de clusters, connue aussi sous le nom de dendrogramme (**Fig. 15**). Une telle approche permet d'explorer les données à travers différents niveaux de granularité. Les méthodes de la classification hiérarchique sont divisées en deux types d'approches : ascendante, dite agglomérative et descendante, dite divisive (**Jain et Dubes, 1988; Kaufman et Rousseeuw, 2009**) qui sont présentées dans la première (ascendante) qui est la plus couramment utilisée consiste, à construire la hiérarchie à partir des objets (au départ on a un objet par classe), puis à fusionner les classes les plus proches, afin de n'en obtenir plus qu'une seule contenant tous les objets (**Rogouschi, 2009**).

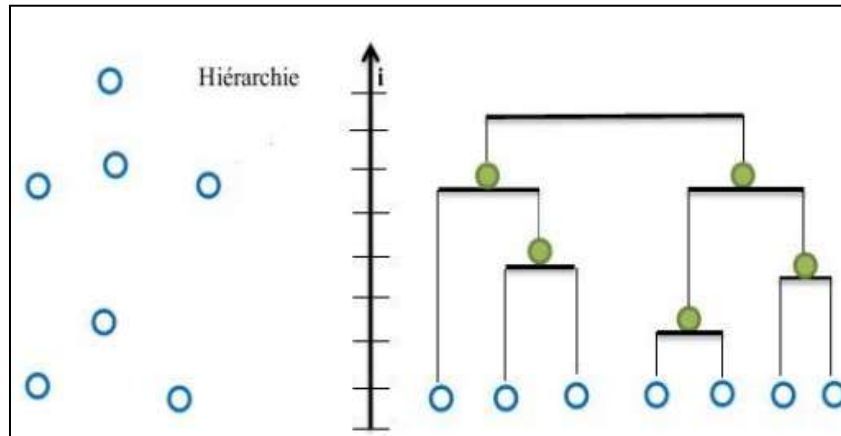


Figure 15 : Exemple d'une classification ascendante hiérarchique.

IV.1. Définition du critère de distance

Le plus souvent on utilise le carré de la distance euclidienne usuelle. Supposons que nous observions k caractères ($X_1, X_2 \dots X_k$) sur un ensemble d'individus, le carré de la distance euclidienne entre deux individus du groupe (individus A et B) sera donné par :

$$d^2(A, B) = \sum_{j=1}^k (x_{Aj} - x_{Bj})^2$$

IV.2. Méthode de Ward

La méthode de Ward (minimisation de la variance intragroupe) (**Ward, 1963**) est la plus adaptée pour réaliser une CAH. Cette technique d'agrégation est représentée par un dendrogramme qui facilite l'interprétation des résultats.

V. Traitement statistique des données

Les principaux paramètres statistiques utilisés sont :

- **Moyenne arithmétique**

Le calcul de la moyenne est réalisé à partir de la formule suivante :

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum x_i$$

Avec :

x_i : La valeur de la variable considérée et N : l'effectif total

- **Ecart-type**

L'écart type (S) est égal à la racine carrée de la variance (S^2) calculée comme suite :

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}$$

Chapitre III :

Résultats et discussion

I. Identifications des espèces d'holothuries échantillonnées

Concernant l'identification morphologique, nous avons utilisé les descriptions de (Mezali, 2008) et (Mansouri, 2015). Pour l'étude des sclérites nous avons comparé les données endosquelettiques de ces espèces avec ceux de la littérature, essentiellement les descriptions faites par (Koehler et Vaney, 1906), (Koehler, 1921), (Tortonese, 1965b), (Rowe, 1969), (Mezali et Thandar, 2014) et (Mansouri, 2015).

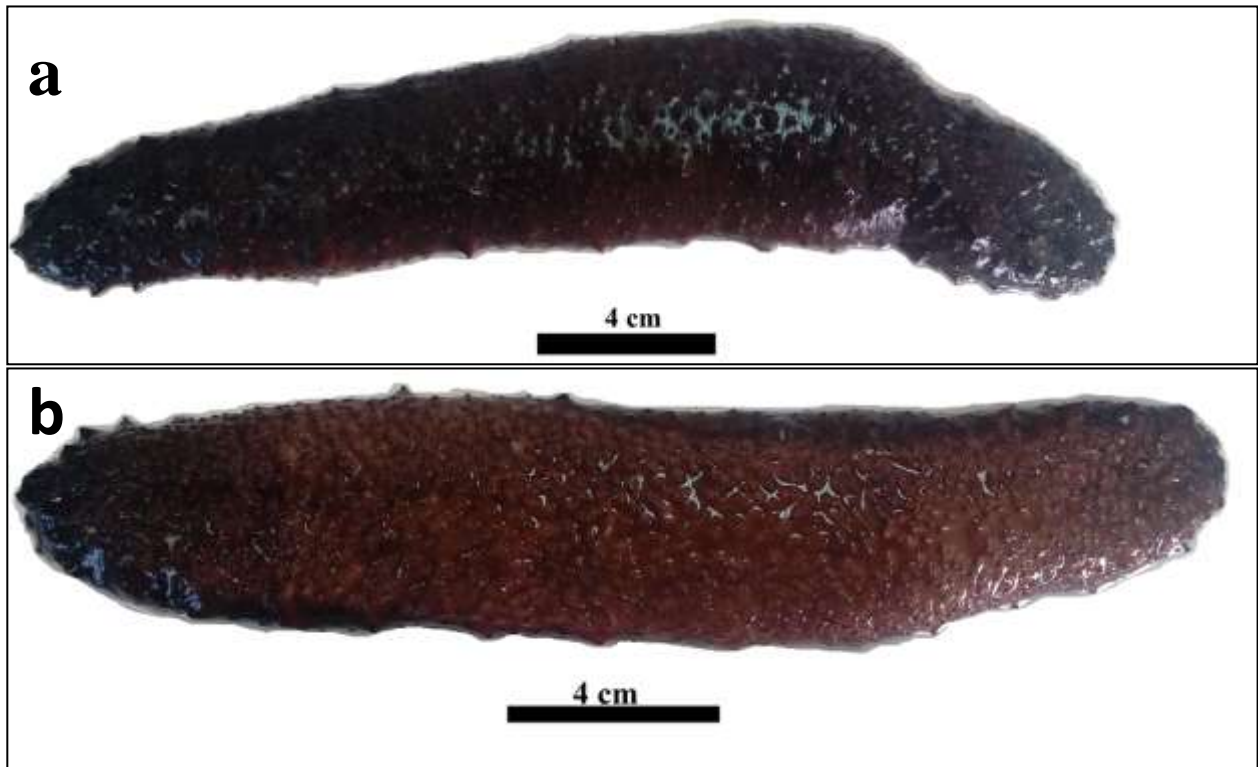


Figure 16 : Morphologie externe d'un individu de *Holothuria (H.) tubulosa* **A.** (a) : vue dorsale ; (b) : vue ventrale.

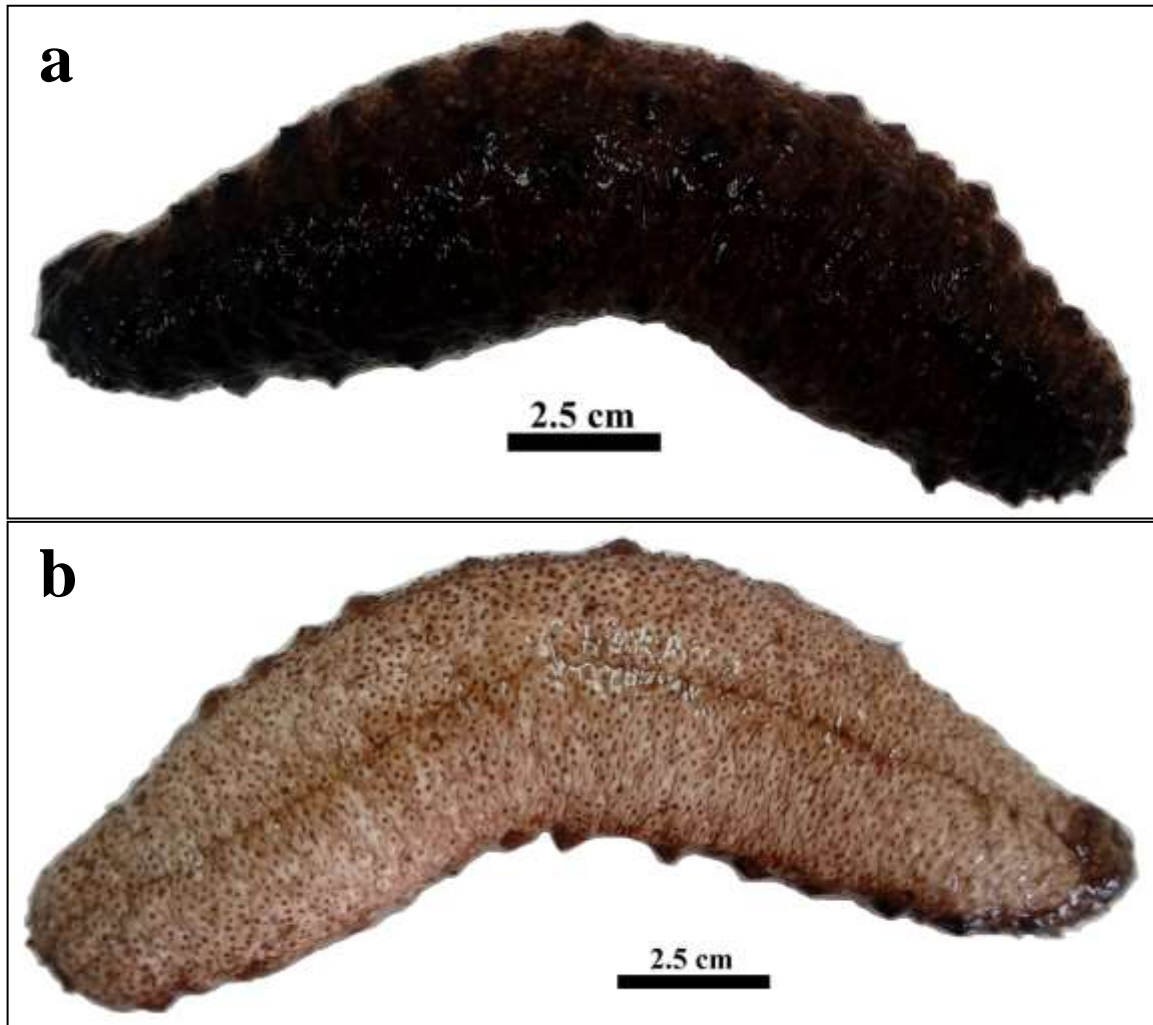


Figure 17 : Morphologie externe d'un individu de *Holothuria (H.) tubulosa* B. (a) : vue dorsale ; (b) : vue ventrale.

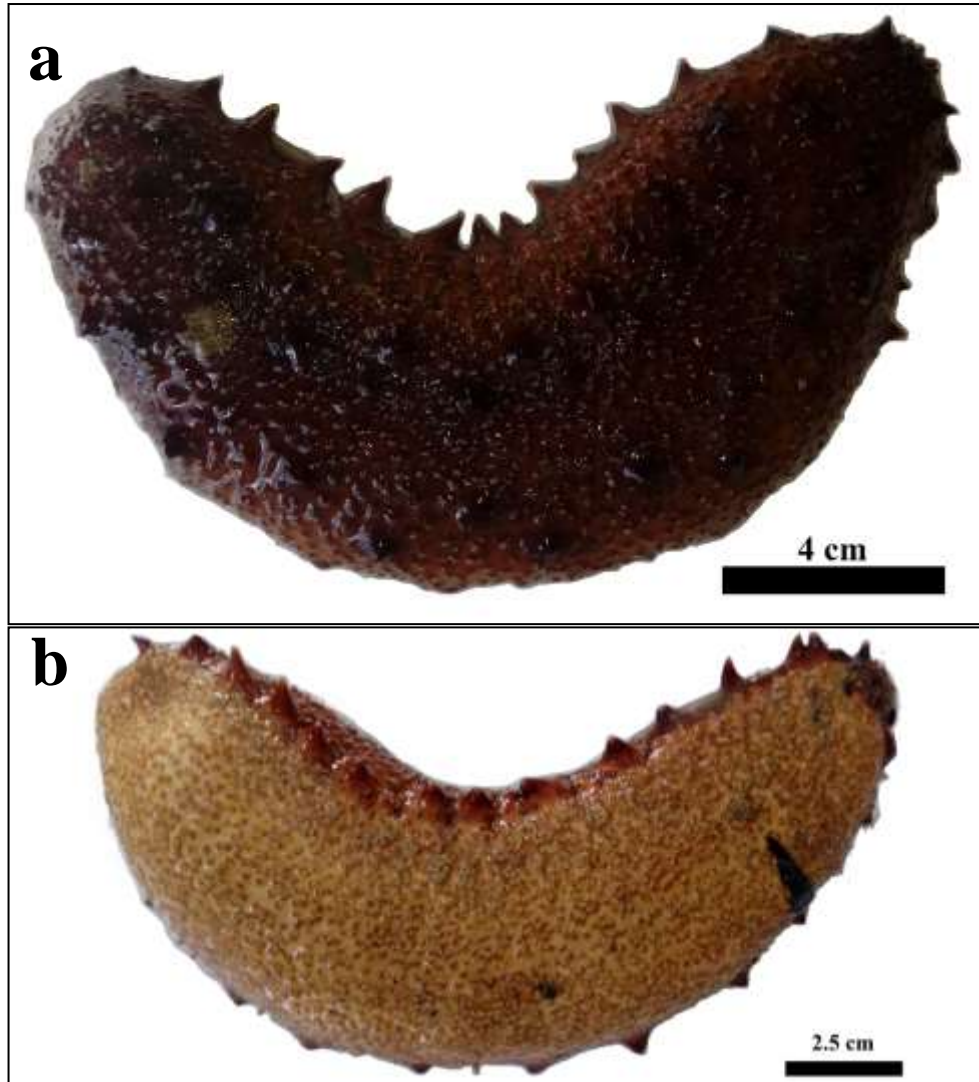


Figure 18 : Morphologie externe de l'individu de *Holothuria (R.) arguinensis*. (a) : vue dorsale ; (b) : vue ventrale.

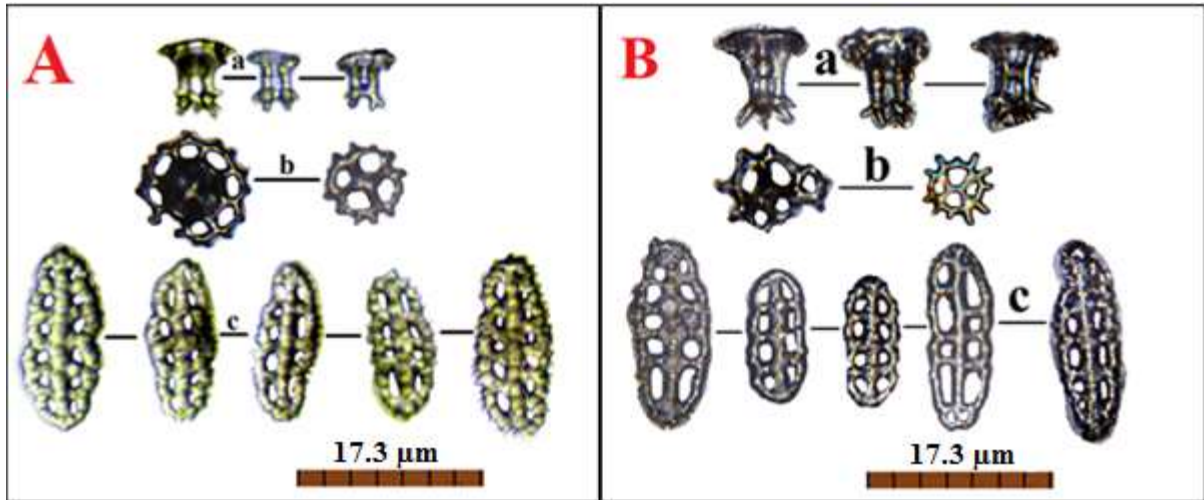


Figure 19 : Quelques sclérites de *Holothuria (H.) tubulosa* "A". A : face dorsale ; B : face ventrale. a : corpuscules turriformes (vue de profil) ; b : corpuscules turriformes (vue de dessous) ; c : boucles.

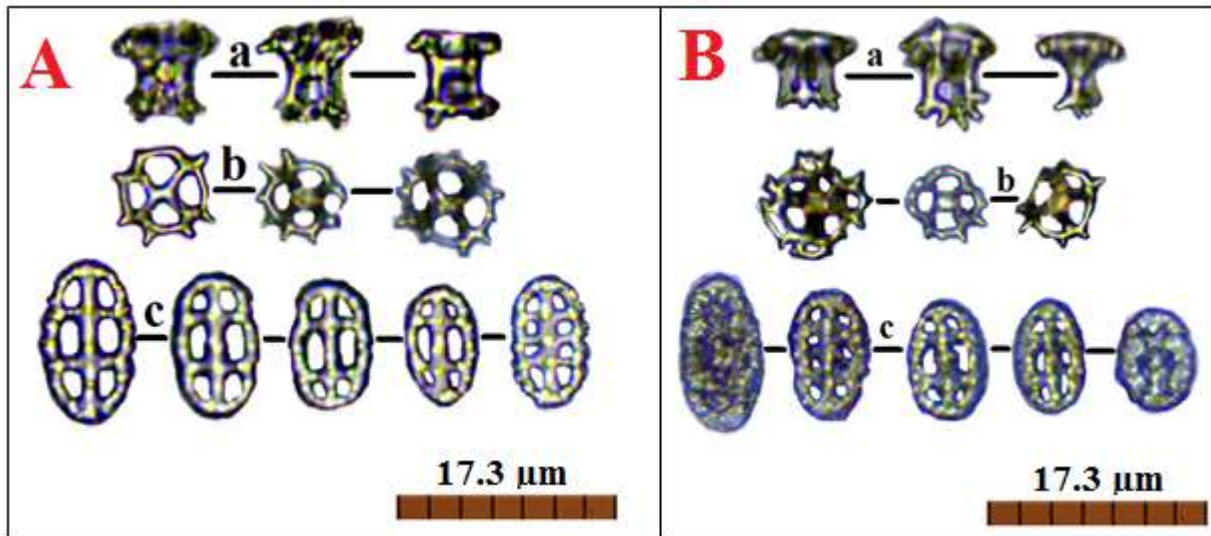


Figure 20 : Quelques sclérites de *Holothuria (H.) tubulosa* "B". A : face dorsale ; B : face ventrale. a : corpuscules turriformes (vue de profil) ; b : corpuscules turriformes (vue de dessous) ; c : boucles.

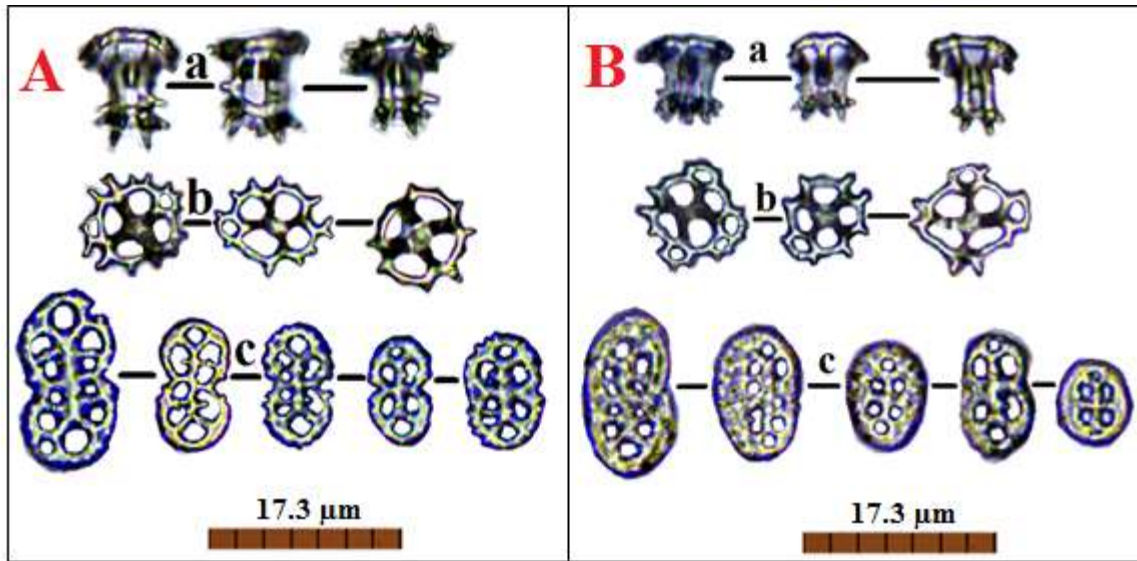


Figure 21 : Quelques sclérites de *Holothuria (R.) arguinensis*. A : face dorsale ; B : face ventrale. a : corpuscules turriformes (vue de profil) ; b : corpuscules turriformes (vue de dessous); c : boucles.

II. Résultats des mensurations effectuées sur les sclérites des holothuries étudiées

Au total 990 mesures ont été réalisées sur les sclérites (boucles et tourelles) des individus échantillonnés. Les valeurs moyennes de ces mesures sont représentées dans le tableau 03.

Tableau 03 : Valeurs moyennes (\pm écart-type) des mensurations réalisées sur les sclérites de trois espèces d'holothuries étudiées. Se référer au tableau 02 pour les abréviations des variables.

Espèce	longb (μm)	largb (μm)	surfb (μm^2)	périmb (μm)	nmbtb	FA	diamdt (μm)	surfdt (μm^2)	périmdt (μm)
<i>H. (H.) tubulosa</i> A	12.57 \pm 2.72	6.87 \pm 0.13	74.68 \pm 11.52	34.04 \pm 6.30	6.17 \pm 0.55	0.57 \pm 0.13	9.03 \pm 0.62	66.98 \pm 6.42	36.76 \pm 2.00
<i>H. (H.) tubulosa</i> B	9.65 \pm 1.62	5.83 \pm 0.33	42.68 \pm 7.70	26.99 \pm 3.14	5.40 \pm 0.85	0.61 \pm 0.08	7.33 \pm 0.69	44.24 \pm 8.23	32.82 \pm 4.18
<i>H. (R.) arguinensis</i>	13.78 \pm 1.59	7.09 \pm 0.81	74.40 \pm 14.65	37.72 \pm 3.50	8.68 \pm 0.67	0.51 \pm 0.02	9.55 \pm 2.59	58.64 \pm 18.47	37.96 \pm 7.28

II.1. Présentations graphiques des valeurs moyennes de mensurations effectuées sur les sclérites des holothuries étudiées

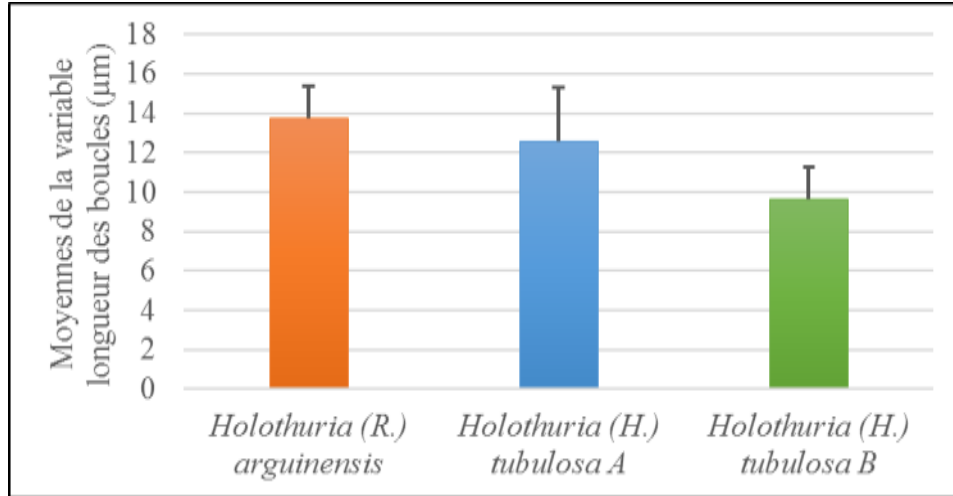


Figure 22 : Moyennes de la variable longueur des boucles chez les trois espèces étudiées.

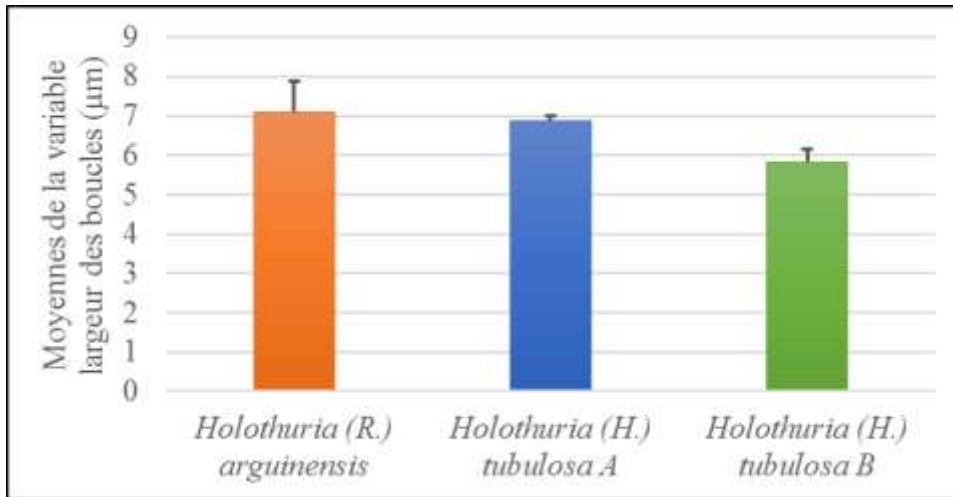


Figure 23 : Moyennes de la variable largeur des boucles chez les trois espèces étudiées.

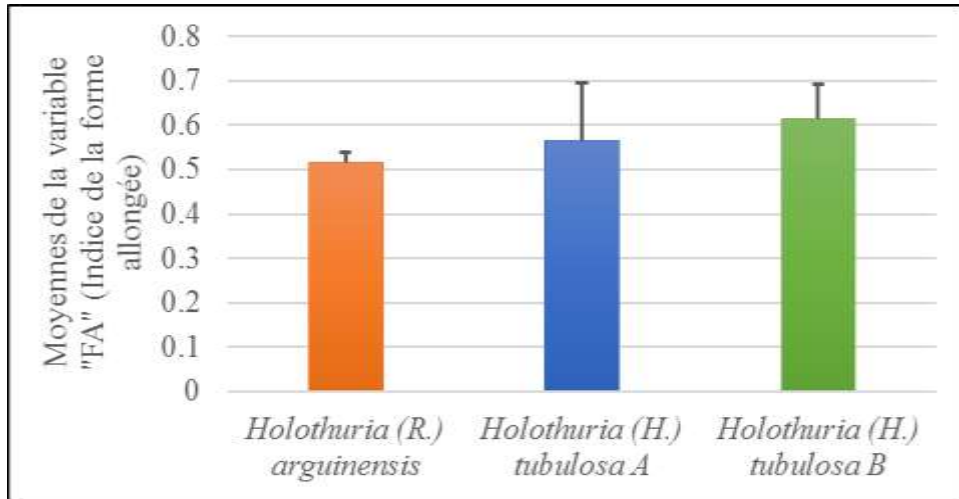


Figure 24 : Moyennes de l'indice FA (Forme allongée des boucles) chez les trois espèces étudiées.

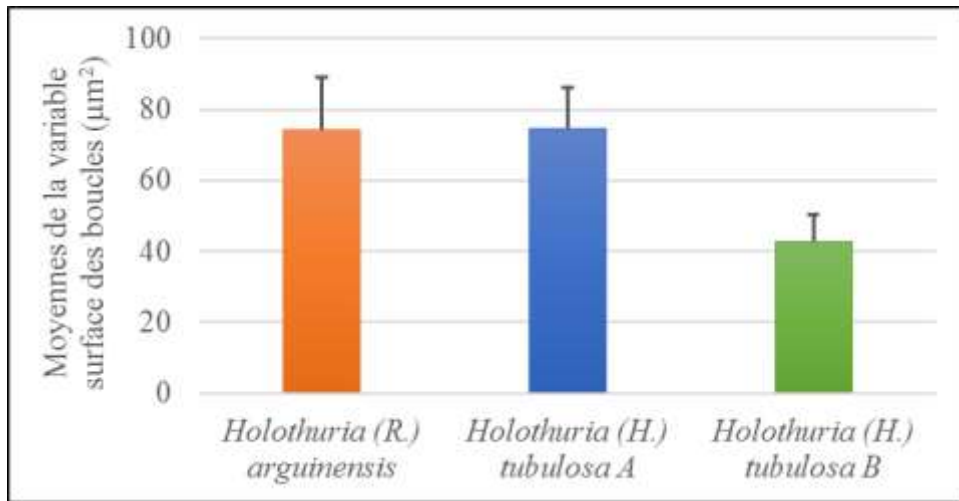


Figure 25 : Moyennes de la variable surface des boucles chez les trois espèces étudiées.

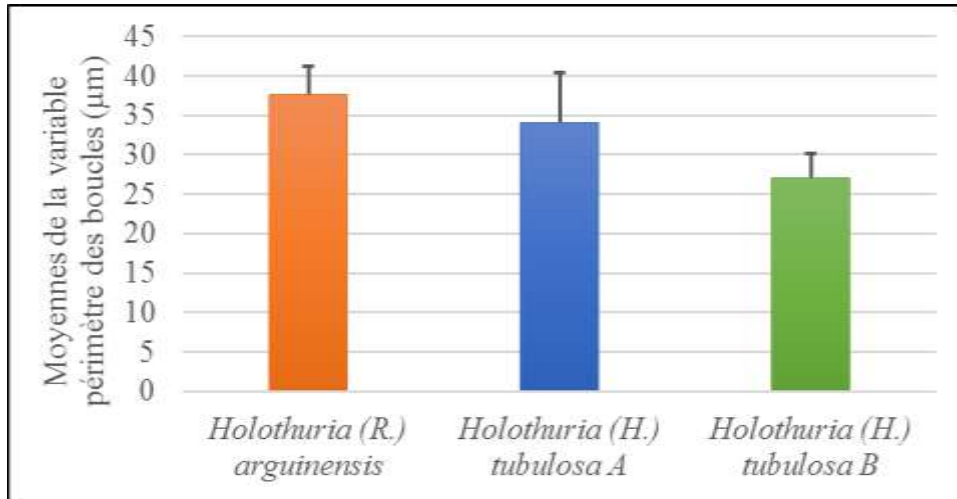


Figure 26 : Moyennes de la variable périmètre des boucles chez les trois espèces étudiées.

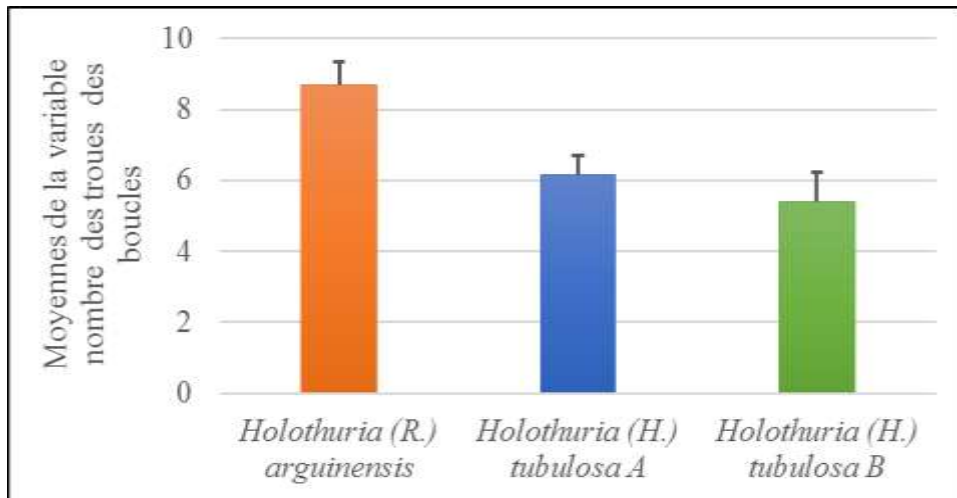


Figure 27 : Moyennes de la variable nombre des trous des boucles chez les trois espèces étudiées.

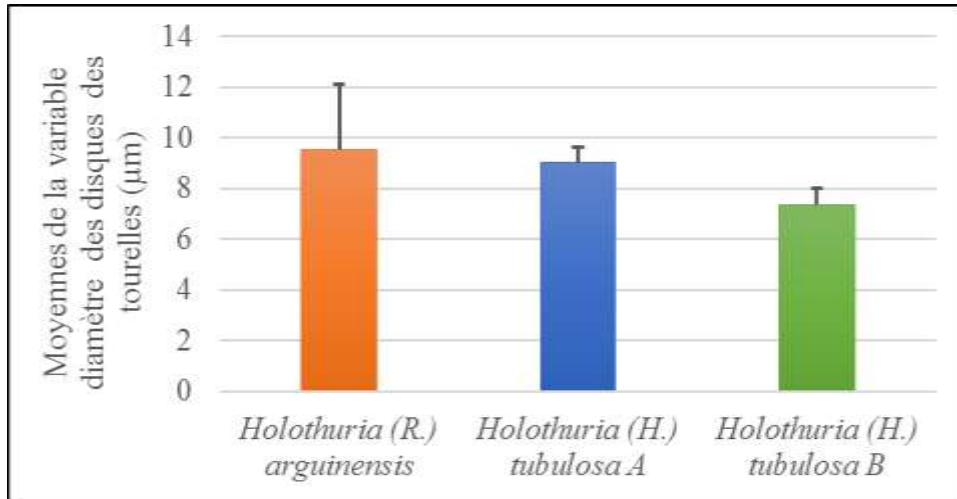


Figure 28 : Moyennes de la variable diamètre des disques des tourelles chez les trois espèces étudiées.

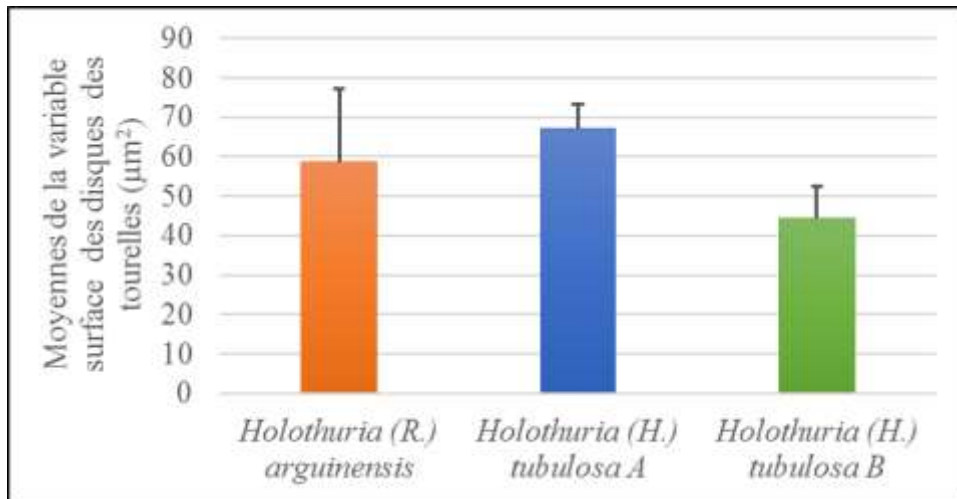


Figure 29 : Moyennes de la variable surface des disques des tourelles chez les trois espèces étudiées.

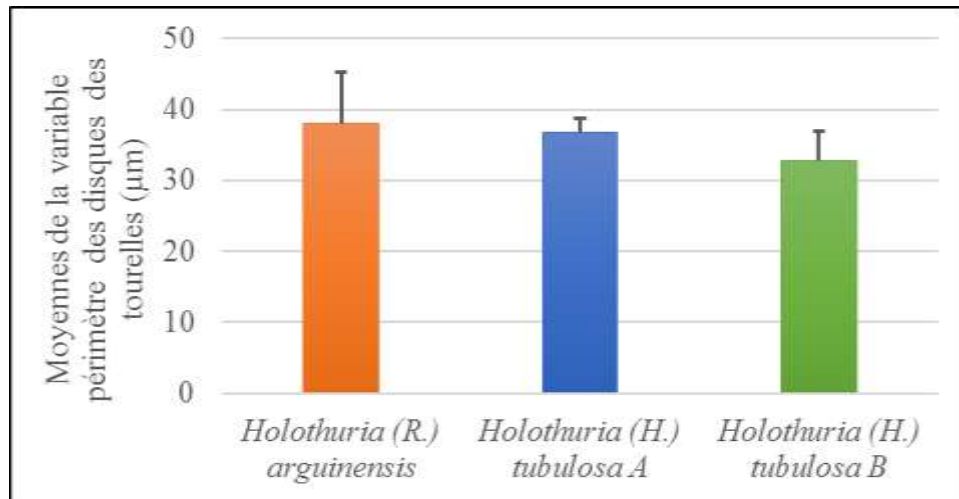


Figure 30 : Moyennes de la variable périmètre des disques des tourelles chez les trois espèces étudiées.

Nous avons constaté que l'espèce *Holothuria (R.) arguinensis* est caractérisée par des boucles plus grandes que celles des autres espèces en termes de longueur, largeur, périmètre, et nombre des trous (**Tab. 05 ; Fig. 22 ; 23 ; 26 et 27**). Cette espèce a aussi des tourelles qui ont des diamètres des disques et des périmètres des disques plus élevées par rapport les mêmes paramètres enregistrés chez les tourelles de deux morphotypes d'*Holothuria (H.) tubulosa A & B* (**Tab. 03 ; Fig. 28 et 30**). Nous avons fait une comparaison entre les mensurations réalisées sur les sclérites de deux morphotypes d'*Holothuria (H.) tubulosa [A & B]* et nous avons constaté que les individus de l'espèce *Holothuria (H.) tubulosa A* sont caractérisées par des boucles plus grandes en termes de longueur, largeur, surface, périmètre et nombre des trous par rapport celles enregistrées chez les boucles du deuxième morphotype (**Tab. 03**). La même remarque a été constatée pour les tourelles, tandis que les boucles du morphotype **A** sont beaucoup plus allongées par rapport celles du morphotype **B** (FA=0.57 et 0.61 pour les deux morphotypes respectivement **Tab. 03**).

III. Résultats de l'analyse factorielle discriminante (AFD)

III.1. Résultats de la MANOVA

Tableau 04 : Test de la MANOVA

Statistique	Valeur	p
Lambda de Wilk	0.06	-
Rao--F (4 ; 14)	10.81	***

Les résultats obtenus ont montré qu'il existe une différence hautement significative entre les trois espèces d'holothuries étudiées [MANOVA à $p < 0.05$ (Tab. 04)]. La normalité a été vérifiée par le test d'Anderson–Darling à $p > 0.05$. Alors que l'homoscédasticité des matrices de covariance des groupes a été vérifiée par le test de M de Box à $p > 0.05$ (Annexe 01). Le lambda de Wilk est égal à 0.06. Cette valeur indique que le modèle discriminant est très bon.

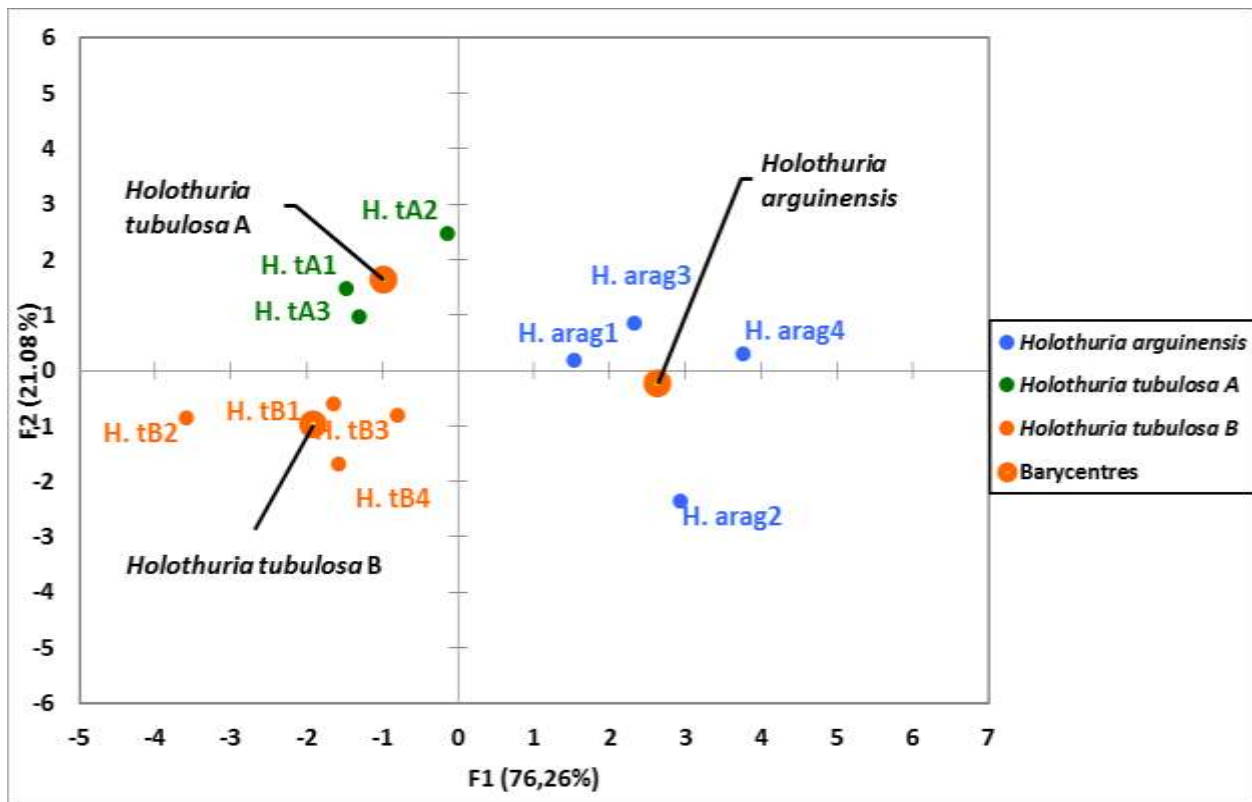


Figure 31 : Projection des individus dans le plan factoriel. **H. tA** : *Holothuria tubulosa* "A" ; **H. tB** : *Holothuria tubulosa* "B" ; **H. arag** : *Holothuria arguinensis*.

Le premier axe de l'AFD explique 76.26% de l'inertie totale, le deuxième axe explique 21.08% donc le premier plan explique 97.34 % de l'inertie totale (Fig. 31). Les barycentres des nuages de points sont bien séparés (Fig. 32). La variable forme allongée des boucles "FA" est corrélée négativement avec le premier axe alors que les autres variables sont corrélées positivement avec cet axe. Le même résultat a été enregistré pour le deuxième axe. On constate que le premier axe sépare *Holothuria (R.) arguinensis* de deux autres espèces. Alors que le deuxième axe sépare les individus de deux morphotype d'*Holothuria (H.) tubulosa* (A & B).

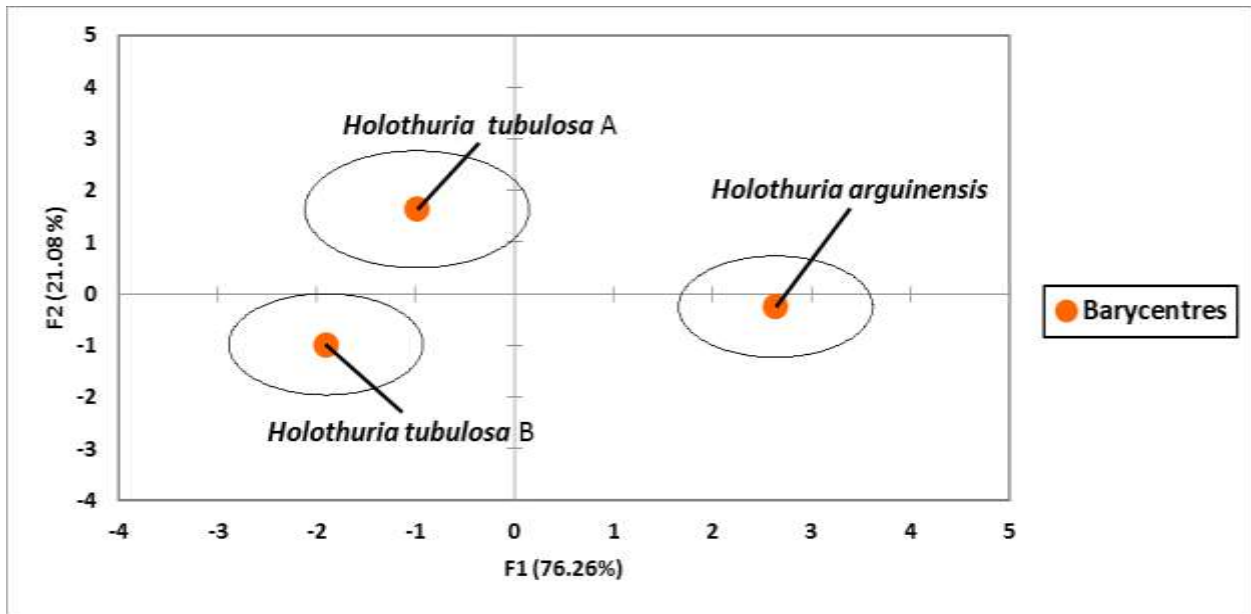


Figure 32 : Les barycentres (centres de gravités) de chaque type d'espèce avec les ellipses de confiance à 95%.

Tableau 05 : Corrélation des variables avec les axes de l'AFD. Se référer au tableau 02 pour les abréviations

Variables	F1 (Axe 01)	F2 (Axe 02)
longb	0.766	0.524
largb	0.659	0.622
surfb	0.641	0.768
périmb	0.794	0.534
nmbtb	0.999	0.036
FA	-0.655	-0.234
diamdt	0.563	0.580
surfdt	0.333	0.808
périmdt	0.514	0.504

III.2. Analyse discriminante pas-à-pas ascendante

L'analyse discriminante pas-à-pas ascendante a montré que les 8 variables (mesures) sélectionnées sur les sclérites (nmbtb, surfb, longb, largb, périmb, diamdt, le ratio FA, et périmdt ; Fig. 33) sont importantes pour discriminer les espèces, car lorsqu'on évalue leur pouvoir discriminant en utilisant la statistique lambda de Wilk, on constate qu'elles sont plus riches en informations pour la discrimination des espèces. Pour ce jeu de données, les deux variables (nmbtb et surfb) sont les discriminantes (Fig. 33, annexe 02).

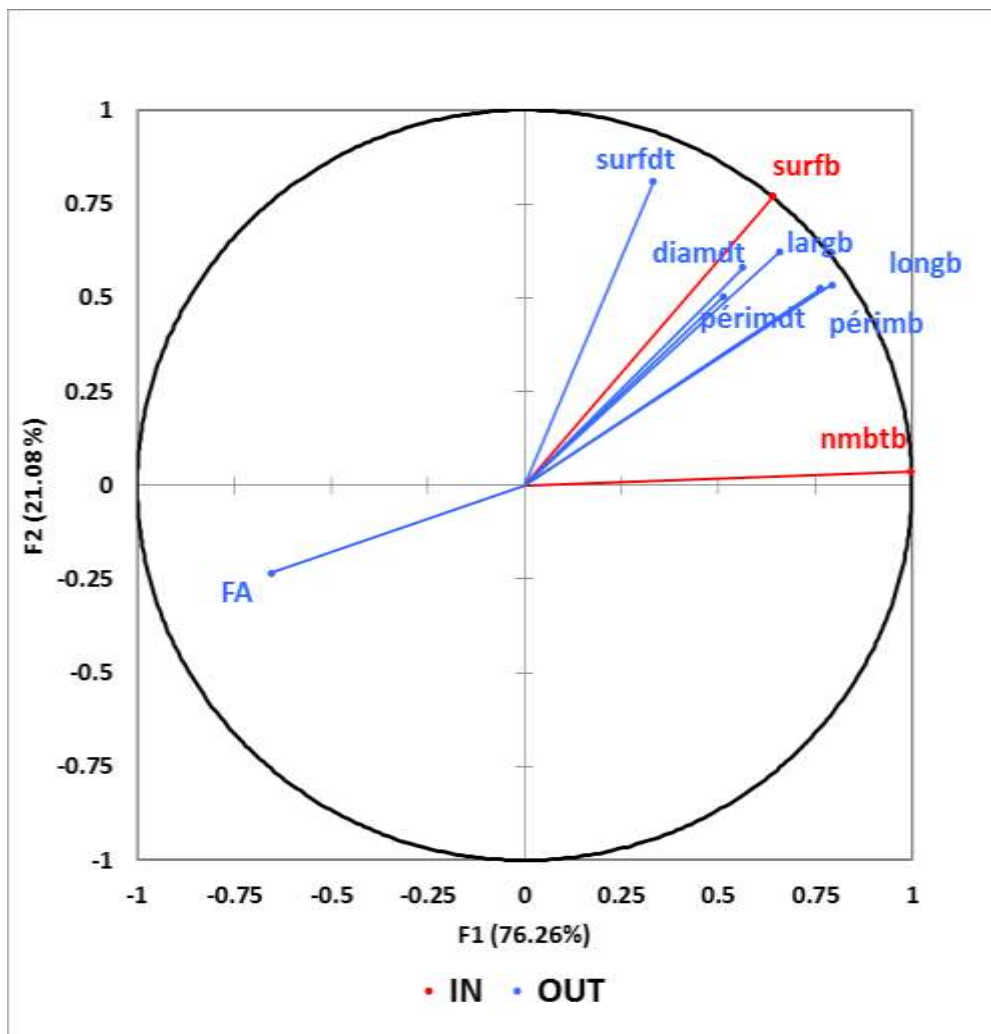


Figure 33 : Les variables sélectionnées par le modèle discriminant. (IN : variables prises par le modèle discriminant ; OUT : variable exclues de modèle discriminant). Se référer au tableau 02 pour les abréviations

IV. Classification ascendante hiérarchique

Le dendrogramme obtenu à partir des mesures effectuées sur les formes de sclérites (boucles et tourelles) (**Fig. 34**) a permis de séparer les deux morphotypes de *Holothuria (H.) tubulosa* (**A** & **B**). On s'aperçoit clairement la présence de deux grands groupes d'holothurides ; le premier est constitué des individus d'*Holothuria (H.) tubulosa* **B** uniquement alors que le second groupe englobe deux classes monophylétiques (**Fig. 34**). Ces deux classes sont constituées essentiellement d'*H. (R.) arguinensis* et *H. (H.) tubulosa* **A** (classique). Les résultats de cette classification nous confirment que les sclérites de *H. (H.) tubulosa* **A** (classique) et *H. (R.) arguinensis* ont les mêmes dimensions. Cela nous indique qu'il y a peut-être une relation de parenté entre *H. (H.) tubulosa* **A** et *H. (R.) arguinensis*.

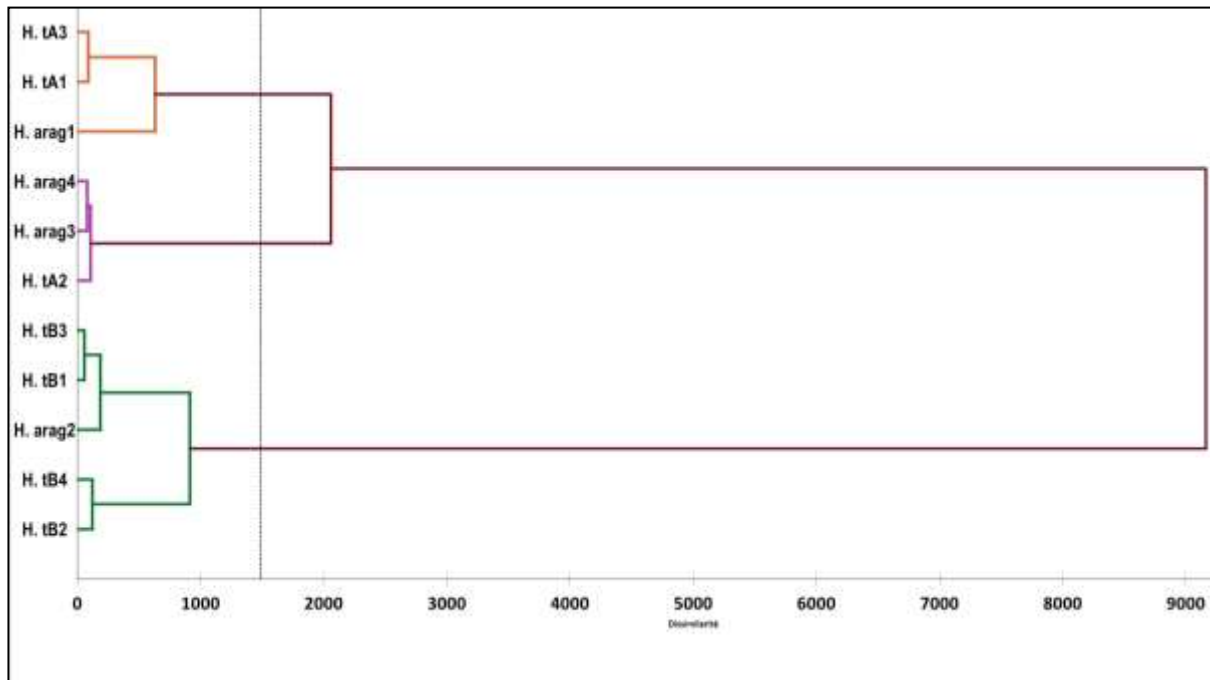


Figure 34 : Classification ascendante hiérarchique par le critère d'agrégation de Ward. **H. tA** : *Holothuria tubulosa* "A" ; **H. tB** : *Holothuria tubulosa* "B" ; **H. arag** : *Holothuria arguinensis*.

V. Discussion

La taxinomie de plusieurs groupes d'holothuries aspidochirotés est encore ambiguë, notamment en ce qui concerne le genre *Holothuria*. Nous avons vu auparavant le débat qui a duré plus de 90 ans concernant la position systématique des 3 espèces [*Holothuria (H.) tubulosa*, *Holothuria (H.) stellati*, et *Holothuria (H.) mammata*] (se référer au chapitre Matériel et Méthode)]. Ces débats ont eu lieu car le genre *Holothuria* est l'un des genres qui n'a pas des caractères morphologiques taxinomiquement informatifs en plus d'une diversité phénotypique intraspécifique élevée rencontrée entre les espèces (Clouse *et al.*, 2005).

Les résultats ont confirmé que l'espèce *Holothuria (H.) tubulosa* présente deux morphotypes cryptiques. Le morphotype "A" correspond à *Holothuria (H.) tubulosa* classique précédemment décrite par (Koehler, 1921); alors que le morphotype "B" correspondrait à l'écotype du morphotype A. La présence du morphotype B a été suggérée pour la première fois par (Mezali, 2008; Mezali et Paulay, 2009). D'après les résultats obtenus ces deux variétés d'espèces s'avèrent distinctes sur le plan endosquelettiques (sclérites). D'après notre étude systématique et statistique en réalisant plusieurs mensurations sur les sclérites on s'aperçoit clairement que les deux populations d'*H. (H.) tubulosa* [A & B] sont bien séparées et pourraient représenter deux variétés d'espèces. Les méthodes statistiques utilisées (analyse factorielle discriminante et la classification ascendante hiérarchique) ont confirmé des différences nettes et hautement significatives entre les individus des deux morphotypes. Les individus d'*Holothuria (H.) tubulosa* A [classique déjà décrites par (Koehler, 1921)] sont beaucoup plus proches à ceux d'*Holothuria (R.) arguinensis* qu'à ceux d'*Holothuria tubulosa* B (Fig. 34). Ce résultat corrobore avec ce obtenu par (Mansouri, 2015; Mansouri *et al.*, 2016). D'ailleurs, au niveau moléculaire *Holothuria (H.) tubulosa* A est génétiquement très proche à *Holothuria (R.) arguinensis*. Les deux espèces sont situées dans le même clade (Mansouri, 2015; Mansouri *et al.*, 2016; Mansouri et Mezali, 2018). D'autre part, nous avons constaté que l'espèce *Holothuria (H.) tubulosa* A présentes des boucles et des tourelles beaucoup plus grandes en termes de taille par rapport celles du morphotype B. De même, les individus de l'holothurie classique, *Holothuria (H.) tubulosa* A possèdent des boucles dont la forme est beaucoup plus allongée par rapport celles des individus de l'espèce éco-typique. Ce résultat converge avec les

résultats déjà obtenus par (Mansouri, 2015; Mansouri *et al.*, 2016). Dans l'autre côté, *Holothuria (R.) arguinesis* est caractérisée par des boucles qui ont une forme d'un sablier. Cette espèce possède les plus grandes boucles et tourelles en termes de taille par rapport les deux populations d'*Holothuria (H.) tubulosa* [A & B]. Ces boucles sont caractérisées par plusieurs trous.

Conclusion

Conclusion

Cette étude taxinomique a permis de réévaluer le statut taxinomique de certaines espèces d'holothuries aspidochirotes de la côte Algérienne.

Les examens morphologiques et endosquelettique (sclérites) réalisés sur les individus de ces espèces ont confirmé la présence de deux morphotypes bien distincts de *Holothuria (H.) tubulosa*. Cette présence a été mis en évidence dans les travaux de (Mezali, 2008; Mezali et Paulay, 2009), et confirmé ultérieurement dans la révision systématique de (Mansouri, 2015). Pour la présente étude, nous avons préféré de gardé la même appellation proposée par (Mezali, 2008; Mezali et Paulay, 2009). Ces deux espèces écotypique sont **i) *Holothuria (H.) tubulosa A*** qui corresponde à *Holothuria (Holothuria) tubulosa* classique précédemment décrite par Kohler (1921) ; **ii) *Holothuria (H.) tubulosa B*** qui corresponde à une espèce écotype de *Holothuria tubulosa*. Les méthodes statistiques utilisées (analyse factorielle discriminante et la classification ascendante hiérarchique) ont confirmé des différences nettes et hautement significatives entre les individus des deux morphotypes. Ce dernier résultat corrobore avec ceux obtenus dans la littérature. La présente étude à mis l'accent sur la présence de lien de parenté entre le morphotype **A** de *Holothuria (H.) tubulosa* et l'espèce invasive *Holothuria (R.) arguinensis*. Ce résultat corrobore avec ceux obtenus par (Mansouri, 2015). Il est a noté que, même au niveau moléculaire les deux espèces constitues un groupe monophylétique.

Enfin, ce travail constitue une donnée importante sur le statut taxinomique de certaines espèces d'holothuries du genre *Holothuria* de la côte de Mostaganem. Cependant, certaines réserves sont à prendre en considération en raison de l'effectif échantillonné et le nombre de mensurations effectuées. Des travaux supplémentaires sur le plan, morphologique, anatomique et endosquelettique de ces espèces d'holothuries devront être conduits pour rendre les résultats plus solides. Pour les prochaines études, le recours à d'autres méthodes statistiques plus poussées (méthode des points homologues et la méthode de Fourier) est très recommandé.

References bibliographiques

- Ahmed S. (1988) A new subgenus of *Holothuria* with a description of a new species from the south—east Atlantic Ocean.
- Belbachir N. (2012) Contribution à l'étude écologique de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile (1813) de la frange côtière de Mostaganem : Etat de santé et relation entre plante et échinoderme. In: *Département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture*, p. 178. Université Abdlehamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie.
- Bell J.D., Purcell S.W. & Nash W.J. (2008) Restoring small-scale fisheries for tropical sea cucumbers. *Ocean & Coastal Management* **51**, 589-93.
- Ben Mustapha K. & Hattour A. (2016) Densité et diversité des holothuries de la zone lagunaire du sud du port de Sidi Daoud (Tunisie). *Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô* **43**.
- Bruckner A.W. (2006) The proceedings of the technical workshop on the conservation of sea cucumbers in the families Holothuridae and Stichopodidae. *NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR* **34**.
- Caulier G., Mezali K., Soualili D.L., Decroo C., Demeyer M., Eeckhaut I., Gerbaux P. & Flammang P. (2016) Chemical characterization of saponins contained in the body wall and the Cuvierian tubules of the sea cucumber *Holothuria (Platyperona) sanctori* (Delle Chiaje, 1823). *Biochemical Systematics and Ecology* **68**, 119-27.
- Chen J. (2005) Present status and prospects of sea cucumber industry in China. *Ile* **1**, 25-38.
- Cherbonnier G. (1950) Note sur *Holothuria dakarensis* Panning. *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 2 série* **22**, 102-8.
- Clouse R., Janies D. & Kerr A.M. (2005) Resurrection of *Bohadschia bivittata* from *B. marmorata* (Holothuroidea: Holothuriidae) based on behavioral, morphological, and mitochondrial DNA evidence. *Zoology* **108**, 27-39.
- Conand C. (1990) *The fishery resources of Pacific island countries: Holothurians*. Food & Agriculture Org.
- Conand C. & Byrne M. (1993) Recent evolution of the world fisheries for sea cucumbers. *Mar Fish Rev* **55**, 1-13.
- Conand C. & de Ridder C. (1990) Reproduction asexuée par scission chez *Holothuria atra* (Holothuroidea) dans des populations de platiers récifaux: 71–76. *Echinoderm Research. De Ridder et al.(eds). Balkema, Rotterdam*.

- Dar M.A. (2004) Holothurians role in the marine sediments reworking processes. *Sedimentology of Egypt* **12**, 173-83.
- Darwin C. (1859) *On the Origin of Species by Means of Natural Selection Or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. H. Milford; Oxford University Press.
- David B., Mooi R., Néraudeau D., Saucedo T. & Villier L. (2009) Évolution et radiations adaptatives chez les échinides. *Comptes Rendus Palevol* **8**, 189-207.
- Duvauchelle C. (2010) Développement d'un guide méthodologique de suivi de la pêche de "holothuries" gris" *Holothuria Scabra* dans le lagon nord-ouest de la Nouvelle-Calédonie.
- Ferdouse F. (2004) World markets and trade flows of sea cucumber/beche-de-mer. *Advances in sea cucumber aquaculture management*, 101-17.
- Gosliner T.M., Behrens D.W. & Williams G.C. (1996) *Coral Reef Animals of the Indo-Pacific, Sea Challengers*. Monterey, California.
- Guille A., Laboute P. & Menou J.L. (1986) *Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle-Calédonie*. IRD Editions.
- Gustato G., Villari A. & Jangoux M. (1980) About the question of the taxonomic status of *Holothuria stellati* Delle Chiaje. *Echinoderms: Present and Past*, 107.
- Hamel J.-F., Conand C., Pawson D.L. & Mercier A. (2001) The sea cucumber *Holothuria scabra* (Holothuroidea: Echinodermata): its biology and exploitation as beche-de-mer.
- Hampton J.S.J.N. (1958) Chemical analysis of holothurian sclerites. *Nature* **181**, 1608.
- Hawa I., Zulaikah M., Mohamed J., Aa Z.A., Kaswandi M.A. & Ridzwan B.H. (1999) The potential of the coelomic fluid in sea cucumber as an antioxidant. *Malaysian Journal of Nutrition* **5**, 55-9.
- Hendler G., Miller J.E., Pawson D.L. & Kier P.M. (1995) *Echinoderms of Florida and the Caribbean: Sea stars, sea urchins, and allies*. Smithsonian Institution.
- Hyman L.H. (1955) *Echinodermata*. McGraw-Hill.
- Jain A.K. & Dubes R.C. (1988) *Algorithms for clustering data*. Prentice-Hall, Inc.

- Jans D., Dubois P. & Jangoux M. (1995) Defensive mechanisms of holothuroids (Echinodermata): formation, role, and fate of intracoelomic brown bodies in the sea cucumber *Holothuria tubulosa*. *Cell and tissue research* **283**, 99-106.
- Jumars P.A. & Self R.F.L. (1986) Gut-marker and gut-fullness methods for estimating field and laboratory effects of sediment transport on ingestion rates of deposit-feeders. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **98**, 293-310.
- Kaufman L. & Rousseeuw P.J. (2009) *Finding groups in data: an introduction to cluster analysis*. John Wiley & Sons.
- Kerr A. & Kim J. (2001a) Phylogeny of Holothuroidea (Echinodermata) inferred from morphology. *Zoological Journal of the Linnean Society* **133**, 63-81.
- Kerr A.M., Janies D.A., Clouse R.M., Samyn Y., Kuszak J. & Kim J. (2005) Molecular phylogeny of coral-reef sea cucumbers (Holothuriidae: Aspidochirotida) based on 16S mitochondrial ribosomal DNA sequence. *Marine Biotechnology* **7**, 53-60.
- Kerr A.M. & Kim J. (2001b) Phylogeny of Holothuroidea (Echinodermata) inferred from morphology. *Zoological Journal of the Linnean Society* **133**, 63-81.
- Koehler R. (1921) *Faune de France: Échinodermes; R. Koehler*. Lechevalier.
- Koehler R. (1927) *Les Echinodermes des mers d'Europe*. Librairie octave doin.
- Koehler R. & Vaney C. (1906) Mission des Pêcheries de la Côte occidentale d'Afrique. II. Echinodermes. *Actes de la Société Linnéenne de Bordeaux* **60**, 58-66.
- Lee J., Byrne M. & Uthicke S. (2008) The influence of population density on fission and growth of *Holothuria atra* in natural mesocosms. *Journal of Experimental Marine Biology Ecology* **365**, 126-35.
- Mackey A. & Hentschel B. (2001) Factors that influence the reproduction of sea cucumbers. *San Diego State University. San Diego*.
- Mansouri T. (2015) Phylogénie et phylogéographie de quelques espèces d'holothuries aspidochirotés de la côte algérienne (Ouest et centre). In: *Département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture*, p. 119. Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie.
- Mansouri T. & Mezali K. (2017) Phylogéographie de quelques espèces d'holothuries aspidochirotés de la côte algérienne. p. 7. Proceedings V^{II}^{ème} Journées Scientifiques de la faculté SNV, Mostaganem, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie.

- Mansouri T. & Mezali K. (2018) Taxonomic status and phylogenetic relationship of some Algerian shallow-water sea cucumber species (Holothuroidea: Echinodermata) deduced from mitochondrial DNA sequences. p. 3. Moroccan Society of Bioinformatics, FST, Tangier, Morocco.
- Mansouri T., Soualili D.L. & Mezali K. (2016) Sur le statut taxonomique de l'holothurie aspidochirote *Holothuria (Holothuria) tubulosa* (Echinodermata: Holothuroidea) de la côte algérienne. 6^{èmes} journées scientifiques de la faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie.
- Marquet N., Conand C., Power D.M., Canário A.V.M. & González-Wangüemert M. (2017) Sea cucumbers, *Holothuria arguinensis* and *H. mammata*, from the southern Iberian Peninsula: Variation in reproductive activity between populations from different habitats. *Fisheries Research* **191**, 120-30.
- Massin C. (1982) Effects of feeding on the environment: Holothuroidea. *Echinoderm nutrition*, 493-7.
- Massin C. (1994) Ossicle variation in Antarctic dendrochirote holothurians (Echinodermata). *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Biologie* **64**, 129-46.
- Meyer D.L. & Lawrence J.M. (1982) Food composition and feeding behavior of sympatric species of comatulid crinoids from the Palau Islands (western Pacific). pp. 43-9.
- Mezali K. (1998) Contribution à la systématique, la biologie, l'écologie et la dynamique de cinq espèces d'holothuries aspidochirotées (*Holothuria (H.) tubulosa*, *H. (L.) polii*, *H. (H.) stellati*, *H. (P.) forskali* et *H (P.) sanctori*) de l'herbier à *Posidonia oceanica (L.) Delille* de la Presqu'île de Sidi-Fredj. p. 192. Institut national des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral.
- Mezali K. (2008) Phylogénie, systématique, dynamique des populations et nutrition de quelques espèces d'holothuries aspidochirotées (Holothuroidea: Echinodermata) inféodées aux herbiers de posidonies de la côte Algéroise. p. 208. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, Algérie.
- Mezali K. (2011) Observation écologique sur l'abondance et la distribution des holothuries aspidochirotées (Echinodermata: Holothuroidea) au sein de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la presqu'île de Sidi-Fredj (Algérie). *Numéro spécial du Bulletin du Centre National de Développement des Ressources Biologiques (CNDRB), Ministère de l'aménagement du Territoire et de l'environnement (MATE), Alger, Algérie.*
- Mezali K., Chekaba B., Zupo V. & Asslah B. (2003) Comportement alimentaire de cinq espèces d'holothuries aspidochirotées (Holothuroidea: Echinodermata) de la presqu'île de Sidi-Fredj (Algérie). *Bulletin de la Société zoologique de France* **128**, 49-62.

- Mezali K. & Paulay G. (2009) Species limits and cryptic species in Mediterranean Sea cucumber (Holothuroidea: Echinodermata). Mediterranean Sea Grass Workshop 2009 Hvar, Croatie.
- Mezali K., Soualili D.L., Neghli L. & Conand C. (2014) Reproductive cycle of the sea cucumber *Holothuria (Platyperona) sanctori* (Holothuroidea: Echinodermata) in the southwestern Mediterranean Sea: interpopulation variability. *Invertebrate reproduction & development* **58**, 179-89.
- Mezali K. & Thandar A.S. (2014) First record of *Holothuria (Roweothuria) arguinensis* (Echinodermata: Holothuroidea: Aspidochirotida: Holothuriidae) from the algerian coastal waters. *Marine Biodiversity Records* **7**.
- Moriarty D.J.W. (1982) Feeding of *Holothuria atra* and *Stichopus chloronotus* on bacteria, organic carbon and organic nitrogen in sediments of the Great Barrier Reef. *Marine and Freshwater Research* **33**, 255-63.
- Nardin E., Lefebvre B., David B. & Mooi R. (2009) La radiation des échinodermes au Paléozoïque inférieur, l'exemple des blastozoaires. *Comptes Rendus Palevol* **8**, 179-88.
- Neghli L. & Mezali K. (2019) Algeria's sea cucumber fishery: Challenges for a new fishery. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin* **39**.
- Ngaluafe P., Lee J., Rodriguez Forero A., Vergara Hernandez W., Agudelo Martinez V., Rougier A., Ateweberhan M., Harris A., Lampe K. & Ajith Kumara P.A.D. (2018) Variations du poids des holothuries au cours de la transformation: étude sur dix espèces communes exploitées à des fins commerciales aux Tonga. *SPC Beche-de-mer Inf. Bull.*
- Panning A. (1940) Holothurien von den Kanaren und von Dakar. *Videnskabilige Meddelelser fra Dansk naturhistorik Forening I Kobenhavn* **103**, 523-46.
- Pawson D.L. (1966) Phylogeny and evolution of holothuroids. *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part U, Echinodermata* **3**, 641-6.
- Pawson D.L. (2007) Phylum echinodermata. *Zootaxa* **1668**, 749-64.
- Pawson D.L. & Barraclough-Fell H. (1965) *A revised classification of the dendrochirote holothurians.*
- Purcell S., Conand C., Uthicke S. & Byrne M. (2016a) Ecological roles of exploited sea cucumbers. *Oceanography and Marine Biology : An Annual Review* **54**, 367-86.

- Purcell S.W. (2004) Rapid growth and bioturbation activity of the sea cucumber *Holothuria scabra* in earthen ponds. *Proceedings of Australasian Aquaculture* **1**, 244.
- Purcell S.W., Conand C., Uthicke S. & Byrne M. (2016b) Ecological roles of exploited sea cucumbers. In: *Oceanography and marine biology* (pp. 375-94. CRC Press.
- Purcell S.W. & Wu M. (2017) Élevage à grande échelle d'holothuries de sable (*Holothuria scabra*) dans des bassins d'aquaculture multitrophique intégrée au sud de la Chine. *LA BÊCHE-DE-MER*, 9.
- Ramofafia C., Battaglione S.C., Bell J.D. & Byrne M. (2000) Reproductive biology of the commercial sea cucumber *Holothuria fuscogilva* in the Solomon Islands. *Marine Biology* **136**, 1045-56.
- Rao C.R. (1951) An asymptotic expansion of the distribution of Wilks' criterion. *Bulletin of the International Statistical Institute* **33**, 177-80.
- Richon C. (2008) Sous Les Mers. *Holothuria tubulosa*. Fiche espèce n°611.
- Roberts D., Moore H.M., Berges J., Patching J.W., Carton M.W. & Eardly D.F. (2001) Sediment distribution, hydrolytic enzyme profiles and bacterial activities in the guts of *Oneirophanta mutabilis*, *Psychropotes longicauda* and *Pseudostichopus villosus*: what do they tell us about digestive strategies of abyssal holothurians? *Progress in Oceanography* **50**, 443-58.
- Rogers A., Hamel J.F. & Mercier A. (2018) Pearlfish *Carapus bermudensis* from the sea cucumber *Holothuria mexicana* in Belize (Central America). *SPC beche-de-mer Information Bulletin* **38**.
- Rogouschi N. (2009) Classification à base de modèles de mélanges topologiques des données catégorielles et continues. Paris 13.
- Rowe F.W.E. (1969) A review of the familie Holothuriidae (Holothuroidea: Aspidochirotida). *Bulletin of the British Museum of Natural History (Zoology)* **18**, 119-70.
- Rowe F.W.E. & Richmond M.D. (1997) Echinodermata, Echinoderms. *A Guide to the Seashores of Eastern Africa and the Western Indian Ocean Islands. Department for research cooperation, The SEA Trust, Zanzibar*, 294-300.
- Samyn Y., Appeltans W. & Kerr A.M. (2005) Phylogeny of Labidodemas and the Holothuriidae (Holothuroidea: Aspidochirotida) as inferred from morphology. *Zoological Journal of the Linnean Society* **144**, 103-20.

- Samyn Y., VandenSpiegel D. & Massin C. (2006) *Taxonomie des holothuries des Comores*. Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen.
- Tanaka H. (1992) Sea cucumber culture in Japan. *SPC, Bêche-de-mer Bulletin* **4**, 18-20.
- Telford M.J., Lowe C.J., Cameron C.B., Ortega-Martinez O., Aronowicz J., Oliveri P. & Copley R.R. (2014) Phylogenomic analysis of echinoderm class relationships supports Asterozoa. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **281**, 20140479.
- Toral-Granda V. (2002) Document de Travail Situation Biologique et Commerciale des Concombres de Mer des Familles Holothuriidae et Stichopodidae. *12e session de la Conférence des Parties (CdP12; Santiago)*.
- Toral-Granda V. (2006) Document de travail situation biologique et commerciale des concombres de mer des familles holothuriidae et stichopodidae. p. 32. Vingt-deuxième session du Comité pour les animaux Lima (Pérou), Vingt-deuxième session du Comité pour les animaux Lima (Pérou).
- Toral-Granda V., Lovatelli A. & Vasconcellos M. (2008) Sea cucumbers. *A global review on fishery trade. Beche-de-mer Infor. Bull* **27**, 4-6.
- Tortonese E. (1965a) Echinodermata fauna d'Italia. *Bologna.–1965.–422 pp.*
- Tortonese E. (1965b) Echinodermata fauna d'Italia. *Calderini publ, Bologna*, 422 pp.
- Uthicke S. (1999) Sediment bioturbation and impact of feeding activity of *Holothuria (Halodeima) atra* and *Stichopus chloronotus*, two sediment feeding holothurians, at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Bulletin of Marine Science* **64**, 129-41(13).
- Ward J., J.H. (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American statistical association* **58**, 236-44.
- Zavodnik D. (2003) Marine fauna of Mljet National Park (Adriatic Sea, Croatia). 2. Echinodermata. *Acta Adriatica* **40**.

Annexe 01

Tableau A : Test d'Anderson-Darling de normalité des variables. Les valeurs à l'intérieur du tableau sont les probabilités critiques (p-values).

Variable\Test	Anderson-Darling
longb	0.88
largb	0.60
surfb	0.51
périmb	0.30
nmbtb	0.31
FA	0.28
diamdt	0.11
surfdt	0.44
périmdt	0.75

Tableau B: Test M de Box (Approximation asymptotique du khi-deux) de l'égalité des matrices de covariances.

Khi-deux (Valeur observée)	4.61
Khi-deux (Valeur critique)	12.59
DDL	6
p-value	0.59

Annexe 02**Tableau C** : Test unidimensionnel d'égalité des moyennes des classes. DDL1 : Degré de liberté (numérateur), DDL2 : Degré de liberté (dénominateur).

Variable	Lambda	F	DDL1	DDL2	p-value
longb	0.460	4.704	2	8	0.045
largb	0.401	5.982	2	8	0.026
surfb	0.296	9.495	2	8	0.008
périmb	0.382	6.479	2	8	0.021
nmbtb	0.151	22.574	2	8	0.001
FA	0.643	1.756	2	8	0.243
diamt	0.678	1.896	2	8	0.212
surft	0.582	2.876	2	8	0.115
périmt	0.794	1.040	2	8	0.397

Résumé

Dans la présente étude nous avons réévalué le statut taxinomique de quelques espèces d'holothuries du genre *Holothuria* échantillonnées au niveau d'une station de la côte de Mostaganem. L'évaluation taxinomique a été réalisée à travers une étude plus fine sur la morphologie géométrique des sclérites des deux morphotypes de *Holothuria (Holothuria) tubulosa* (**A** & **B**) et de *Holothuria (Roweothuria) arguinensis*. Les méthodes statistiques utilisées (analyse factorielle discriminante et la classification ascendante hiérarchique) ont confirmé des différences nettes et hautement significatives entre les individus des deux morphotypes. Selon les résultats, le morphotype "**A**" correspond à *Holothuria (Holothuria) tubulosa* classique précédemment décrite par Kohler (1921) ; alors que le morphotype "**B**" correspond à une espèce écotype de *Holothuria tubulosa*. De même, notre étude a mis l'accent sur la présence de lien de parenté entre le morphotype "**A**" de *Holothuria (Holothuira) tubulosa* et l'espèce invasive *Holothuria (Roweothuria) arguinensis*. Ce dernier résultat corrobore avec ceux obtenus dans la littérature.

Mots clés : Sclérites, Espèce-écotype, Statut taxinomique, Morphologie géométrique, Analyse factorielle discriminante.
