

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE
LABORATOIRE DE PROTECTION, VALORISATION DES RESSOURCES MARINE
LITTORAL ET SYSTÉMATIQUE MOLÉCULAIRE



THESE

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD

Filière : Hydrobiologie marine et continentale

Spécialité : Bio-Ressources marine

Présenté par :

M^{me} BELKACEM Nour-el-Houda

THEME

Valorisation et exploitation du stock d'holothuries
"concombres de mer" de la côte ouest algérienne
(Mostaganem)

Soutenu le // devant le jury composé de

Président	Prof.	CHADLI Rabah	UMAB-Mostaganm
Examineur	Prof.	BENAMAR Nardjess	UMAB-Mostaganm
Examineur	Prof.	ROUANE-HACENE Omar	Univ. Oran 1 Ahmed Ben Bella
Directeur de thèse	Prof.	MEZALI Karim	UMAB-Mostaganm
Invité	Prof.	SOUALILI Dina Lila	UMAB-Mostaganm

Année universitaire 2025/ 2026

Avant-propos

La présente thèse s'inscrit dans le cadre de la valorisation des ressources marines locales, et plus particulièrement des concombres de mer de la côte de Mostaganem. Ces organismes, longtemps négligés dans notre région, suscitent aujourd'hui un intérêt croissant pour leurs potentialités nutritionnelles, biochimiques et nutraceutiques.

L'idée de ce travail est née du constat que le concombre de mer, bien que très recherché sur les marchés asiatiques, reste peu connu et peu exploité en Algérie. Dans ce contexte, notre étude visait à contribuer à la connaissance et à la valorisation de plusieurs espèces locales en explorant à la fois leurs caractéristiques biochimiques, leur aptitude à la transformation et leur potentiel d'utilisation dans le domaine culinaire et nutraceutique.

Ce projet de recherche a été réalisé essentiellement au niveau du Laboratoire de Protection et Valorisation des Ressources Marines Littorales et Systématique Moléculaire (LPVRMLSM) et un stage de perfectionnement a été effectué au niveau d'un laboratoire de l'Université de Çanakkale (Turquie). Ce stage a permis d'approfondir certaines techniques analytiques et d'enrichir le protocole expérimentale notamment pour l'extraction et la caractérisation du collagène à partir du tégument d'une espèce caractéristique des cotes algérienne, il s'agit de *Holothuria algeriensis*. Cette partie n'a pas été achevée vue les difficultés rencontré qui étaient essentiellement liées à la non disponibilité de certains équipements scientifiques spécifiques de caractérisation de biomolécules actives. Malgré ces contraintes, le protocole expérimentale a été acquis et les résultats préliminaires exposés dans cette thèse vont être couronné par une publication qui est en préparation

Résumé

Les concombres de mer sont des invertébrés benthiques appartenant au phylum des Echinodermes. Ces organismes constituent une source précieuse de protéines de haute qualité, de lipides sains, de vitamines et de minéraux pour l'alimentation humaine.

Ce travail est une contribution à la connaissance des aspects biochimiques, nutraceutique et culinaires de six espèces de concombres de mer de la côte de Mostaganem (*Holothuria tubulosa*, *H. algeriensis*, *H. arguinensis*, *H. poli*, *H. sanctori* et *Parastichopus regalis*).

La transformation du tégument frais du concombre de mer en produit sec appelé "bêche de mer" a été effectuée selon une méthode traditionnelle comportant plusieurs étapes (nettoyage, salage, cuisson et séchage au soleil). L'analyse de la composition approximative du tégument et de sa digestibilité *in vitro* par la pepsine a permis de comparer la qualité nutritionnelle entre les états frais et transformés. Les taux de digestibilité de la "bêche-de-mer" ont été comparés également à ceux des viandes couramment consommées (poisson, poulet et bœuf). Les résultats biochimiques ont montré une forte teneur en protéines (jusqu'à 69,5 %) et une faible proportion de lipides (environ 2 %), tandis que le procédé de transformation en "bêche de mer", bien qu'il réduise l'humidité et la digestibilité, améliore la conservation du produit.

Dans la présente étude, le produit sec "bêche-de-mer" a été utilisé pour des fins culinaires en préparant des plats populaires couramment consommés dans la cuisine maghrébine ("saucisses", "bourek", "chaussons salés" et "boulettes à la sauce tomate et sauce blanche" à base de concombre de mer hachée). Deux ateliers de dégustation ont été réalisés sur un échantillon de la population de la région de Mostaganem afin d'avoir une idée sur la qualité de chaque plat préparé. Les plats les plus appréciés étaient le "bourek", les "saucisses" et les "boulettes", jugés agréables en apparence, en odeur et en goût, avec une texture comparable à celle du calmar. Plus de 80 % des participants ont exprimé leur volonté d'acheter ou de consommer le concombre de mer.

Une autre partie de notre étude a été consacrée à l'extraction et à la caractérisation du collagène issu du tégument d'*Holothuria algeriensis*. Le collagène a été isolé, puis soumis à des étapes successives d'hydrolyse enzymatique, de dialyse et de lyophilisation afin d'obtenir des fractions purifiées. Celles-ci ont ensuite été évaluées pour leurs propriétés bioactives, notamment leur activité antioxydante (DPPH). Les résultats obtenus du collagène issu du tégument d'*H. algeriensis* ont permis de mettre en évidence des propriétés antioxydantes remarquables, renforcées après hydrolyse enzymatique ($CI_{50} = 10,47$ mg/mL). Ces résultats confirment le potentiel de cette espèce comme source prometteuse de peptides bioactifs à fort intérêt nutraceutique, cosmétique et pharmaceutique.

Mots clés : Echinodermes, Concombre de mer, Bêche-de-mer, Composition biochimique, Digestibilité, Valorisation culinaire, Collagène, Activités biologiques, Côte de Mostaganem

Abstract

Sea cucumbers are benthic invertebrates belonging to the phylum Echinodermata. These organisms represent a valuable source of high-quality proteins, healthy lipids, vitamins, and minerals for human nutrition.

This work contributes to the understanding of the biochemical, nutraceutical, and culinary aspects of six sea cucumber species from the Mostaganem coast (*Holothuria tubulosa*, *H. algeriensis*, *H. arguinensis*, *H. poli*, *H. sanctori*, and *Parastichopus regalis*).

The transformation of fresh sea cucumber body wall into a dried product known as “beche-de-mer” was carried out following a traditional process involving several steps (cleaning, salting, boiling, and sun-drying). The analysis of the proximate composition of the body wall and its *in vitro* digestibility by pepsin made it possible to compare the nutritional quality between fresh and processed states. The digestibility rates of the “beche-de-mer” were also compared with those of commonly consumed meats (fish, chicken, and beef). Biochemical results revealed a high protein content (up to 69.5%) and a low lipid proportion (around 2%), while the transformation process, although reducing moisture and digestibility, improved product preservation.

In the present study, the dried product “beche-de-mer” was used for culinary purposes in the preparation of popular dishes commonly consumed in Maghrebi cuisine (“sausages,” “bourek,” “savory pastries,” and “meatballs in tomato and white sauces” made with minced sea cucumber). Two tasting workshops were conducted with a sample of the local population in the Mostaganem region to assess the quality of each prepared dish. The most appreciated dishes were “bourek,” “sausages,” and “meatballs,” rated as pleasant in appearance, aroma, and flavor, with a texture comparable to that of squid. More than 80% of participants expressed their willingness to buy or consume sea cucumber products.

Another part of this study focused on the extraction and characterization of collagen from the body wall of *Holothuria algeriensis*. The collagen was isolated and then subjected to successive steps of enzymatic hydrolysis, dialysis, and lyophilization to obtain purified fractions. These fractions were subsequently evaluated for their bioactive properties, particularly antioxidant activity (DPPH assay). The results obtained from the collagen of *H. algeriensis* demonstrated remarkable antioxidant properties, which were enhanced after enzymatic hydrolysis ($IC_{50} = 10.47$ mg/mL). These findings confirm the potential of this species as a promising source of bioactive peptides with high nutraceutical, cosmetic, and pharmaceutical value.

Keywords: Echinoderms, Sea cucumber, Beche-de-mer, Biochemical composition, Digestibility, Culinary valorization, Collagen, Biological activities, Mostaganem coast

الملخص

يعدّ خيار البحر من اللاقاريات القاعية التي تنتمي إلى شعبة شوكيات الجلد (Echinodermata)، حيث تعتبر هذه الكائنات مصدرا غنيًا بالبروتينات عالية الجودة، والدهون الصحية، والفيتامينات، والمعادن المفيدة لتغذية الإنسان.

يساهم هذا العمل في دراسة الجوانب الكيميائية الحيوية، والغذائية العلاجية، والطهوية لستة أنواع من خيار البحر منتشرة على طول سواحل مستغانم (*H. sanctori*, *H. poli*, *H. arguinensis*, *H. algeriensis*, *H. tubulosa*, *Parastichopus regalis*).

تم تحويل لحم خيار البحر الطازج إلى منتج مجفف يُعرف باسم "خيار البحر المجفف" البيش دي مير" وفق طريقة تقليدية تضمنت عدة مراحل (التنظيف، التملح، الطهي، والتجفيف تحت أشعة الشمس). وقد أُجريت تحاليل للمكونات التقريبية in vitro باستخدام إنزيم البيبسين، مما أتاح المقارنة بين الجودة الغذائية للحالة الطازجة والمجفف.

كما تمت مقارنة قابليته الهضم (نسب الهضمية) لخيار البحر المجفف مع لحوم أخرى شائعة الاستهلاك مثل السمك والدجاج ولحم البقر.

أظهرت النتائج الكيميائية الحيوية محتوى مرتفعًا من البروتين (بلغ 69.5٪) ونسبة منخفضة من الدهون (حوالي 2٪)، في حين أن عملية تجفيف خيار البحر وإن كانت تقلل من الرطوبة والهضمية، إلا أنها تحسن من قابلية حفظ المنتج.

في هذا البحث، استُخدم خيار البحر المجفف في إعداد أطباق تقليدية شائعة في المطبخ المغاربي مثل: النقانق، البوراك، الفطائر المالح، وكرات اللحم بصلصة الطماطم والصلصة البيضاء باستخدام لحم خيار البحر المفروم. نُظمت ورشتين للتدقيق بمشاركة مجموعة من سكان منطقة مستغانم لتقييم جودة الأطباق المحضّرة، وقد كانت الأطباق الأكثر استحسانًا هي "البوراك"، و"النقانق"، و"كرات اللحم"، حيث وُصفت بأنها ذات مظهر ورائحة وطعم مشابه للحبار. كما عبّر أكثر من 80٪ من المشاركين عن رغبتهم في شراء أو استهلاك منتج خيار البحر.

تناولت هذه الدراسة جزءا آخر تمثل في استخلاص الكولاجين من لحم خيار البحر *H. algeriensis* حيث تم عزله وإخضاعه لمراحل متتالية من التحليل الإنزيمي، والديالزة، والتجفيف بالتجميد للحصول على كسور منقاة.

تم تقييم هذه المستخلصات من حيث خصائصها الحيوية ولا سيما نشاطها المضاد للأوكسدة (DPPH).

أظهرت نتائج الكولاجين المستخلص من *H. algeriensis* خصائص مضادة للأوكسدة مميزة ازدادت قوة بعد التحلل الإنزيمي (CI₅₀ = 10,47 mg/mL) وتؤكد هذه النتائج الإمكانيات الكبيرة لهذه الأنواع كمصدر واعد للبيبتيدات النشطة بيولوجيًا ذات

الأهمية العالية في المجالات الغذائية العلاجية والتجميلية والدوائية.

الكلمات المفتاحية: شوكيات الجلد، خيار البحر، خيار البحر المجفف (البيش دي مير)، التركيب الكيميائي الحيوي، القابلية للهضم، التثمين الغذائي، الكولاجين، الأنشطة الحيوية، ساحل مستغانم

Remerciements

Avant tout, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant, le Miséricordieux, pour m'avoir accordé la santé, la patience, la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail. Sans Sa volonté et Sa bénédiction, rien n'aurait été possible. ALHAMDOULILAH

J'exprime ensuite ma profonde reconnaissance à mon directeur de thèse, Monsieur MEZALI Karim, Professeur au Département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem) et Directeur du Laboratoire de Protection, Valorisation des Ressources Marines Littorales et Systématique Moléculaire (LPVRMLSM). Je lui suis profondément reconnaissante pour sa bienveillance, ses conseils éclairés et son encadrement rigoureux. Homme respectueux et attentif, son sens critique, sa disponibilité et son exigence scientifique ont rendu ce travail à la fois enrichissant et formateur. Par son intégrité et sa passion pour la recherche, il représente pour moi un véritable exemple à suivre.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Madame SOUALILI Dina Lila, Professeure à l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, pour son soutien constant et sa bienveillance tout au long de mon parcours. J'espère sincèrement être à la hauteur de la confiance qu'elle m'a témoignée. J'exprime ma profonde gratitude aux membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce travail et pour le temps qu'ils y ont consacré.

J'exprime ma profonde gratitude aux membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce travail et pour le temps qu'ils y ont consacré.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Professeur Chadli Rabah de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury de ma soutenance. Sa disponibilité, son engagement et son intérêt pour mes travaux constituent pour moi une marque de confiance et de reconnaissance que j'apprécie sincèrement.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à Madame BENAMAR Nardjess, Professeure au Département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem), pour le temps qu'elle a bien voulu consacrer à l'examen de ce travail et pour avoir accepté de faire partie du jury. Je lui témoigne toute mon estime et mon profond respect.

J'exprime également ma profonde gratitude à Monsieur ROUANE-HACENE Omar, Professeur à l'Université Oran 1 Ahmed Ben Bella, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'examiner ce travail et en se déplaçant d'Oran à Mostaganem, malgré ses nombreuses responsabilités. Je lui adresse l'expression de ma sincère reconnaissance et de ma haute estime.

J'adresse mes sincères remerciements au Docteur Benzit Hocine, chef du département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université de Mostaganem), pour ses précieux conseils et son accompagnement tout au long de ces années de thèse. Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude au Docteur Belbachir Noureddine pour ses conseils avisés et son aide précieuse dans le domaine de l'enseignement. Mes remerciements s'adressent aussi à Madame Ounas Fatiha, secrétaire du département, pour sa disponibilité, son aide bienveillante et son soutien administratif tout au long de ce parcours.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Mme BENHALOU Miaad, ingénieure au laboratoire LPVRMLSM, pour son aide précieuse, sa disponibilité et son professionnalisme. Mes remerciements s'adressent également à M. BERRAHAL Nabil et Mme BENMEHEL Amina, ingénieurs des laboratoires de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, pour leur soutien et leur collaboration tout au long de ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et mes remerciements à Mlle Lebouazda Zineb, Mlle Zerrouale Hanane, Mme Madani Siham, Mme Boutaleb Amina, Mlle Benmokran Sihem, Mlle Benhadda Abir, Mlle Benarouss Ahlam, et tout particulièrement à Mme Khoudja Ihcen, des amies avant d'être des collègues. Merci à toutes et à tous d'avoir partagé cette aventure avec moi, pour votre soutien constant, vos échanges enrichissants et l'ambiance chaleureuse que vous avez su créer au sein du laboratoire LPVRMLSM. Votre amitié et votre présence ont été pour moi d'un grand réconfort tout au long de ce parcours.

Je tiens à remercier du fond du cœur mes cousines Benyamina Khadidja, Benyamina Amina et Bessoltan Nadia, ainsi que toute ma famille, pour leur présence constante, leur soutien infaillible et leurs encouragements qui m'ont toujours poussée à avancer, à croire en moi et à me développer tant sur le plan personnel que professionnel. Leur affection et leur confiance ont été une véritable source de motivation tout au long de mon parcours.

Consciente qu'il m'est peut-être arrivé d'oublier certaines personnes, je souhaite adresser mes sincères remerciements à toutes celles et ceux qui, par leurs conseils, leurs encouragements et leurs remarques constructives, ont contribué à la réflexion et à la réalisation de ce travail. Je leur exprime ici toute ma reconnaissance et ma profonde gratitude.

Dédicace

À la mémoire de mon cher grand-père, **Benyamína Mohamed**,
Que Dieu bénisse son âme. Tu resteras à jamais un modèle de sagesse, de
bonté et de droiture. *Cette thèse de doctorat est dédiée à ta mémoire,*
sadaqa jârîya pour le repos de ton âme.

À ma grand-mère, **Benyamína Khedîdja Ayada**,
qu'Allah lui accorde la guérison et la santé. Toi qui m'as donné les vraies
bases de la vie, et qui, par ton enseignement du français et ta richesse de
génération, m'as transmis l'amour du savoir, de la culture et du travail
bien fait. Ta force, ta générosité et ton amour inconditionnel ont façonné
la personne que je suis aujourd'hui.

À ma mère, **Benyamína Fatîma Zohra**,
pour tous les sacrifices, l'amour et la patience dont tu as fait preuve
pour m'offrir un avenir meilleur. Ta présence, ton courage et ton
dévouement sont la plus grande des bénédictions.

À mon mari, **Bounouar Ahmed**,
pour ton amour sincère, tes encouragements constants et ton soutien
sans faille, pour ta patience, ta compréhension et ta présence
réconfortante dans les moments les plus éprouvants.

À mon oncle, mon frère et mon bras droit, **Benyamína Fethî**,
pour ton soutien indéfectible, ta confiance et ta présence dans chaque
étape de ma vie. À son épouse, **Benalioua Ikram**, que je considère comme
une grande sœur,

pour sa bonté, son aide précieuse et son attention sincère,
notamment durant les moments où ma santé était fragilisée.

À mes frères, **Belkacem Abderezak** et mes petits frères **Mustapha**,
Mohamed et **Djaber Benyamína**,

pour votre amour, votre soutien et votre présence à mes côtés.

À ma petite sœur, **Benyamína Safia**,
pour ta douceur, ton sourire et la lumière que tu apportes à ma vie.

À tous mes amis et familles,
pour leur soutien inestimable, leur aide précieuse et l'affection sincère
qu'ils m'ont toujours témoignée.

Merci pour tout !.

Liste des abréviations

EPA : Acide eicosapentaénoïque

DHA : Acide docosahexaénoïque

DZD : Dinar Algérien

€ : Euro

AMTI : Aquaculture Multitrophique Intégrée

HCl : Acide chlorhydrique

H₂SO₄ : Acide sulfurique

C₃H₆O₂ : Acide propionique

CH₃COOH : acide acétique

NaOH : hydroxyde de sodium

KOH : hydroxyde de potassium

Ba(OH)₂ : hydroxyde de baryum

kDa : kilodalton (unité de **masse moléculaire**)

O₂•⁻ : Anion superoxide

HO₂• : Radical perhydroxyle

•OH : Radical hydroxyle

NO• : Monoxyde d'azote

ARN : Acide ribonucléique

ADN : Acide désoxyribonucléique

BHT : butylhydroxytoluène

BHA : butylhydroxyanisole

TBHQ : tert-butylhydroquinon

PG : gallate de propyle

H₂SO₄ : acide sulfurique

(NH₄)₂SO₄ : sulfate d'ammonium

NT : Non-tacheté

v/v : Volume/Volume

W : Poids

PSC : Collagène soluble dans la pepsine

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle

EDTA : Acide éthylènediaminetétraacétique

Tris-HCl : Tris(hydroxyméthyl)aminométhane chlorhydrate

Na₂HPO₄ : phosphate disodique

BDM : bêche-de-mer

CI₅₀ : concentration inhibitrice 50

Pro : proline

Gly : glycine

Hyp : hydroxyproline

Liste des Figure

Figure 1: Arbre phylogénétique et représentants de l'embranchement des Echinodermes (Kamyab et al., 2020 modifiée).	5
Figure 2: Morphologie externe d'une holothurie de l'ordre des Holothuriida (Samyn et al., 2006 modifiée).....	8
Figure 3: Holothurie actinopode (concombre de mer). Dessin de Dominique Sablons – Archives Larousse (2025 modifiée).....	10
Figure 4: Différents types de sclérites des holothuries. A-E, G-H. Tables vues sous différents angles, F. Tasse croisée. I. Plaque perforée, J-N. Boutons lisses et à boutons, O. Tasse, P. Plaque d'ancrage, Q. Ancre, R. Bâtonnet en forme de « C », S. S. Roue (in Pawson et al., 2010).....	12
Figure 5: Frai de <i>Holothuria floridana</i> . A. Mâles et B. Femelles en phase de frai dans des bassins de reproduction ; les flèches indiquent les gamètes libérés. C–D. Séquences accélérées montrant une femelle en train de frayer. (Luis Felaco et al., 2024).....	15
Figure 6: Développement de <i>Holothuria floridana</i> . A. Ovocytes collectés dans un bécet ; B. Œufs fécondés ; C. embryon ; D. pentactula en début d'éclosion ; E. pentactula ; (F,G). juvénile de 3 mois. Échelle: 1 mm (A,G) et 350 µm (B,F). (Luis Felaco et al., 2024)	16
Figure 7: Reproduction asexuée chez les holothuries (<i>Holothuria edulis</i> et <i>H. leucospilota</i>). A. <i>H. edulis</i> normal, longueur 24 cm, B. <i>H. edulis</i> en cours de fission, partie antérieure à gauche, partie postérieure à droite. (Sven et al., 2024).....	17
Figure 8: Exemples de prédation d'holothuries. A. Attaque de <i>Holothuria leucospilota</i> par le baliste titan <i>Balistoides viridescens</i> , B. Consommation de <i>Holothuria mexicana</i> par la tortue caouanne <i>Caretta caretta</i> (Rogers et al., 2020 ; Richard, 2022), C. Prédation de <i>Apostichopus japonicus</i> par l'étoile de mer <i>Asterina pectinifera</i> (Zhang et al., 2023), D. Prédation active des juvéniles d' <i>Apostichopus japonicus</i> par le crabe <i>Pugettia ferox</i> (Chen et al., 2021).	20
Figure 9: Influence de <i>Stichopus herrmanni</i> sur la dissolution du CaCO ₃ dans la communauté benthique. A. La dissolution est réduite le jour dans les sédiments seuls, régulée par la photosynthèse, B. La dissolution est accrue le jour en présence de <i>S. herrmanni</i> , en raison de l'augmentation de l'alcalinité totale, C. La dissolution nocturne est réduite avec <i>S. herrmanni</i> , D. La dissolution est accrue la nuit sans holothuries, sous l'effet de l'acidification biogénique. (Wolfe et al. 2018).....	25

Figure 10: Marchés, commercialisation et consommation des holothuris. A. Concombre de mer frais au marché des fruits de mer séchés, principal débouché Hong Kong, redistribution vers la Chine continentale (Purcell, 2017), B. Concombre de mer lyophilisé ou congelé pour l'exportation (Akamine, 2024), C. Bêche-de-mer séchée, produit de luxe vendu dans les boutiques asiatiques (Purcell, 2017), D. Concombre de mer cru, tranché ou haché pour certaines préparations locales (Hamel, 2020), E. Concombre de mer farci avec thon, légumes et lait de coco, prêt à cuire (Gamboa, 2021).	27
Figure 11: Transformation du concombre de mer en bêche-de-mer selon deux méthodes de préparation (Purcel 2017).	29
Figure 12: Les soupes à base de concombres de mer. A. soupe assortie servie à Tianjin, B. la shepherd's purse sea cucumber soup, C. un porridge de concombre de mer au potiron, D. une boisson traditionnelle à base de vin de riz gluant et concombre de mer. Photographies de Man Li (Xia et al., 2024).	31
Figure 13: les étapes de préparation du curry et des nouilles à base de <i>Holothuria scabra</i> : réhydratation (A-B), nettoyage de la paroi interne (C), cuisson des morceaux réhydratés (D), découpe (E), sauté avec des tranches de poulet (F), assemblage des ingrédients du curry (G), plat prêt à servir (H) et ajout des nouilles au mélange sauté (I). (Halun 2024).	32
Figure 14: Préparation traditionnelle au Philippines de taddik kinilaw à base de <i>Bohadschia marmorata</i> . A, retrait des entrailles, B. tranches pour marinade, C. ingrédients ajoutés, D. plat prêt à servir. (Halun Gamboa, 2024).	33
Figure 15: Les étapes de préparation des raviolis à base de concombre de mer. A, matières premières, B. ingrédients préparés, C. raviolis non cuits, D. raviolis cuits. (Xia et al., 2024).	34
Figure 16: Exemples de composés bioactifs identifiés chez les concombres de mer et de leurs effets bénéfiques sur la santé, modifiée par l'auteure d'après Hossain et al. (2020), sous licence CC BY 4.0.	36
Figure 17: Schéma du processus d'hydrolyse des protéines par rupture des liaisons peptidiques (Campbell et Reece, 2002).	40
Figure 18: Localisation des sites d'échantillonnage (Sidi Lakhdar et Stidia) sur la côte de Mostaganem, dans la mer Méditerranée (Algérie).	48

Figure 19: Etapes de transformation des espèces d'holothuries fraîches en produit sec « bêche de mer », A. nettoyage ; B. salage ; C. cuisson ; D. dermes égouttés dans une passoire ; E. séchage au soleil ; F. produit finale « bêche de mer ».	50
Figure 20: Extraction des lipides selon la méthode de Folch et al. (1957) A. Séparations densitométriques. B. Roto-évaporation, évaporation du solvant.	52
Figure 21: Étapes de la détermination de la teneur en azote total selon la méthode de Kjeldahl. A. Minéralisation des échantillons sur la rampe Kjeldatherm, B. Détail des échantillons après minéralisation à 400 °C, C. Distillation et titrage de l'ammoniac à l'aide du système Vapodest	53
Figure 22: Etapes de la préparation du « bourek » à base de concombre de mer, A. la farce à l'intérieur des feuilles de «dioule»; B. fermeture du premier coté ; C. fermeture du deuxième coté ; D. enrouler le «bourek»; E. en serrant bien le «bourek»; F. une petite tranche de fromage est rajouté pour coller la feuille de «dioule».	58
Figure 23: Photos représentatives des deux ateliers de dégustation du concombre de mer et analyse des perceptions des personnes interrogées.	60
Figure 24: Étapes principales de l'isolement et de la purification du collagène à partir du tégument de <i>Holothuria algeriensis</i> . A. Préparation et découpe des tissus, B. Homogénéisation dans la solution de désagrégation, C. Centrifugation du mélange, D. Traitement alcalin des résidus, E. Agitation de la suspension, F. Lavage des fibrilles de collagène, G. Lyophilisation du collagène obtenu.	62
Figure 25: Étapes principales de l'isolement du collagène solubilisé à la pepsine (PSC) à partir du tégument de <i>Holothuria algeriensis</i> . A. solubilisation enzymatique dans l'acide acétique, B. précipitation au NaCl, C. filtration du précipité, D. purification par dialyse.	64
Figure 26: Test d'activité antioxydante (DPPH). A. Préparation des échantillons protéiques, B. Lecture de l'absorbance à 517 nm avec le lecteur de microplaque Multiskan GO.	65
Figure 27: Résultats du questionnaire de la séance de dégustation.	74
Figure 28: Les plats présentés dans l'atelier de dégustation, A. concombre de mer avec sauce blanche et champignons ; B. «bourek» de concombre de mer ; C. salade du concombre de mer mariné ; D. plat de boulette hachée de concombre de mer ; E. Chausson salé au concombre de mer ; F. saucisse à base de concombre de mer hachée.	76

Figure 29: Courbe d'inhibition DPPH du collagène et de son hydrolysate enzymatique issus d' <i>Holothuria algeriensis</i>	81
--	----

Liste des tableaux

Tableau 1. Classification du collagène (Schrieber et Gareis, 2007)	42
Tableau 2. Peptides antioxydants isolés d'organismes marins et leurs sources	46
Tableau 3: Composition approximative du tégument des holothuries transformé en bêche-de-mer en comparaison à d'autres téguments d'espèces frais.	66
Tableau 4: Degré de digestibilité (%) des six espèces de bêche-de-mer par l'enzyme digestive pepsine en comparaison aux autres holothuries frais et viandes communément consommées.	67
Tableau 5: Composition approximative du tégument d' <i>Holothuria (H.) algeriensis</i>	79
Tableau 6: Digestibilité du tégument d' <i>Holothuria (H.) algeriensis</i> par la pepsine comparée aux autres espèces d'holothuries et aux viandes couramment consommées.	80
Tableau 7: Valeurs d'IC ₅₀ du collagène, de son hydrolysate et du Trolox (test DPPH).	81

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Généralités sur les échinodermes et les holothuries	4
Chapitre I.1 : Espèce et milieu	4
1. Présentation de l'embranchement des Échinodermes	4
1.1. Présentation de la classe des Holothuroidea	6
1.1.1. Classification des Holothuroidea	7
1.2. Morphologie et anatomie des holothuries	7
1.2.1. Morphologie externe	7
1.2.2. Morphologie interne.....	9
2. Biologie et écologie des holothuries	13
2.1 Distribution et habitats des holothuries	13
2.2 Modes de reproduction	13
2.2.1 La reproduction sexuée.....	14
2.2.2 La reproduction asexuée.....	16
2.3 Nutrition et régime alimentaire	18
2.4 Prédation et stratégies de défense	19
2.5 Relations symbiotiques et interactions écologiques	21
2.6 Rôle écologique des holothuries	22
2.6.1. Maintien et amélioration de la qualité des sédiments	23
2.6.2 Recyclage des nutriments	23
2.6.3 Influence sur la chimie de l'eau de mer.....	24
Chapitre I.2 : valorisation des holothuries	24
1. Exploitation et valorisation des holothuries	24
1.1. Pêche et aquaculture des holothuries	24
1.2. Aquaculture des holothuries.....	25
1.3. Marchés, commercialisation et consommation	25
2. Valorisation et transformation des concombres de mer	28
2.1. Diversité des préparations culinaires à base de concombres de mer	30
2.1.1. Soupes et bouillons	30
2.1.2. Plats sautés / wok :	31
2.1.3. Salades froides et entrées	32

2.1.4.	Présentation gastronomique / plats de banquet	33
2.2.	Valeur nutritionnelle, nutraceutique et cosmétique.....	34
2.3.	Production aquacole et gestion durable des stocks naturels	36
Chapitre 1.3. Le collagène marin, structure, types et applications		38
Généralités.....		38
1.	Extraction et purification du collagène.....	39
1.1.	Hydrolyse et extraction des protéines	39
1.2.	Propriétés fonctionnelles et bioactives des protéines	43
Chapitre II.1 : Composition approximative et digestibilité par la pepsine du tégument de six holothuries transformées en bêche-de-mer		47
1.	La zone d'étude et échantillonnage	47
2.	Méthode de transformation du produit frais en produit sec "bêche-de-mer"	48
2.1.	Nettoyage et préparation initiale.....	48
2.2.	Première cuisson	49
2.3.	Séchage au soleil.....	49
2.4.	Élimination des dépôts calcaires	49
3.	Etude biochimique des espèces d'holothuries étudiées	51
3.1.	Composition approximative du tégument.....	51
3.1.1.	Taux d'humidité	51
3.1.2.	Taux de lipides.....	51
3.1.3.	Taux de cendres	52
3.1.4.	Teneur en protéines	52
3.1.5.	Digestibilité <i>in vitro</i> par la pepsine	53
3.1.6.	Analyses statistiques.....	54
Chapitre II.1: Valorisation culinaire des concombres de mer de la côte ouest algérienne ...		55
1.	Préparation de l'échantillon	55
1.1.	Organisation des ateliers de dégustation	55
1.2.	Préparation des différents plats à base d'holothuries	56
1.2.2.	Recette de la salade du concombre de mer mariné.....	56
1.2.3.	Recette du « bourek » de concombre de mer	57
1.2.4.	Recette des boulettes hachée de concombre de mer.....	58
1.2.5.	Chausson salé au concombre de mer.....	59
1.2.6.	Recette de la saucisse du concombre de mer haché	59

1.3. Questionnaire de dégustation	59
Chapitre II.3 : Caractérisation du collagène de <i>Holothuria algeriensis</i> de la côte de Mostaganem, Algérie.....	61
1. Echantillonnage.....	61
2. Analyse de la composition biochimique	61
2.1. Étapes d'isolement et de purification	61
2.2. Isolement du collagène solubilisé à la pepsine (PSC).....	63
2.3. Évaluation des activités biologiques.....	64
2.3.1. Test d'activité antioxydante	64
Chapitre III : Résultats et discussion	65
Chapitre III.1 : Composition approximative et digestibilité par la pepsine du tégument de six holothuries transformées en "bêche-de-mer"	65
2. Digestibilité <i>in vitro</i> par la pepsine	67
3. Discussion	68
Chapitre III.2: Valorisation culinaire des concombres de mer de la côte ouest Algérie	72
1. Premier atelier de dégustation	72
2. Deuxième atelier de dégustation	75
Chapitre III.3 : Caractérisation du collagène de <i>Holothuria algeriensis</i> de la côte de Mostaganem, Algérie.....	77
1. Analyse de la composition biochimique du tégument de <i>H. algeriensis</i>	77
2. Digestibilité du tégument d' <i>Holothuria (H.) algeriensis</i> par la pepsine.....	79
3. Activité antioxydante du collagène et de son hydrolysate issus de <i>Holothuria algeriensis</i>	80
4. Discussion	81
Conclusion et perspectives	83

Introduction générale

Introduction générale

Les holothuries, communément appelées « concombres de mer », appartiennent à l'embranchement exclusivement marin des Échinodermes. Cet embranchement comprend cinq classes, dont celle des Holothuroidea, réparties dans toutes les régions océaniques, des pôles aux tropiques, et des faibles aux grandes profondeurs (Conand, 2006). Actuellement, environ 1798 espèces de concombres de mer sont répertoriées à travers le monde (Paulay et al., 2023), dont plusieurs présentent un intérêt nutritionnel et économique notable.

La paroi du corps, ou tégument, de ces organismes benthiques est une source majeure de composés bioactifs. Dans plusieurs pays asiatiques, notamment en Chine, ce tégument est transformé en un produit sec connu sous le nom de "bêche-de-mer", très prisé pour ses qualités culinaires et médicinales (Conand, 1990; Borrero-Perez et al., 2009 ; Abul Hossain et al., 2020). Ce produit est apprécié non seulement pour sa texture et sa valeur gastronomique, mais également pour sa richesse en protéines, minéraux, acides aminés essentiels et collagène, qui lui confèrent des propriétés pharmacologiques et nutraceutiques intéressantes (Wang et al., 2013 ; Sellem et al., 2017 ; Conand, 2018).

Les concombres de mer représentent aujourd'hui un ingrédient majeur de la haute cuisine asiatique, avec plus de 77 espèces commercialisées dans le monde à des prix très variables selon la qualité et l'origine du produit (Purcell et al., 2013). Séchés, conservés, puis réhydratés avant préparation, ils constituent une source importante de protéines et d'oligo-éléments (Hamel et al., 2024). Leur réputation de « superaliment » repose sur leurs vertus nutritionnelles et thérapeutiques, notamment leur potentiel antioxydant, anti-inflammatoire, antimicrobien et antihypertenseur (Purcell, 2014 ; Sionkowska et al., 2020 ; Çaklı Şen et al., 2023).

Sur le plan biochimique, plusieurs études à l'échelle de la méditerranée ont mis en évidence la composition approximative du tégument de différentes espèces d'holothuries, révélant des taux élevés en protéines (40–70 %), associés à une faible teneur en lipides et à une proportion significative de cendres et de sucres (Rodríguez-Domínguez et al., 2018 ; Khodja, 2022). Ces caractéristiques confirment la valeur nutritionnelle élevée des holothuries de Méditerranée, notamment des genres *Holothuria*, *Parastichopus* et *Stichopus*.

Outre leur intérêt alimentaire, les holothuries constituent une source prometteuse de collagène marin, une protéine structurale largement utilisée dans les domaines cosmétique, biomédical et pharmaceutique. Le collagène extrait du tégument présente une composition riche en glycine, proline et hydroxyproline, et se distingue par sa biodégradabilité, sa biocompatibilité et sa faible immunogénicité (Sionkowska et al., 2020 ; Çaklı Şen et al., 2023). Ces propriétés en font une alternative durable au collagène d'origine terrestre, dont la production soulève souvent des questions éthiques et sanitaires.

En Algérie, et plus particulièrement sur la côte ouest (région de Mostaganem), les populations naturelles d'holothuries ont longtemps été considérées comme abondantes, mais elles font aujourd'hui l'objet d'une surexploitation croissante, entraînant une diminution notable de leurs effectifs. Malgré leur intérêt écologique et économique, ces espèces demeurent peu étudiées du point de vue biochimique, notamment en ce qui concerne la composition de leur tégument, leur digestibilité et leurs applications bioactives. Les études sur la composition nutritionnelle des holothuries de la côte algérienne sont encore limitées et se sont principalement intéressées au tégument frais (Mecheta & Mezali, 2019 ; Mecheta et al., 2020 ; Khodja & Mezali, 2022). Le manque de données sur leur composition chimique, leur digestibilité et leurs applications bioactives limite la mise en place d'une stratégie de valorisation durable.

Dans ce contexte, la présente thèse vise à étudier la valorisation et l'exploitation du stock d'holothuries de la côte ouest algérienne, à travers une approche combinant une analyse biochimique, une transformation culinaire "bêche-de-mer" et une valorisation du collagène extrait du tégument. Cette démarche s'inscrit dans une perspective de gestion durable des ressources marines et de promotion de nouvelles filières biotechnologiques en Algérie.

Ce travail vise à approfondir notre connaissance sur les aspects culinaires, nutritionnelles et biochimiques de six espèces d'holothuries retrouvées dans la côte ouest Algérienne (Mostaganem): cinq espèces peu profondes [*Holothuria (Holothuria) algeriensis* **Mezali, Thandar & Khodja, 2021**, *Holothuria (Roweothuria) arguinensis* **Koehler & Vaney, 1906**, *Holothuria (Holothuria) poli* **Delle Chiaje, 1823**, *Holothuria (Platyperona) sanctori* (**Delle Chiaje, 1823**), *Holothuria (Holothuria) tubulosa* (**Gmelin, 1791**), ainsi qu'une espèce profonde, *Parastichopus regalis* (**Cuvier, 1817**).]

La thèse est divisée en trois principaux chapitres, chacun subdivisé en sous-chapitre comme suit :

Le premier chapitre, intitulé « Étude bibliographique », est consacré dans un premier temps à la synthèse des connaissances relatives aux espèces étudiées et à leur milieu de vie. Il aborde ensuite la valeur nutritionnelle des concombres de mer ainsi que les avancées liées à leur valorisation, notamment à travers l'extraction et la caractérisation des biomolécules (i.e. collagène).

Le deuxième chapitre « Matériel et méthodes » est subdivisé en trois parties : 1) la première partie est consacrée à l'étude de la composition biochimique du tégument frais et transformé en produit sec "bêche de mer" afin de déterminer l'impact du procédé de transformation sur ses valeurs nutritionnelles et sa digestibilité, 2) la deuxième partie a été consacrée à la valorisation culinaire des espèces de concombres de mer à travers la transformation du tégument frais en "bêche-de-mer" et son intégration dans différentes préparations alimentaires et 3) la troisième partie a porté sur l'extraction, l'isolement et la caractérisation du collagène issu du tégument de l'espèce récemment découverte sur les côtes algériennes, il s'agit d'*Holothuria algeriensis*. Les propriétés bioactives, notamment leur activité antioxydante (DPPH) ont été déterminées.

Le troisième chapitre présente l'ensemble des résultats obtenus pour chaque étude, accompagnés de leur discussion, en suivant la même structure que celle adoptée dans le chapitre précédent.

Chapitre I : Etude bibliographique Chapitre

I.1 : Espèce et milieu

Chapitre 1 : Généralités sur les échinodermes et les holothuries

Chapitre I.1 : Espèce et milieu

1. Présentation de l'embranchement des Échinodermes

Les échinodermes constituent un embranchement exclusivement marin et l'un des plus anciens groupes du règne animal, apparu dès le Cambrien sous des formes asymétriques ou bilatérales (Guille et al., 1986). Le terme *Echinodermata*, d'origine grecque (*Echino* = épineux ; *Derma* = peau), signifie « peau épineuse », en référence aux structures calcaires présentes dans leur tégument (Lambert, 1997 ; Samyn et al., 2006). Ce phylum diversifié regroupe plus de 7 000 espèces réparties en trois sous-phylums et cinq classes distinctes (Figure 1) :

- Asteroidea (1 942 espèces, étoiles de mer),
- Ophiuroidea (2 131 espèces, ophiures),
- Crinoidea (667 espèces, lys de mer),
- Echinoidea (1 021 espèces, oursins),
- Holothuroidea (1 781 espèces, holothuries ou « concombres de mer ») (Navarro, 2012 ; O'Loughlin et al., 2016 ; Pandian, 2018 ; Altenburger et al., 2023 ; Mah, 2023 ; Messing, 2023 ; O'Hara et al., 2023 ; Paulay et Rogacheva, 2023).

Les cinq classes constituent des groupes monophylétiques. Les Crinoidea représente la lignée évolutive la plus ancienne, tandis que les autres classes appartiennent au sous-embranchement Eleutherozoa. Les Holothuroidea et les Echinoidea forment le groupe *Echinozoa*, tandis que les Asteroidea et Ophiuroidea semblent constituer le groupe *Asterozoa* (Samyn et al., 2006).

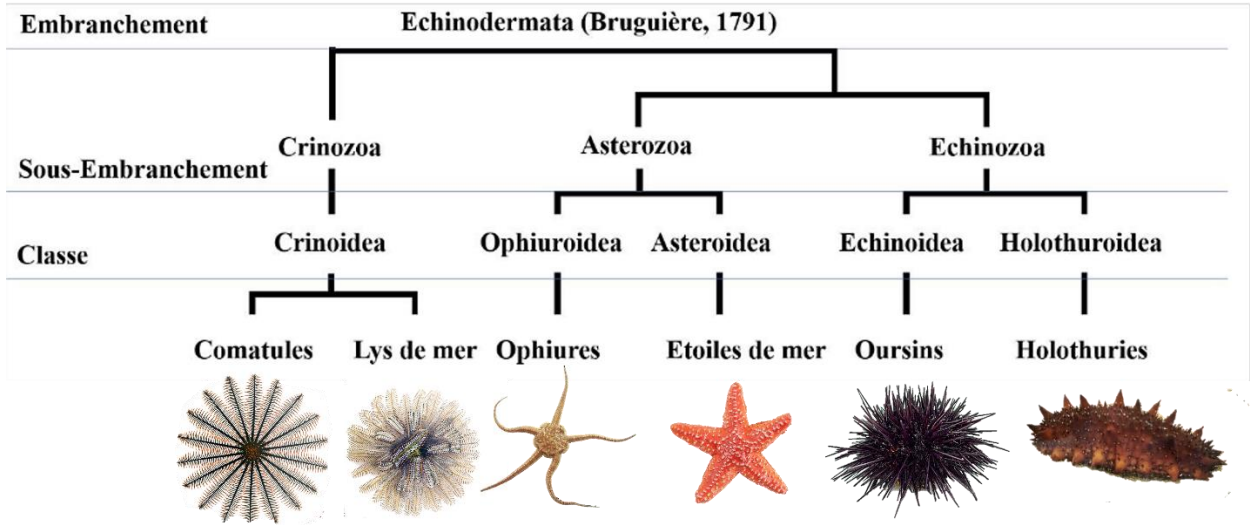


Figure 1: Arbre phylogénétique et représentants de l'embranchement des Echinodermes (Kamyab et al., 2020 modifiée).

Les échinodermes se caractérisent par une symétrie pentalatérale, bien marquée chez les étoiles de mer et les ophiures, moins évidente chez les "lys de mer" et les oursins, et pratiquement absente chez les holothuries (Guille et al., 1986). Leur squelette interne calcaire, composé de plaques ou de spicules, leur confère une structure rigide et protectrice (Mortensen, 1927 ; O'Loughlin et al., 2016).

Ils possèdent également un appareil aquifère ou système ambulacraire, formé d'un réseau de canaux internes connectés à des pieds tubulaires qui assurent principalement la locomotion et la nutrition (Guille et al., 1986 ; Lambert, 1997 ; Samyn et al., 2006). Leur corps est divisé en dix sections, alternant entre zones radiaires (ambulacraires), munies de pieds tubulaires, et zones interradiaires (interambulacraires) qui en sont dépourvues (Mortensen, 1927).

Selon l'organisation des zones radiaires, le corps des échinodermes peut prendre différentes formes :

- étoilée (Asteroidea et Ophiuroidea);
- florale (Crinoidea);
- arrondie (Echinoidea) ou
- allongée en forme de ver (Holothuroidea) (Mortensen, 1927).

Ainsi, malgré leur diversité morphologique, tous les échinodermes partagent des caractéristiques biologiques et anatomiques uniques qui les distinguent parmi les invertébrés marins.

1.1. Présentation de la classe des Holothuroidea

Les Holothuroidea forment une classe spécifique d'échinodermes caractérisée par un corps allongé et souple, sans squelette externe, et une mobilité accrue par rapport aux autres échinodermes (Smiley, 1991). Avec plus de 1 700 espèces recensées à travers le monde, elles occupent divers habitats marins, des zones intertidales aux abysses (Pawson, 2007).

Contrairement aux oursins et aux étoiles de mer, les holothuries possèdent un tégument souple, renforcé par des spicules calcaires microscopiques, qui constituent des critères taxonomiques essentiels (Gilliland, 1993). Leur corps est organisé autour d'une symétrie bilatérale secondaire, conséquence de leur mode de vie benthique, et présente une bouche entourée de tentacules buccaux rétractiles (Hyman, 1955).

Du point de vue écologique, les holothuries jouent un rôle fondamental en tant qu'organismes détritivores, contribuant au recyclage des sédiments marins et au maintien des cycles biogéochimiques dans les écosystèmes benthiques (Purcell et al., 2016). Elles possèdent également une grande importance économique, notamment dans la pêche et l'aquaculture, en raison de leur forte demande en Asie pour leurs vertus nutritionnelles et médicinales (Conand, 2004).

L'identification des holothuries repose sur plusieurs critères morphologiques et anatomiques :

- Taille et forme du corps : de quelques centimètres à plus d'un mètre selon l'espèce (Massin 1999);
- Tentacules buccaux : leur nombre (10 à 20), leur forme et leur disposition sont des critères essentiels (Smiley, 1994);
- Tégument et spicules : critères taxonomiques majeurs (Conand, 1990);
- Système ambulacraire : organisation des podia et adaptation au substrat (Hyman, 1955).

1.1.1. Classification des Holothuroidea

Traditionnellement, six ordres principaux sont reconnus :

- a) Holothuriida (ex-Aspidochirotida) : tentacules peltés (*Holothuria scabra*).
- b) Synallactida : espèces abyssales (*Stichopus chloronotus*).
- c) Dendrochirotida : filtreuses à tentacules ramifiés (*Cucumaria frondosa*).
- d) Molpadiida : corps fusiforme, tégument épais (*Molpadia intermedia*).
- e) Apodida : sans podia, enfouissement (*Chiridota rigida*).
- f) Elasipodida : abyssales, adaptations spécialisées (*Scotoplanes globosa*).

Cette classification est aujourd'hui complétée par des analyses moléculaires (Kerr et al., 2005).

1.2. Morphologie et anatomie des holothuries

1.2.1. Morphologie externe

Les "concombres de mer" ont un corps cylindrique de taille variable (de quelques millimètres à plus de 2 mètres) (Flammang et Conand, 2004 ; Broszeit et al., 2010), légèrement effilé aux extrémités et allongé le long d'un axe oral-aboral (Mezali, 2001 ; Samyn et al., 2006). Leur paroi (tégument) est généralement très coriace, épaisse et parfois gluante ou cuirassée (Figure 2). Elle est constituée de plusieurs couches, de l'extérieur vers l'intérieur : une cuticule fine, un épiderme mince, un derme épais qui occupe la majeure partie de son épaisseur, et une couche musculaire circulaire interrompue à cinq endroits par des paires de muscles longitudinaux (Florkin et Schoffenibls, 1969 ; Nichols, 1969 ; Guille et al., 1986 ; Tortonese et Vadon, 1987; Arnold et Birtles, 1989).

Les holothuries présentent une symétrie bilatérale masquée par une symétrie radiaire pentamérique, soulignée le long de cinq radius et rendue visible par une ou plusieurs rangées de podia (Guille et al., 1986 ; Tortonese et Vadon, 1987). Cependant, cette disposition peut être

absente chez certaines espèces, en particulier chez les Holothuriida et les Dendrochirotida (Clark et Rowe, 1971). La face ventrale, appelée "trivium", est caractérisée par trois radius légèrement aplatis, couverts de nombreux pieds ambulacraires (ou podia) terminés par une ventouse, permettant la fixation et la locomotion sur le substrat. Le nombre de pieds ambulacraires augmente avec l'âge, bien qu'il ait peu d'importance taxonomique (Clark, 1922). La face dorsale, appelée "bivium", est constituée de deux radius et de podia sans ventouse appelés papilles, spécialisés dans la perception sensorielle (Tortonese et Vadon, 1987 ; Samyn et al., 2006 ; Ahmed, 2009). Leur nombre et leur proéminence varient avec l'âge, augmentant à maturité et diminuant pendant la sénescence.

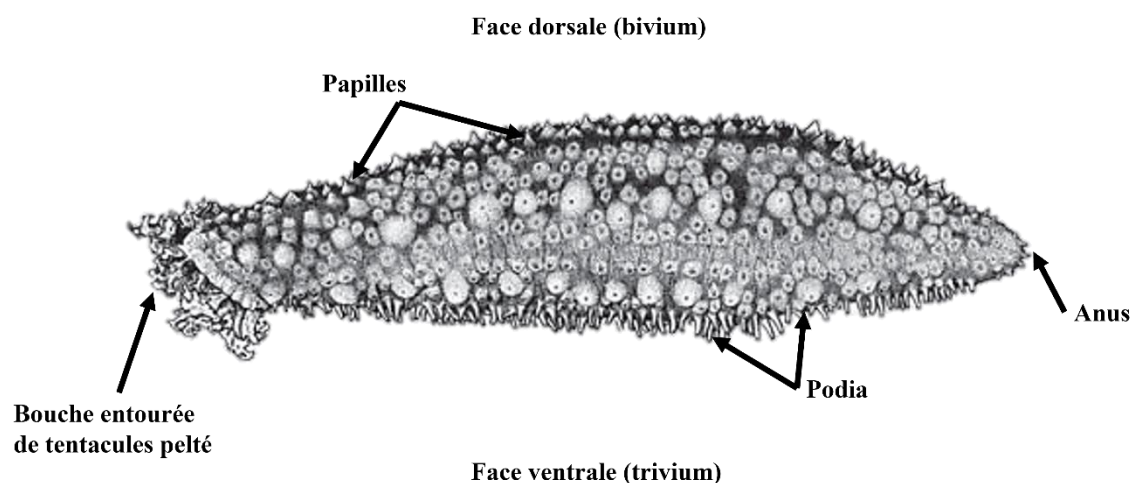


Figure 2: Morphologie externe d'une holothurie de l'ordre des Holothuriida (Samyn et al., 2006 modifiée).

L'axe bucco-aboral est généralement horizontal, la bouche et l'anus se situant à des extrémités opposées du corps (Florkin et Schoffenibls, 1969 ; Guille et al., 1986 ; Pawson et al., 2010). La bouche est entourée d'un anneau de huit à trente tentacules rétractiles, qui sont en réalité des podia très développés servant à l'ingestion des particules alimentaires. Leur structure varie considérablement selon les groupes d'holothuries, ce qui permet de les différencier au niveau de la

sous-classe et de l'ordre (Lambert, 1997). Ces tentacules peuvent être dendritiques, digités, pennés ou peltés. Les espèces suspensivores possèdent des tentacules très ramifiés, capables de capturer

les particules organiques en suspension (Pawson et al., 2010), tandis que les espèces dépositivores ont des tentacules peltés adaptés au broutage du substrat (Rowe, 1969).

La couleur du corps des holothuries varie du noir au gris, en passant par le brun rougeâtre ou violacé, avec quelques exceptions comme *Holothuria (H.) helleri* (jaune), *Leptosynapta sp.* et *Thyone propinqua* (blanches ou roses), *Holothuria (Platyperona) parvula* (verte) et *Thyone hirta* (orange) (Navarro, 2012). Certaines espèces présentent des colorations tachetées, comme *Holothuria sanctori* (Mezali, 2013). Fréquemment, la face ventrale est de couleur contrastante par rapport à la face dorsale (Navarro, 2012).

1.2.2. Morphologie interne

Les pieds tubulaires ou podia, qui sont des extensions de la paroi corporelle contiennent une branche du système aquifère, se terminant par une ventouse permettant aux holothuries de se fixer et de se déplacer (Mortensen, 1927). Leur disposition varie selon les espèces : ils peuvent être présents sur tous les rayons ou regroupés en bandes visibles de la bouche à l'anus, souvent plus nombreux ventralement que dorsalement (Pawson et al., 2010). Internement, les podia sont soutenus par un disque squelettique perforé (Pawson et al., 2010). Certains podia, dépourvus de ventouse, se trouvent sur la face dorsale sous forme de papilles coniques plus ou moins élargies (Navarro, 2012 ; Purcell et al., 2012).

La position de la bouche varie en fonction du mode d'alimentation : elle est dorsale chez les suspensivores et ventrale chez les dépositivores (Figure 3) (Pawson et al., 2010). Elle peut également être terminale (chez les Apodida, Molpadida et la plupart des Dendrochirotida), ventrale (Elasipodida et Holothuriida) ou dorsale chez certains Dendrochirotida (Pawson, 1970). L'anus peut être entouré de papilles ou de "dents anales" calcifiées (Purcell et al., 2012). Sa position varie selon l'ordre taxonomique : ventrale chez les Elasipodida, terminale chez les Apodida, Molpadida

et la plupart des Dendrochirotida et Holothuriida, et dorsale chez certains Holothuriida et Dendrochirotida (Pawson, 1970 ; Feral et Massin, 1982).

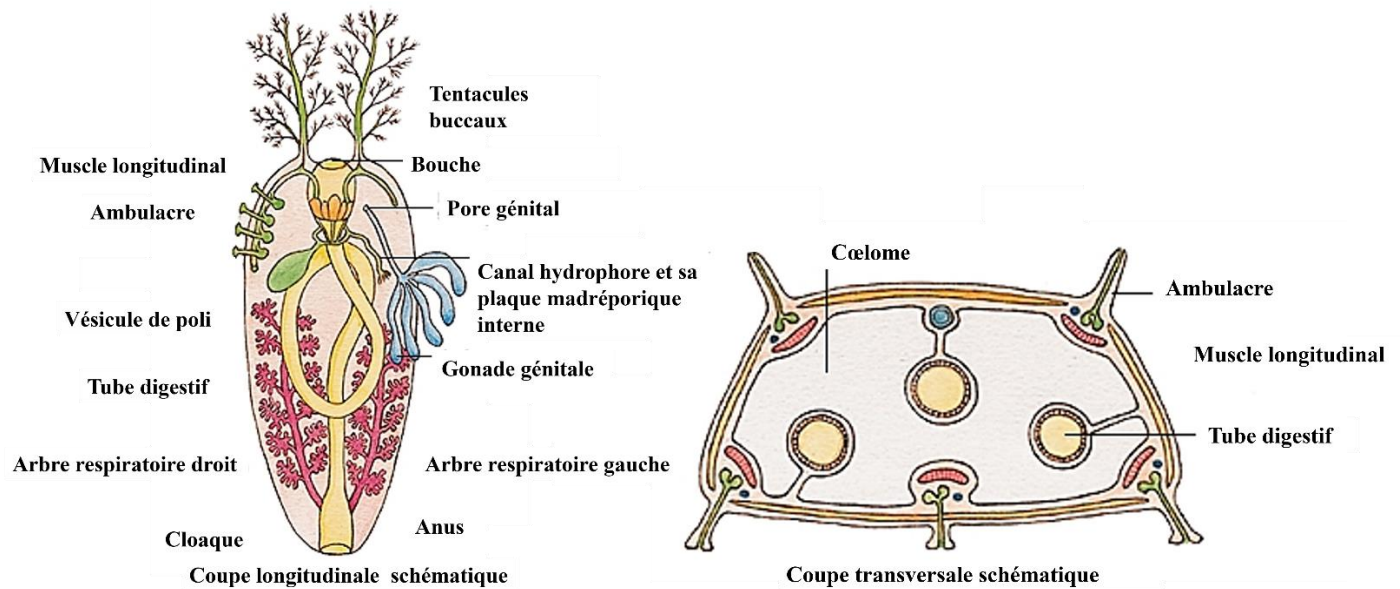


Figure 3: Holothurie actinopode (concombre de mer). Dessin de Dominique Sablons – Archives Larousse (2025 modifiée)

1.2.3. Endosquelette des holothuries

Contrairement aux autres échinodermes, les holothuries ne possèdent pas de squelette externe rigide, mais un endosquelette constitué de sclérites. Ce sont des éléments calcaires microscopiques dispersés dans leur paroi corporelle (Mortensen, 1927 ; Rowe, 1969). Ces sclérites, formées par des cellules mésodermiques (Moore, 2006), varient en forme et en structure selon les espèces et représentent un caractère taxonomique fondamental à l'échelle générique et spécifique (Pawson, 1970 ; Navarro, 2012 ; Slater et Chen, 2015).

Les échinodermes en général présentent une diversité structurale dans leur endosquelette. Chez les oursins (Echinoidea) et les ophiures (Ophiuroidea), il est constitué de plaques calcaires compactes formant une armure protectrice autour des organes internes, tandis que chez les lys de mer

Crinoidea) et certaines étoiles de mer (Asteroidea), les éléments squelettiques sont plus dispersés, laissant certains tissus exposés (Stricker, 1986). En revanche, chez les holothuries (Holothuroidea), le squelette est peu développé, et les plaques calcaires sont réduites à des spicules isolés, sans disposition régulière (Mortensen, 1927). Ces sclérites soutiennent la paroi du corps et les tissus internes, jouant un rôle crucial dans la rigidité et la texture de certaines espèces (Pawson et al.,

2010). Leur composition comprend du carbonate de calcium (CaCO_3), du magnésium (Mg), des carbonates (CO_3^{2-}) et divers éléments-traces (Hampton, 1958 ; Raup, 1966).

L'identification des holothuries repose principalement sur la morphologie des sclérites et leur distribution dans le tégument et les podia (Rowe, 1969). Ces structures peuvent représenter jusqu'à 70 % du poids sec de la paroi du corps et existent sous diverses formes géométriques, désignées par des termes descriptifs tels que boutons, corbeilles, tables, plaques, bâtonnets, ancras et roues (Koehler, 1921). On estime qu'un individu peut contenir jusqu'à vingt-et-un million de ces pièces calcaires disséminées dans ses couches dermiques (Samyn et al., 2006 ; Mezali, 2008). Chez certaines espèces, elles sont présentes dans presque tous les organes, alors que chez d'autres, elles se limitent à certaines parties du corps (Ahmed, 2009). Ces caractéristiques font des sclérites un critère incontournable pour la systématique des holothuries (Hampton, 1958 ; Cutress, 1996 ; Zetina et al., 2002).



Figure 4: Différents types de sclérites des holothuries. A-E, G-H. Tables vues sous différents angles, F. Tasse croisée. I. Plaque perforée, J-N. Boutons lisses et à boutons, O. Tasse, P. Plaque d'ancrage, Q. Ancre, R. Bâtonnet en forme de « C », S. S. Roue (in Pawson et al., 2010).

2. Biologie et écologie des holothuries

2.1 Distribution et habitats des holothuries

Les holothuries sont présentes dans tous les écosystèmes marins, des zones intertidales aux abysses, et occupent divers substrats, notamment les fonds meubles, les récifs coralliens et les herbiers à *Posidonia oceanica* en Méditerranée, où elles contribuent au recyclage des matières organiques (Perez-Ruzafa et al., 1992 ; Mezali, 2008 ; Purcell et al., 2012). La majorité des espèces sont benthiques, mais certaines formes abyssales, comme *Pelagothuria natatrix* et *Enypniastes eximia*, sont pélagiques ou benthopélagiques (Harms, 2012 ; Solís-Marín et al., 2012).

Leur répartition est influencée par plusieurs facteurs, notamment la profondeur, la nature du substrat, la disponibilité de la nourriture, les conditions environnementales et la pression des prédateurs (Mercier et al., 2000 ; Slater et Jeffs, 2010 ; Navarro et al., 2014). L'hydrodynamisme joue un rôle clé dans la distribution des espèces suspension-feeders (Fankboner, 1978). Les holothuries adoptent également différents comportements selon leur cycle de vie : les larves sont souvent diurnes, tandis que les adultes peuvent être diurnes ou nocturnes selon les espèces (Toral-Granda, 2006).

2.2 Modes de reproduction

Les échinodermes sont itéropares, se reproduisant plusieurs fois au cours de leur vie (Pandian, 2018). La majorité des holothuries sont gonochoriques sans dimorphisme sexuel apparent, nécessitant une observation microscopique des gonades pour distinguer les sexes (Hyman, 1955 ; Slater et Chen, 2015 ; Pandian, 2018). Quelques espèces, comme *Pentactella laevigata*, *Mesothuria intestinalis* et certains *Synaptidae*, sont hermaphrodites (Mortensen, 1927 ; Hyman, 1955). Chez les gonochores, la reproduction sexuée favorise la diversité génétique, essentielle à l'évolution (Pandian, 2018).

2.2.1 La reproduction sexuée

Le cycle reproducteur des holothuries suit un rythme saisonnier influencé par des facteurs environnementaux tels que la température, la disponibilité alimentaire et la densité de population, entraînant une variabilité spatio-temporelle de la maturité sexuelle (Smiley et al., 1991 ; Pandian, 2018). Les espèces tempérées fraient principalement au printemps et en été en réponse à l'élévation de la température (Hyman, 1955 ; Hamel et al., 1993 ; Mezali et al., 2014; Slimane-Tamacha et al., 2019 ; Mezali et al., 2022), tandis que les espèces tropicales présentent des périodes de reproduction plus longues (Pearse, 1968 ; Conand, 1993).

Chez ces échinodermes, la reproduction sexuée repose sur un frai synchronisé, déclenché par des signaux chimiques, favorisant la fécondation externe dans la colonne d'eau (Hyman, 1955; Conand, 2006 ; Pandian, 2018). Chez les espèces de l'ordre Holothuriida, ce frai est caractérisé par une posture verticale et des mouvements oscillatoires facilitant la dispersion des gamètes (Samyn et al., 2006 ; Navarro et al., 2012 ; Purcell et al., 2012). Les mâles libèrent généralement leurs spermatozoïdes avant les femelles, et cette émission peut durer de 15 minutes à plus de 4 heures selon les espèces (Hyman, 1955 ; Conand, 2006).

Des observations récentes confirment ce comportement typique chez *Holothuria floridana*. Les individus adoptent un soulèvement de la partie antérieure du corps, où se trouvent la papille génitale et le gonopore, accompagné de mouvements oscillatoires, bien que l'émission de gamètes puisse aussi survenir sans ces mouvements (Figure 5A) (Felaco, 2024). Les mâles libèrent leurs gamètes 30 à 60 minutes avant les femelles, lesquelles émettent leurs ovocytes en plusieurs vagues successives, avec un diamètre variant entre 390 et 600 μm selon la taille et l'état physiologique des individus (Figure 5B) (Felaco, 2024). Le développement embryonnaire, d'une durée de 3 à 8 jours, est favorisé par l'apport de microalgues qui adhèrent à la capsule embryonnaire et forment un biofilm nutritif (Figure 5C) (Felaco, 2024). Après 7 à 10 jours, les juvéniles développent leurs podia postérieurs, et des individus pigmentés d'environ 0,5 cm apparaissent entre 1 et 1,5 mois après l'éclosion (Figure 5D) (Felaco, 2024).

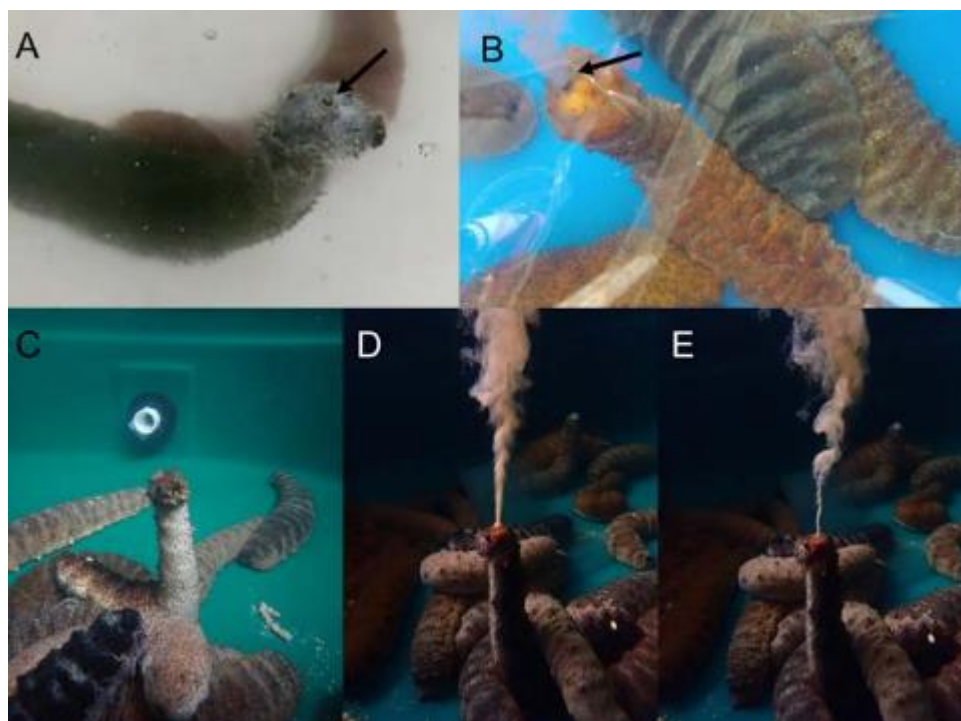


Figure 5: Frai de *Holothuria floridana*. A. Mâles et B. Femelles en phase de frai dans des bassins de reproduction ; les flèches indiquent les gamètes libérés. C–D. Séquences accélérées montrant une femelle en train de frayer. (Luis Felaco et al., 2024)

Le développement présente des particularités remarquables par rapport à d'autres espèces d'intérêt commercial. Après la fécondation, les œufs (Figure 6A) subissent les premières divisions cellulaires (Figure 6B) qui conduisent à la formation des embryons en quelques jours (Figure 6C). L'éclosion intervient généralement entre le 3^e et le 8^e jour, en fonction de la température de l'eau, et donne naissance à des larves benthiques appelées pentactulae (Figure 6D).

Contrairement aux espèces à développement planctonique nécessitant une alimentation en écloserie, ces pentactulae émergent directement à partir d'ovocytes encapsulés, ce qui simplifie les besoins trophiques durant les premiers stades (Hamel & Mercier, 1996 ; Miller & Pawson, 2013).

Les capsules adhésives entourant les ovocytes jouent un rôle essentiel : elles permettent aux larves d'adhérer au substrat et d'entrer rapidement en contact avec un biofilm algal ajouté dès le deuxième jour, constituant leur première source de nourriture (Hamel & Mercier, 1996), pentactula entièrement formée (Figure 6E). Après 7 à 10 jours, les juvéniles développent progressivement

leurs podia postérieurs(Figure 6F), et en 1 à 1,5 mois, ils atteignent une taille d'environ 0,5 cm, selon les conditions d'élevage (température, lumière et disponibilité alimentaire) (Sewell & McEuen, 2012). Et finalement (Figure 6G) représente des juvénile de 3 mois.

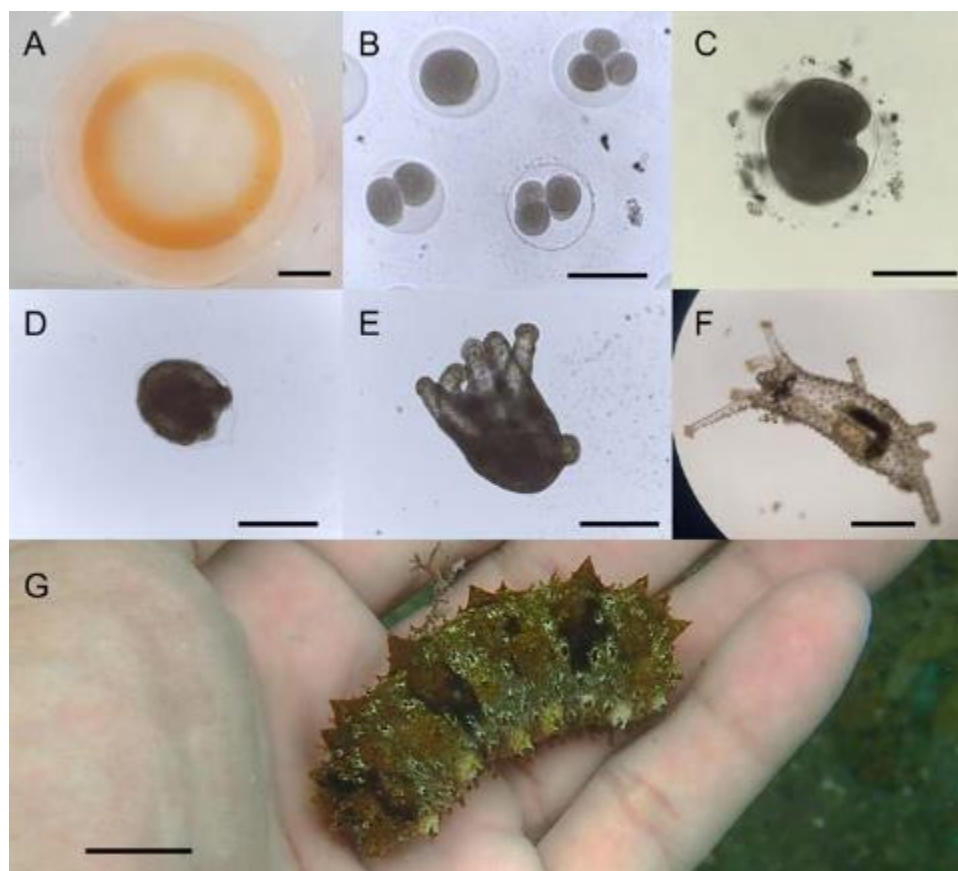


Figure 6: Développement de *Holothuria floridana*. A. Ovocytes collectés dans un b cher ; B. Œufs fécondés; C. embryon ; D. pentactula en début d'éclosion; E. pentactula; (F,G). juvénile de 3 mois.  chelle:1 mm (A,G) et 350  m (B,F). (Luis Felaco et al., 2024)

2.2.2 La reproduction asexuée

Certaines holothuries ont recours à la reproduction asexuée par fission, un processus au cours duquel l'organisme se divise en deux parties capables de régénérer les structures manquantes (Hyman, 1955 ; Pandian, 2018). Ce phénomène, observé principalement chez les Holothuriida et

les Dendrochirotida, est favorisé dans des environnements instables où la mortalité est élevée, la taille corporelle réduite et la reproduction sexuée limitée (Mladenov, 1996 ; Abdel Razek et al., 2007 ; Dolmatov, 2014). La fission peut se présenter sous deux formes : l'architomie (fission transversale) et la fragmentation (Dolmatov, 2014).

Différents mécanismes de division sont décrits, tels que la torsion, l'étirement ou encore la constriction de la paroi corporelle (Monticelli, 1896), schématisés dans la (Figure 7A) (Uthicke, 2024). La séparation s'effectue le plus souvent au niveau médian, ce qui entraîne la rupture de plusieurs organes internes comme l'intestin, les muscles longitudinaux et la paroi externe (O'Loughlin et al., 2009 ; Dolmatov et al., 2012 ; Dolmatov, 2014). Après la scission, le fragment antérieur conserve généralement le système aquifère, les gonades et une portion de l'intestin (Conand, 1995 ; Dolmatov et al., 2012 ; Dolmatov, 2014), tandis que le fragment postérieur contient le cloaque, une portion plus importante de l'intestin, les arbres respiratoires et parfois les tubes de Cuvier (Dolmatov, 2014). Grâce à leur potentiel régénératif exceptionnel, les deux parties donnent naissance à des individus complets (Figure 7B) (Pandian, 2018 ; Uthicke, 2024).

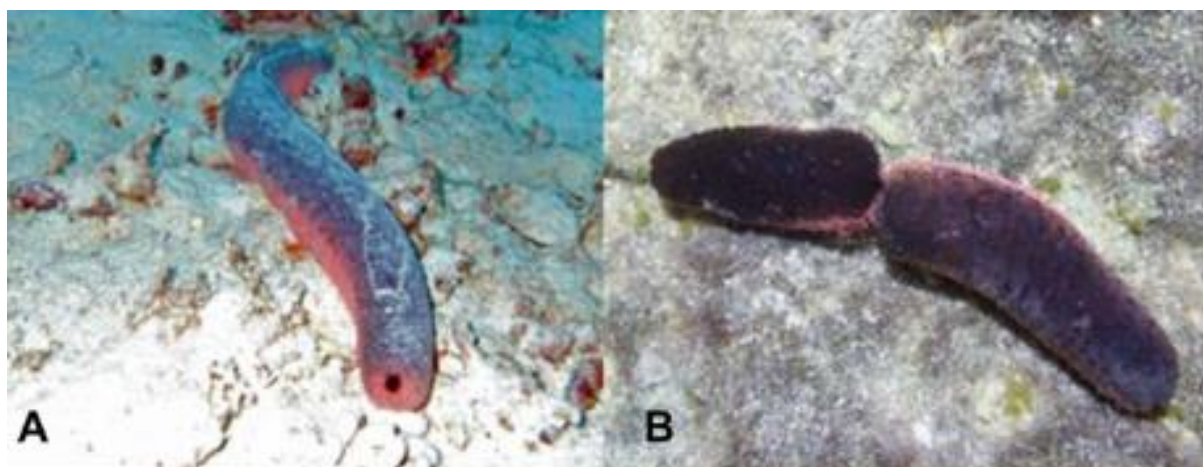


Figure 7: Reproduction asexuée chez les holothuries (*Holothuria edulis* et *H. leucospilota*). A. *H. edulis* normal, longueur 24 cm, B. *H. edulis* en cours de fission, partie antérieure à gauche, partie postérieure à droite. (Sven et al., 2024)

La régénération suit cependant un schéma distinct selon les fragments. Dans la partie antérieure, la plaie postérieure est colmatée, puis apparaissent un nouveau cloaque et des arbres respiratoires.

Dans la partie postérieure, le processus majeur est la reconstruction du système aquifère, parallèlement à la formation de l'anneau nerveux et du canal hydrovasculaire circulaire, suivie du rétablissement du système digestif et de la croissance de l'organisme (Dolmatov, 2014). La durée de régénération varie fortement et semble dépendre des espèces.

Des travaux plus récents ont montré que la fission peut s'initier soit par torsion et étirement de la région antérieure, soit par une constriction localisée de la paroi corporelle, aboutissant à une séparation rapide. Ce phénomène repose sur la présence d'un tissu conjonctif mutable, capable de se liquéfier en quelques minutes et de permettre la scission complète de l'animal en deux parties, chacune pouvant régénérer ses organes (Emson & Wilkie, 1980 ; Motokawa, 1984 ; Dolmatov, 2014 ; Uthicke, 2024).

2.3 Nutrition et régime alimentaire

Les concombres de mer (Holothuroidea) développent des stratégies alimentaires variées qui reflètent leur grande capacité d'adaptation aux milieux benthiques (Jangoux et Lawrence, 1982 ; Roberts et al., 2000 ; Slater et Chen, 2015). Leur rôle écologique est majeur, notamment en tant que détritivores contribuant au recyclage de la matière organique présente dans les sédiments (Mercier et al., 2024). Deux principaux modes d'alimentation sont observés chez ces échinodermes: la dépositivorie, par ingestion de particules sédimentaires, et la suspensivorie, qui consiste à capter les particules en suspension dans l'eau (Jangoux et Lawrence, 1982 ; Roberts et al., 2000 ; Purcell et al., 2016).

Chez les espèces dépositivores, l'alimentation se fait grâce à des tentacules buccaux différenciés, adaptés au type de substrat. Sur les fonds meubles, ils raclent les couches superficielles du sédiment, alors que sur les substrats plus durs, ils balayent la surface pour collecter les particules (Mezali et al., 2003 ; Roberts et al., 2000). Les matériaux ingérés comprennent un mélange de minéraux (silice, calcaire), de débris organiques, de microorganismes (bactéries, protozoaires, diatomées) et même de fèces issues d'autres organismes benthiques (Belbachir et Mezali, 2018 ; Elakkermi et al., 2021). Certaines holothuries avalent accidentellement des fragments de feuilles de Posidonies, non digérés mais porteurs d'épiphytes utiles comme source alimentaire (Bakus,

1973). On note également une sélectivité alimentaire fine, favorisée par des récepteurs sensoriels situés sur les tentacules, permettant aux holothuries de choisir les particules les plus nutritives selon leur taille et leur composition, tout en limitant la compétition avec d'autres espèces benthiques (Mezali et al., 2003 ; Mezali et Soualili, 2013 ; Ramón et al., 2019).

Les suspensivores, en revanche, déploient leurs tentacules dans la colonne d'eau pour y capturer le phytoplancton et d'autres particules organiques. Ces tentacules, recouverts de mucus, sont ensuite repliés dans la bouche pour essuyer les particules récoltées (Hyman, 1955 ; O'Loughlin et al., 2016). Certains individus génèrent des courants pour améliorer cette capture (suspensivores actifs), tandis que d'autres comptent uniquement sur le mouvement de l'eau (suspensivores passifs) (Singh et al., 1998). Leur régime est riche en diatomées, algues unicellulaires, petits invertébrés et matière organique dissoute (Roberts et al., 2000 ; Jørgensen, 1966). On les retrouve principalement dans les zones bien oxygénées, riches en nutriments et à forte dynamique hydrique, notamment dans les eaux tempérées peu profondes (Bakus, 1973 ; Pawson, 1970).

Ce comportement alimentaire influence directement la composition biochimique des tissus (protéines, lipides, minéraux) des holothuries, des éléments particulièrement recherchés dans le cadre de leur valorisation nutritionnelle et industrielle (Hamel et al., 2024 ; Pearce et Suhrbier, 2024). Leur capacité à sélectionner les particules les plus riches et à s'adapter à la qualité du milieu leur confère une plasticité écologique remarquable, renforçant leur intérêt dans les projets de valorisation durable (Slater et Chen, 2015 ; Mercier et al., 2024).

2.4 Prédation et stratégies de défense

Les holothuries occupent une place centrale dans les réseaux trophiques benthiques en transférant l'énergie issue des détritiques organiques et des microalgues vers des niveaux trophiques supérieurs. Elles subissent toutefois une pression de prédation de la part d'organismes appartenant à différents embranchements, notamment les poissons, les tortues marines, les échinodermes, les mollusques, les crustacés, et même les reptiles marins (Figure 8A,B) (Francour, 1997 ; Purcell et al., 2016 ; Atkinson et al., 2018 ; Richard, 2022). De même, le crabe *Pugettia ferox* est capable de consommer rapidement plusieurs holothuries juvéniles, utilisant parfois les fragments de ses proies comme

camouflage temporaire avant de les ingérer totalement, ce qui témoigne de la diversité et de la complexité des interactions prédateur-proie impliquant ces échinodermes (Figure 8C) (Chen et al., 2021). Des études expérimentales ont montré que l'étoile de mer *Asterina pectinifera* est un prédateur particulièrement redoutable des juvéniles d'*Apostichopus japonicus*, provoquant une mortalité élevée chez les individus de petite taille, tant en milieu naturel qu'en aquaculture (Figure 8D) (Zhang et al., 2023).

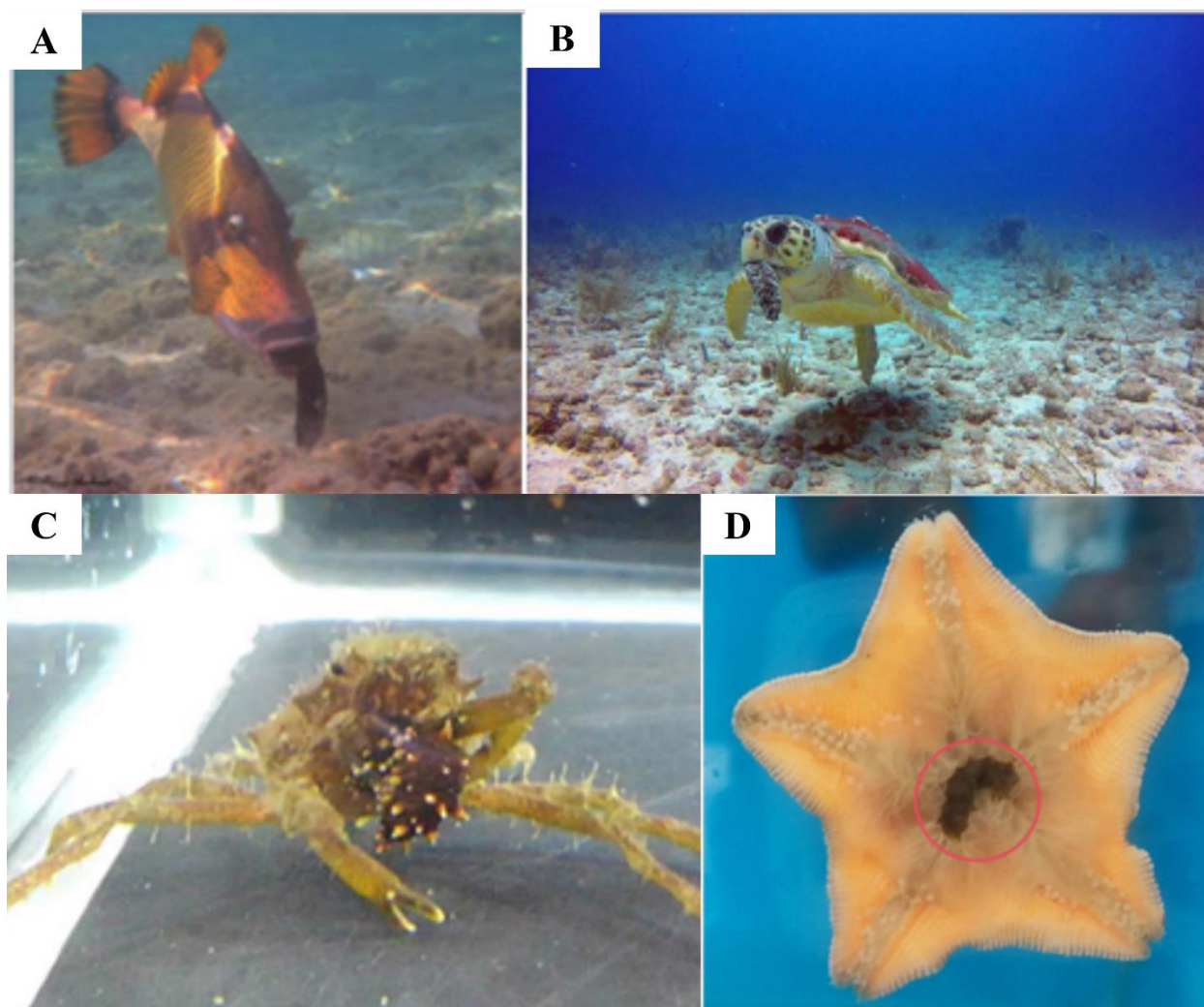


Figure 8: Exemples de prédation d'holothuries. A. Attaque de *Holothuria leucospilota* par le baliste titan *Balistoides viridescens*, B. Consommation de *Holothuria mexicana* par la tortue caouanne *Caretta* (Rogers et al., 2020 ; Richard, 2022), C. Prédation de *Apostichopus japonicus*

par l'étoile de mer *Asterina pectinifera* (Zhang et al., 2023), D. Prédation active des juvéniles d'*Apostichopus japonicus* par le crabe *Pugettia ferox* (Chen et al., 2021).

2.5 Relations symbiotiques et interactions écologiques

Les holothuries entretiennent une grande diversité de relations symbiotiques, tant internes qu'externes, avec des organismes issus de plusieurs embranchements, illustrant leur rôle central dans les réseaux biologiques benthiques (Jangoux, 1990 ; Eeckhaut et al., 2004 ; Mercier et al., 2024). Ces interactions sont le plus souvent de nature commensale ou parasitaire, bien que certains cas de mutualisme aient également été observés. Parmi les endocommensaux vivant à l'intérieur du corps des holothuries notamment dans le tube digestif ou la cavité coelomique figurent des protozoaires, des plathelminthes et des poissons de la famille des Carapidae, comme les genres *Carapus*, *Onuxodon* et *Encheliophis* (Purcell et al., 2016). Les deux premiers sont considérés comme commensaux : ils pénètrent par la cavité cloacale, se réfugient dans les arbres respiratoires, puis en sortent pour se nourrir, causant seulement des lésions mineures à leur hôte (Mezali, 1998 ; Parmentier et al., 2000 ; Eeckhaut et al., 2015). En revanche, *Encheliophis* adopte un mode de vie parasitaire plus agressif, provoquant des dégâts internes, notamment au niveau des gonades et des organes respiratoires (Arnold, 1953 ; Parmentier & Das, 2004 ; Parmentier & Michel, 2013).

En Méditerranée, *Carapus acus*, surnommé « poisson perle », est fréquemment retrouvé dans plusieurs espèces du genre *Holothuria*, avec une affinité marquée pour *Parastichopus regalis* (Mezali & Khodja, 2021). Ce type de relation, relativement rare entre invertébrés et vertébrés, souligne la sophistication des interactions hôte-symbiote chez les échinodermes (Mercier et al., 2024). Parallèlement, les holothuries abritent de nombreux ectocommensaux vivant à leur surface, tels que des polychètes, des plathelminthes, des crustacés (copépodes, crabes, crevettes) et des gastéropodes (Eeckhaut et al., 2004 ; Purcell et al., 2016). Ces espèces exploitent l'hôte comme refuge, lieu de ponte ou ressource alimentaire. Il a même été démontré que certains crabes reconnaissent leur hôte en détectant les saponines qu'il libère, agissant comme signaux chimiques (Caulier et al., 2013 ; Mercier et al., 2024).

Ces interactions symbiotiques incluent également un large éventail de parasites, aussi bien endobiotiques qu'ectobiotiques, affectant différents organes tels que le système digestif, le liquide coelomique, les arbres respiratoires, voire les gonades (Jangoux, 1990 ; Eeckhaut et al., 2004). Certains plathelminthes se nourrissent du contenu intestinal ou du liquide coelomique, tandis que le crabe *Pinnotheres halingi* est capable d'entraîner une atrophie des structures respiratoires chez *Holothuria scabra* (Hamel et al., 1999). Des cas d'infestation des ovocytes ont également été rapportés, comme la présence de kystes de coccidies (ordre Eucoccidiorida) dans les gonades d'*Apostichopus japonicus*, compromettant potentiellement le succès reproducteur de l'hôte (Unuma et al., 2020). Ces éléments montrent que les holothuries sont au cœur de réseaux biologiques complexes, entre interactions opportunistes et associations plus spécifiques.

2.6 Rôle écologique des holothuries

Les holothuries jouent un rôle écologique fondamental dans les écosystèmes marins, en particulier dans les communautés benthiques, où elles sont largement répandues dans tous les océans et mers du globe (Purcell et al., 2016). Leurs fonctions varient selon les espèces, mais elles incluent principalement :

l'amélioration de la qualité des sédiments par bioturbation,

le recyclage des nutriments,

la régulation de la chimie de l'eau,

et le renforcement de la biodiversité grâce à des interactions symbiotiques avec des organismes commensaux ou parasites.

En agissant comme intermédiaires trophiques entre les détritiques ou les microalgues benthiques et les niveaux trophiques supérieurs, elles participent au transfert d'énergie au sein des réseaux trophiques marins.

2.6.1. Maintien et amélioration de la qualité des sédiments

L'un des rôles écologiques majeurs des holothuries dépositivores est la bioturbation, c'est-à-dire le remaniement des couches superficielles du sédiment, influençant sa structure physique et chimique (Bakus, 1973 ; Massin, 1982 ; Purcell et al., 2016). Ce processus améliore la perméabilité, la teneur en eau et l'oxygénation des sédiments, créant ainsi un environnement favorable à la production primaire, à la diversité biologique et à la biomasse de l'endofaune (Lohrer et al., 2004 ; MacTavish et al., 2012).

Certaines espèces, comme les Holothuriida, évoluent à la surface du substrat, brassant les sédiments par leur locomotion et en rejetant des fèces après ingestion. D'autres s'enfouissent partiellement ou totalement, contribuant à mélanger les couches profondes et superficielles (Purcell et al., 2016). En filtrant les sédiments riches en matière organique, elles défèquent du sable généralement plus pauvre, ce qui contribue à la régénération du substrat et à la prévention de la prolifération d'algues indésirables (Amon & Herndl, 1991 ; Michio et al., 2003 ; Paltzat et al., 2008).

Les quantités de sédiments traités peuvent atteindre jusqu'à 82 kg par individu et par an (Bonham & Held, 1963 ; Francour, 1989). Ce processus permet aussi de prévenir les conditions anaérobies en limitant l'accumulation de matière organique (Nixon, 1995 ; Uthicke, 2001). Des études menées dans des zones aquacoles montrent que certaines espèces comme *Holothuria scabra* peuvent même réduire la charge organique des sédiments issus de la culture de crevettes, en éliminant les composés à fort potentiel de consommation d'oxygène (Kodama et al., 2015).

2.6.2 Recyclage des nutriments

En tant qu'éléments clés du recyclage benthique, les holothuries contribuent à la remise en circulation des nutriments, ce qui bénéficie à la productivité des récifs coralliens (Uthicke, 2001 ; Mangion et al., 2004). Lors de la digestion de composés azotés comme les protéines, elles transforment l'azote organique en azote inorganique, notamment sous forme d'ammonium, facilement assimilable par les producteurs primaires (Wolkenhauer et al., 2010 ; Purcell et al.,

2016). Elles relâchent aussi de faibles quantités de phosphate (Uthicke, 2001), ce qui augmente la disponibilité globale des nutriments dans les sédiments. Ainsi, les fèces des holothuries deviennent une source nutritive pour les bactéries et les microalgues, renforçant leur rôle central dans le cycle biogéochimique des écosystèmes benthiques (Mangion et al., 2004).

2.6.3 Influence sur la chimie de l'eau de mer

Les modifications observées dans la structure des communautés benthiques — notamment la réduction, mais non l'élimination complète, des meiofaunes et des producteurs primaires — ainsi que la production d'alcalinité totale (AT), via l'ingestion de sédiments riches en CaCO_3 dissous, et de carbone total (CT), par la respiration des holothuries, influencent de manière significative la dynamique du carbonate dans l'eau de mer, tant de jour que de nuit (Figure 9). Ces processus, illustrés chez *Stichopus herrmanni*, démontrent que la dissolution du CaCO_3 est réduite pendant la journée dans les mésocosmes constitués uniquement de sédiments, mais qu'elle augmente en présence d'holothuries en raison de la hausse de l'AT d'origine sédimentaire. Inversement, la nuit, la dissolution du CaCO_3 diminue lorsque *S. herrmanni* est présente et s'accroît dans les mésocosmes dépourvus de ces organismes en raison de l'acidification biogénique induite par le CO_2 respiratoire (Wolfe et al., 2018 ; Xiutang Yuan, 2024). Ce rôle fonctionnel met en évidence l'importance écologique jusque-là sous-estimée des holothuries tropicales dans le maintien de la résilience des écosystèmes face aux perturbations environnementales, un facteur essentiel à considérer dans la régulation durable de leurs populations.

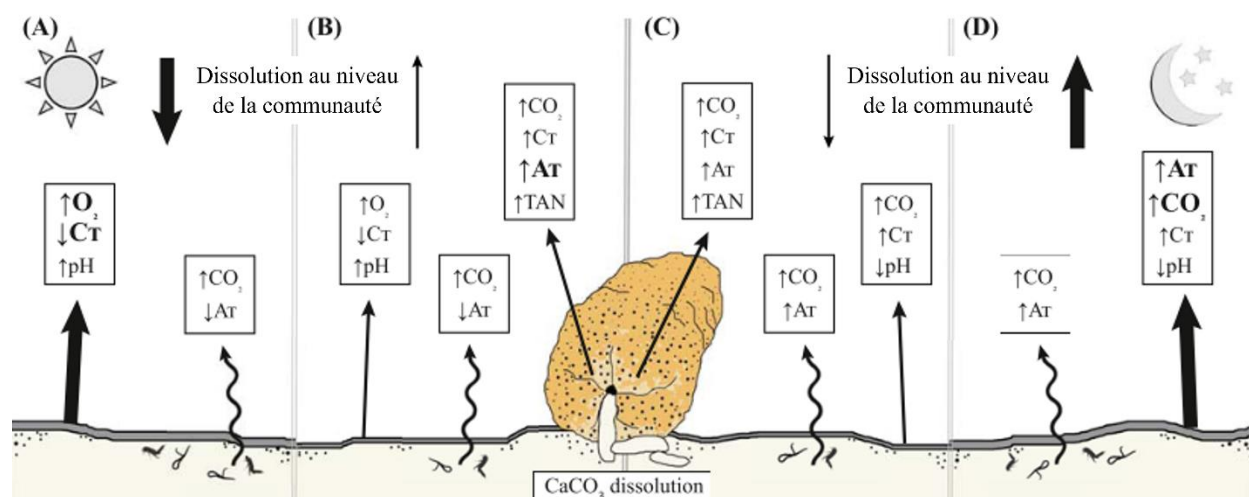


Figure 9: Influence de *Stichopus herrmanni* sur la dissolution du CaCO_3 dans la communauté benthique. A. La dissolution est réduite le jour dans les sédiments seuls, régulée par la photosynthèse, B. La dissolution est accrue le jour en présence de *S. herrmanni*, en raison de l'augmentation de l'alcalinité totale, C. La dissolution nocturne est réduite avec *S. herrmanni*, D. La dissolution est accrue la nuit sans holothuries, sous l'effet de l'acidification biogénique. (Wolfe et al. 2018).

Dans un contexte d'acidification croissante des océans provoquée par les émissions anthropiques de CO_2 (Kleypas et al., 1999), les holothuries pourraient exercer un effet tampon crucial. Plusieurs espèces appartenant à l'ordre des Holothuriida sont capables d'accroître l'alcalinité de l'eau de mer par leur métabolisme digestif, notamment en dissolvant le carbonate de calcium (CaCO_3) contenu dans les sédiments ou les débris qu'elles ingèrent (Schneider et al., 2011, 2013). Cette dissolution, couplée à la libération d'ammoniac, favorise la disponibilité des nutriments pour les coraux et les algues calcaires, renforçant ainsi leurs capacités de calcification (Hoegh-Guldberg et al., 2007 ; Purcell et al., 2016).

Chapitre I.2 : Valorisation des holothuries

Chapitre I.2 : valorisation des holothuries

1. Exploitation et valorisation des holothuries

1.1. Pêche et aquaculture des holothuries

La capture et l'élevage des holothuries occupent une place importante dans l'économie halieutique de nombreux pays, en particulier en Asie, où elles constituent depuis des siècles une ressource de grande valeur. En Chine, leur consommation remonte à la dynastie Ming (1368–1644) (Chen, 2003) et, au fil du temps, cette tradition s'est diffusée en Corée, au Japon, au Vietnam et à Singapour (Liao, 1997). Aujourd'hui, environ 66 espèces sont exploitées commercialement dans le monde (Purcell, 2010), principalement pour approvisionner le marché asiatique, moteur principal de la demande (Conand & Byrne, 1993 ; Sicuro & Levine, 2011).

Les pêcheries ciblent majoritairement des espèces de l'ordre Holothuriida (Conand, 2004), mais certaines espèces des ordres Molpadida (Chen, 2004) et Dendrochirotida (Hamel & Mercier, 2008) sont également consommées. Les méthodes de capture incluent la collecte manuelle, la pêche à la lance ou au crochet, la plongée en apnée ou avec bouteilles (Anderson et al., 2011). Bien que sélectives, ces techniques sont parfois remplacées par le dragage ou le chalutage, notamment lorsque les holothuries sont prises comme captures accessoires de la pêche à la crevette ou aux pétoncles (Conand, 2006 ; Aydın, 2017).

La répartition des pratiques de pêche varie selon les régions :

Zones tempérées : gestion encadrée et suivie scientifique (Canada, États-Unis, Japon).

Zones tropicales : pêche artisanale, souvent non réglementée mais essentielle pour les communautés locales.

La pression de pêche est aujourd'hui préoccupante : plus de 70 % des pêcheries mondiales sont pleinement exploitées ou surexploitées (Purcell et al., 2011), et plusieurs espèces de haute valeur commerciale sont inscrites sur la liste rouge de l'UICN (Conand et al., 2014). L'augmentation de la demande a poussé les marchés asiatiques à se tourner vers de nouvelles zones comme la Méditerranée et l'Atlantique Nord-Est (Italie, Espagne, Grèce, Turquie), ciblant des espèces telles

que *Holothuria poli*, *H. tubulosa*, *H. mammata*, *H. sanctori*, *H. forskali*, *Parastichopus regalis* et *H. arguinensis* (González-Wangüemert et al., 2014 ; Mezali & Thandar, 2014).

En Algérie, la pêche est autorisée depuis 2008 mais non commercialisable, les holothuries n'étant pas inscrites dans la réglementation sur les ressources marines vivantes (Mezali & Slimane-Tamacha, 2020). Depuis 2013, leur collecte cible principalement *H. poli*, *H. tubulosa*, *H. arguinensis* et *H. sanctori*, réalisée à la main ou en plongée, avec une forte pression dans les régions de Tipaza et Alger.

1.2. Aquaculture des holothuries

Face à la surexploitation des stocks naturels, l'aquaculture s'est imposée comme une alternative durable et une solution de restauration des populations. Les espèces les plus élevées sont *Apostichopus japonicus* (Japon, Chine, Corée) et *Holothuria scabra* (Asie du Sud-Est, Pacifique). L'élevage se pratique :

En bassins ou réservoirs contrôlés (culture intensive).

En mer dans des parcs en filet ou dans le cadre de la mariculture intégrée multi-trophique (IMTA), associant les holothuries à d'autres espèces comme les poissons ou les bivalves, afin de recycler les matières organiques (Purcell et al., 2024).

Outre la production pour la consommation, certaines fermes se consacrent au réensemencement de zones dégradées, en relâchant de jeunes individus pour renforcer les populations sauvages. Cette pratique, déjà mise en place en Chine, au Japon et dans certaines îles du Pacifique, est considérée comme une mesure clé pour la durabilité de la filière (The World of Sea Cucumbers, 2024).

1.3. Marchés, commercialisation et consommation

La consommation d'holothuries est profondément ancrée dans la culture culinaire de la Chine, notamment dans les zones côtières, ainsi que dans plusieurs autres pays d'Asie (Chen, 2003). Considérées initialement comme un aliment tonique (Chen, 2004), elles sont aujourd'hui utilisées à la fois en médecine traditionnelle et comme mets délicats (Conand, 1990 ; Liao, 1997 ; Pandian, 2018). La paroi du corps, partie comestible la plus recherchée, voit sa valeur influencée par son

épaisseur, sa texture et son goût, ce qui explique que les espèces majoritairement commercialisées appartiennent aux ordres Dendrochirotida et Holothuriida, connus pour leur paroi épaisse (Purcell et al., 2011 ; Purcell et al., 2012 ; Slater et Chen, 2015).

Cette paroi est commercialisée sous différentes formes : fraîche sur les marchés locaux, dont le principal débouché est Hong Kong, avec une redistribution vers les marchés de Chine continentale (Figure 10A) (Purcell, 2017) ; lyophilisée ou congelée pour l'exportation, permettant de préserver sa qualité (Figure 10B) (Akamine, 2024) ; séchée sous forme de "bêche-de-mer", un produit de luxe vendu dans les boutiques asiatiques aux côtés d'autres fruits de mer haut de gamme (Purcell, 2017 ; Figure 10C) ; crue et tranchée pour certaines préparations locales, comme en Indonésie où les intestins sont parfois retirés et commercialisés prêts à consommer (Figure 10D) (Hamel, 2020); ou encore farcie avec un mélange de thon, légumes et lait de coco avant cuisson, comme c'est le cas à Fidji (Figure 10E) (Gamboa, 2021). Ces différentes formes reflètent la diversité des usages culinaires et l'adaptabilité du produit aux préférences régionales et aux techniques de transformation.



Figure 10: Marchés, commercialisation et consommation des holothuries. A. Concombre de mer frais au marché des fruits de mer séchés, principal débouché Hong Kong, redistribution vers la Chine continentale (Purcell, 2017), B. Concombre de mer lyophilisé ou congelé pour l'exportation (Akamine, 2024), C. "bêche-de-mer" séchée, produit de luxe vendu dans les boutiques asiatiques (Purcell, 2017), D. Concombre de mer cru, tranché ou haché pour certaines préparations locales (Hamel, 2020), E. Concombre de mer farci avec thon, légumes et lait de coco, prêt à cuire (Gamboa, 2021).

Le marché mondial des concombres de mer est estimé à 1,38 milliard USD en 2024 et devrait atteindre 2,19 milliards USD d'ici 2033, avec un taux de croissance annuel moyen de 5,29 %. Les prix varient largement selon la qualité, l'espèce et le mode de traitement. Ainsi, en Chine, le concombre de mer congelé se vend autour de 12,53 USD/kg, tandis qu'en Corée du Sud, le prix atteint environ 22,31 USD/kg. En Espagne, certaines espèces comme *Holothuria arguinensis* peuvent se négocier jusqu'à 250 € le kilogramme (Conand, 1990 ; Sloan, 1984).

la paroi du corps, divers produits dérivés sont également commercialisés : « Konowata », intestins salés vendus environ 60 USD/kg (Conand, 2006a ; Robinson et Lovatelli, 2015) ;

« Konoko » et « Hoshiko », gonades femelles fraîches ou séchées, atteignant 200 USD/kg (Conand, 2006 ; Robinson et Lovatelli, 2015) ; « Espardenya » ou « Ilongo », bandes musculaires internes de *Parastichopus regalis* en Espagne, vendues 130 EUR/kg (Ramón et al., 2010) ; et l'huile de gamat en Malaisie (Baine et Choo, 1999). En Algérie, les holothuries sont commercialisées fraîches ou transformées en "bêche-de-mer", à des prix variant selon la wilaya, la demande, la taille et la destination des produits : 200–700 DZD/kg pour le produit frais et 4 800–12 000 DZD/kg pour le séché (Mezali et Slimane-Tamacha, 2020).

2. Valorisation et transformation des concombres de mer

À l'échelle internationale, les concombres de mer transformés sont reconnus comme produits de luxe prisés, notamment en Asie (Purcell et al., 2014 ; Hamel et al., 2024). En dehors de la Chine, de Hong Kong et de Singapour, les habitudes de consommation restent peu documentées. Depuis la dernière décennie, le commerce a intégré des produits à forte valeur ajoutée tels que plats prêts à consommer, emballages haut de gamme et nutraceutiques, contribuant à stimuler la demande locale, à maximiser les bénéfices et à maintenir certaines traditions (Akamine, 2013, 2015).

La transformation des holothuries en "bêche-de-mer" est un processus artisanal comprenant plusieurs étapes — éviscération, salage, cuisson et séchage — adaptées à la texture des différentes espèces (Lavitra et al., 2008 ; Aprianto et al., 2019). Dans les zones pacifiques, deux procédés principaux sont décrits (Figure 11) (Purcell, 2017)

Méthode 1 : les holothuries entières sont d'abord cuites à feu moyen (60–80 °C), puis refroidies, éviscérées, nettoyées et salées pendant 2 à 5 jours.

Méthode 2 : l'éviscération et le nettoyage précèdent la cuisson à feu vif (80–100 °C), suivie du même salage.

Pour les deux méthodes, le traitement se termine par des cycles de fumage, de cuisson secondaire et de séchage final (3–10 jours) jusqu'à obtention d'un produit sec et stable. Certaines pratiques locales incluent des étapes supplémentaires, comme le grattage ou l'usage de feuilles de papaye pour éliminer les sclérites (Lavitra et al., 2008).

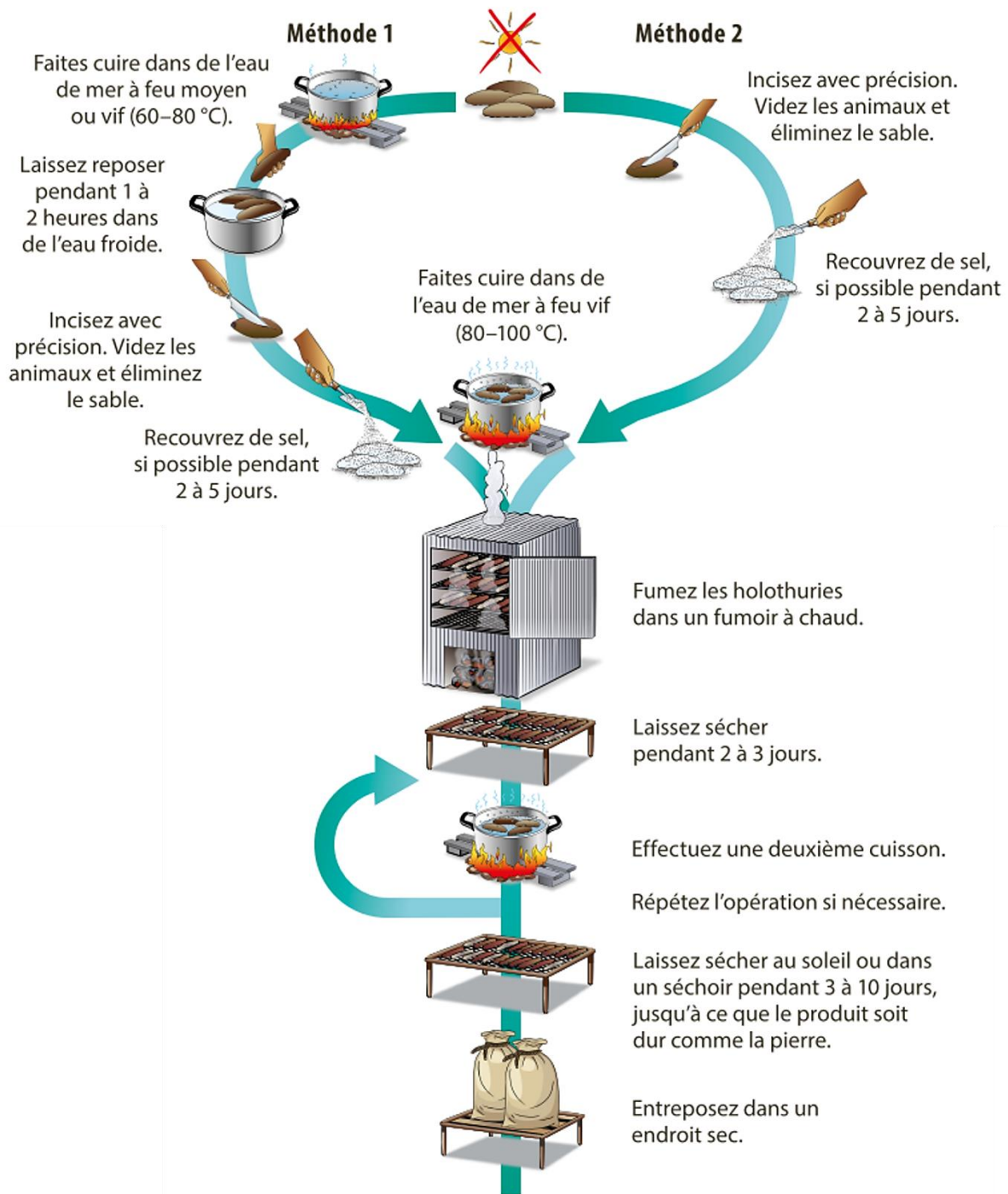


Figure 11: Transformation du concombre de mer en "bêche-de-mer" selon deux méthodes de préparation (Purcel 2017).

2.1. Diversité des préparations culinaires à base de concombres de mer

La consommation culinaire des holothuries se décline en plusieurs types de plats, chacun reflétant des traditions régionales et des techniques spécifiques de préparation, souvent associées à des plats de luxe ou de célébration. Parmi ceux-ci :

2.1.1. Soupes et bouillons

Les soupes à base de concombre de mer constituent un élément important de la consommation culinaire traditionnelle en Asie, combinant qualités nutritionnelles et propriétés culinaires particulières. Elles peuvent être légères ou épaisses et sont souvent enrichies de fruits de mer, de champignons ou de légumes, ce qui leur confère à la fois une valeur nutritive et une fonction réconfortante pour le consommateur (Yao, 1994 ; Dai, 2003). Ces préparations sont employées tant dans le cadre des repas familiaux que lors de banquets ou d'événements festifs. À titre d'exemples illustratifs, certaines Figure présentent différentes variantes de soupes et de porridges à base de concombre de mer : Shepherd's purse sea cucumber soup (Figure 12A), soupes régionales assorties de Tianjin (Figure 12B), stewed sea cucumber with pumpkin porridge (Figure 12C), ainsi que des boissons traditionnelles telles vin de riz gluant au concombre de mer (Figure 2D) (Xia et al., 2024).

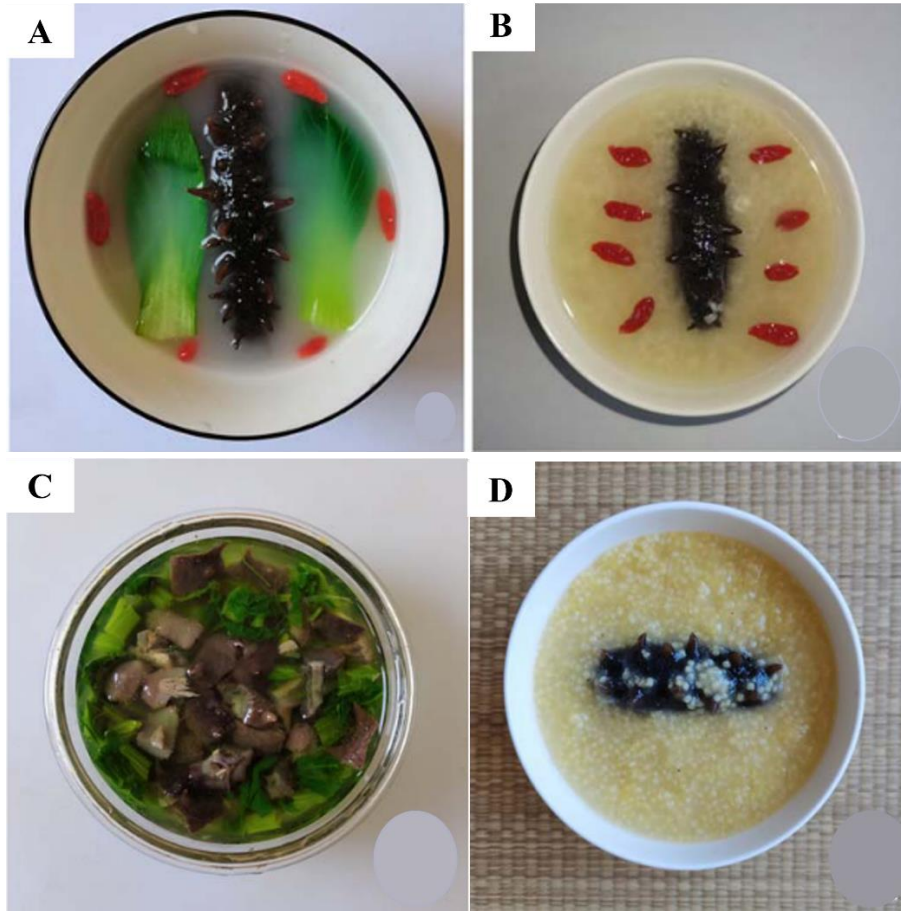


Figure 12: Les soupes à base de concombres de mer. A. soupe assortie servie à Tianjin, B. la shepherd's purse sea cucumber soup, C. un porridge de concombre de mer au potiron, D. une boisson traditionnelle à base de vin de riz gluant et concombre de mer. Photographies de Man Li (Xia et al., 2024).

2.1.2. Plats sautés / wok :

Ces préparations rapides associent le concombre de mer à des légumes, viandes ou fruits de mer, cuits à feu vif afin de conserver leur texture tendre et leur goût délicat. Parmi les variantes populaires figurent le sauté à l'ail et au gingembre ou le wok aux crevettes (Nie, 2001). Des exemples détaillés de ces techniques de cuisson incluent le « bat curry » et le « bat noodles », où les holothuries séchées sont réhydratées, nettoyées, bouillies, puis sautées avec des ingrédients tels que poulet, épices et nouilles, créant des plats savoureux et nutritifs adaptés aux repas familiaux ou festifs (Figure 13 A-I) (Halun, 2024) .



Figure 13: les étapes de préparation du curry et des nouilles à base de *Holothuria scabra*: réhydratation (A-B), nettoyage de la paroi interne (C), cuisson des morceaux réhydratés (D), découpe (E), sauté avec des tranches de poulet (F), assemblage des ingrédients du curry (G), plat prêt à servir (H) et ajout des nouilles au mélange sauté (I). (Halun 2024).

2.1.3. Salades froides et entrées

Les préparations froides valorisent la fraîcheur, la tendreté et la texture unique du concombre de mer, souvent combiné avec des légumes croquants, des fruits ou des vinaigrettes légères. Ces plats sont particulièrement appréciés pendant les périodes chaudes et servent de compléments nutritifs dans les repas familiaux ou festifs (Dai, 2003 ; Gamboa, 2024). Dans certaines traditions, comme aux Philippines, le concombre de mer frais est transformé à domicile en préparations telles que le taddik kinilaw : après la récolte, la peau et les ossicules

sont soigneusement grattés, une incision longitudinale est pratiquée pour retirer les viscères, puis la chair est rincée, découpée en morceaux et trempée dans un mélange de sel et de vinaigre. Les ingrédients supplémentaires « gingembre, oignon, ail, kalamansi, tomates, piment et mangue verte » sont ajoutés avant de mélanger et servir le plat prêt à consommer (Figure 14A-F) (Gamboa, 2024). Ce type de préparation illustre l'importance des méthodes artisanales pour préserver la valeur gustative et nutritive du concombre de mer dans les plats froids et les entrées.



Figure 14: Préparation traditionnelle au Philippines de taddik kinilaw à base de *Bohadschia marmorata*. A, retrait des entrailles, B. tranches pour marinade, C. ingrédients ajoutés, D. Fins cubes de *S. horrens* et *H. impatiens* prêts à être tranchés, E. Les ingrédients, F. Kinilaw prêt à servir, préparé à partir d'un mélange d'espèces de *Holothuria* et *Stichopus*. (Halun Gamboa, 2024).

2.1.4. Présentation gastronomique / plats de banquet

Avec le développement des transports et l'amélioration des infrastructures, la consommation de concombre de mer en Chine n'est plus limitée aux zones côtières et s'étend désormais à l'ensemble du territoire. La consommation de produits dérivés du concombre de mer s'est diversifiée et intégrée dans l'alimentation quotidienne des familles chinoises, incluant notamment les nouilles bouillies au concombre de mer, le vin de riz gluant enrichi en concombre de mer, les œufs vapeur au concombre de mer, ainsi que les raviolis à base de concombre de mer. (Figure 15 A-D). D'autres préparations populaires comprennent la gelée de concombre de mer (donkey-hide gelatin), le concombre de mer braisé au sucre cristallisé, les boulettes de concombre de mer et le gâteau au concombre de mer. Ces plats mettent en valeur les propriétés nutritionnelles des holothuries, riches en collagène, saponines et glycosaminoglycanes (Xia et al., 2024).



Figure 15: Les étapes de préparation des raviolis à base de concombre de mer. A, matières premières, B. ingrédients préparés, C. raviolis non cuits, D. raviolis cuits. (Xia et al., 2024).

2.2. Valeur nutritionnelle, nutraceutique et cosmétique

Les holothuries représentent une ressource marine d'intérêt majeur en raison de leurs propriétés nutritionnelles, nutraceutiques et pharmacologiques. Leur usage remonte à l'Antiquité, où elles étaient reconnues pour leurs vertus médicinales et leur capacité de régénération rapide. Dans la médecine traditionnelle chinoise, elles sont consommées en tant que toniques revitalisants, comparables au ginseng, ce qui leur a valu l'appellation de « ginseng de la mer » (Bruckner et al., 2003 ; Chen, 2003).

Sur le plan biochimique, les holothuries se distinguent par une composition riche en macronutriments et micronutriments essentiels, comprenant notamment des protéines de haute

valeur biologique, des vitamines (A, B₁, B₂, B₆) et des minéraux tels que le calcium, le magnésium, le fer et le zinc (Chen, 2003 ; Çakli et al., 2004). Leur profil en acides aminés, dominé par la glutamine, l'asparagine, l'alanine et l'arginine, confère à ces organismes un rôle physiologique important dans la régulation immunitaire et la reconstruction cellulaire (Wen et al., 2010 ; Khotimchenko, 2015). La faible valeur du rapport lysine/arginine de leurs protéines contribue à un effet hypocholestérolémiant, favorable à la prévention des désordres lipidiques (Sugano et al., 1984 ; Rajamohan & Kurup, 1997 ; Wen et al., 2010).

Les lipides des holothuries présentent une proportion variable d'acides gras saturés, monoinsaturés et polyinsaturés selon les espèces. La présence d'acides gras oméga-3 tels que l'acide eicosapentaénoïque (EPA, C20:5) et l'acide docosahexaénoïque (DHA, C22:6) est associée à des effets cardioprotecteurs et anti-inflammatoires, renforçant l'intérêt nutritionnel et thérapeutique de ces organismes (Fredalina et al., 1999 ; Ridzwan, 2007 ; Mecheta et al., 2020). Par ailleurs, les mucopolysaccharides tels que le sulfate de chondroïtine présentent des propriétés anti-inflammatoires et analgésiques, utiles dans le traitement de pathologies articulaires comme la polyarthrite rhumatoïde, l'arthrose ou la spondylarthrite ankylosante (Chen, 2004 ; Zhong et al., 2007).

Au cours des dernières décennies, le concept d'aliment fonctionnel a favorisé la valorisation des organismes marins comme sources de molécules bioactives à potentiel nutraceutique (Hu, 2005 ; Shahidi, 2009 ; Guérard, 2010). Dans ce contexte, les holothuries constituent un modèle prometteur en raison de la diversité de leurs composés bioactifs, parmi lesquels les glycosides triterpéniques (saponines), les glycosaminoglycanes, les polysaccharides sulfatés, les stérols, les composés phénoliques, les peptides et les fucoïdanes (Van Dyck et al., 2010 ; Caulier et al., 2011 ; Caulier-Mezali et al., 2016 ; Wulandari et al., 2021 ; Ru et al., 2022). Ces composés bioactifs et leurs effets bénéfiques sur la santé sont présentés dans la (Figure 16), qui met en évidence les principales activités biologiques associées aux holothuries (Hossain et al., 2020). Ils confèrent à ces organismes une remarquable valeur thérapeutique grâce à leurs propriétés antioxydantes, antitumorales, anticoagulantes, antiangiogéniques et antimicrobiennes, déjà rapportées par plusieurs auteurs (Hawa et al., 1999 ; Ridzwan et al., 2003 ; Althunibat et al., 2009 ; Zhang et al., 2010).

Une proportion considérable des protéines du tégument, estimée à environ 70 %, est constituée de collagène, composant majeur du tissu conjonctif (Saito et al., 2002 ; Rafiuddin Ahmed et al., 2004). Ce biopolymère peut être converti en gélatine par hydrolyse thermique et utilisé comme agent fonctionnel bioactif dans les industries alimentaire, pharmaceutique et cosmétique (Zhao et al., 2007). En raison des risques sanitaires et des restrictions religieuses associés au collagène d'origine terrestre, le collagène marin extrait des holothuries représente une alternative durable, sûre et éthique (Siahaan et al., 2017).

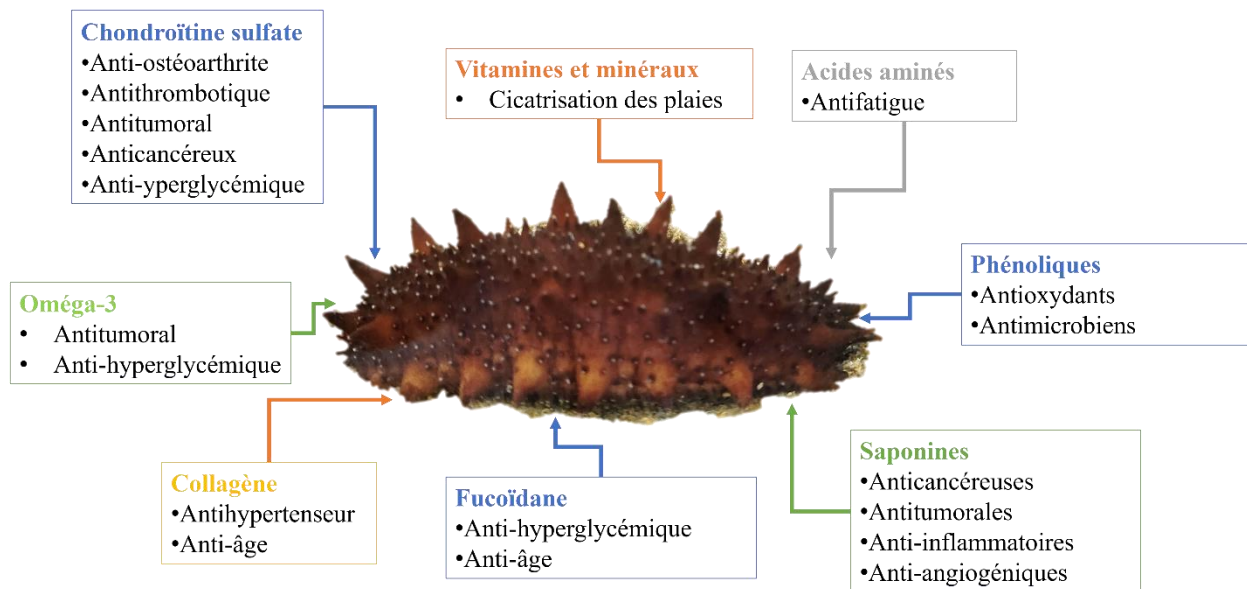


Figure 16: Exemples de composés bioactifs identifiés chez les concombres de mer et de leurs effets bénéfiques sur la santé, modifiée par l'auteure d'après Hossain et al. (2020), sous licence CC BY 4.0.

2.3. Production aquacole et gestion durable des stocks naturels

La valeur commerciale des holothuries connaît une croissance continue, et la pression accrue sur les populations sauvages a conduit à un risque élevé de surexploitation. Dans ce contexte, l'élevage de ces espèces représente une stratégie permettant d'augmenter l'offre sur le marché tout en réduisant la pression sur les stocks naturels (Chatzivasilieiou et al., 2019; Sykes & Marrs, 2024). L'aquaculture de concombres de mer a débuté en Chine dans les années 1980 dans le but de fournir

le marché asiatique en "bêche-de-mer", de compenser le déclin des populations sauvages et de favoriser le repeuplement des zones surpêchées (Chen, 2004 ; Felaco et al., 2024).

Actuellement, l'aquaculture commerciale et expérimentale se concentre surtout sur des espèces intertidales et subtidales de grande valeur, telles que l'espèce tempérée *Apostichopus japonicus* et l'espèce tropicale *Holothuria scabra*, en raison de leur accessibilité et de leur rentabilité (Slater et Chen, 2015; Sykes & Marrs, 2024). Traditionnellement, ces organismes ont été élevés dans des étangs en terre, des systèmes d'élevage en mer ou en polyculture avec d'autres espèces (Domínguez-Godino & González-Wangüemert, 2019).

L'aquaculture multi-trophique intégrée (AMTI) constitue une approche écosystémique respectueuse de l'environnement, surtout dans les zones tempérées (Troell et al., 2003 ; Bonneel et al., 2024). Elle repose sur le principe que les déchets organiques issus d'une espèce, tels que les aliments non consommés, les excréments ou les produits métaboliques, peuvent être valorisés comme intrants pour la croissance d'autres espèces, créant ainsi un cycle naturel d'auto-nettoyage (Chopin et al., 2001 ; Jena et al., 2017).

L'intégration des holothuries dans les systèmes AMTI a été testée à travers le monde, leur valeur économique élevée et leur capacité à consommer les sédiments, détritus et matières organiques issues de l'élevage de poissons et crustacés en faisant des organismes clés pour la réduction des déchets benthiques (Tolon et al., 2017; Slater & Chen, 2015 ; Chatzivasileiou et al., 2019). Plusieurs études ont confirmé leur compatibilité avec ce type de systèmes et ont démontré leur rôle essentiel dans la bio-conversion des déchets organiques (Cranford et al., 2013 ; Capinpin Jr et al., 2020; Bayoğullari & Tolon, 2021).

Enfin, les holothuries peuvent être élevées conjointement avec diverses espèces telles que les ormeaux, algues, oursins, crevettes et bivalves, tout en présentant un taux de survie élevé et une croissance optimale, consolidant ainsi leur rôle comme élément indispensable des systèmes AMTI (Mills et al., 2014 ; Capinpin Jr et al., 2020 ; Bayoğullari & Tolon, 2021; Felaco et al., 2024).

Chapitre 1.3. Le collagène marin, structure, types et applications

Chapitre 1.3. Le collagène marin, structure, types et applications

Généralités

Le collagène marin est une protéine structurale majeure présente dans les tissus conjonctifs des organismes marins, représentant généralement entre 3 et 20 % des protéines totales, bien que cette proportion varie considérablement selon les espèces. Chez les poissons pélagiques, les protéines myofibrillaires dominent, constituant plus de 50 % des protéines totales, tandis que les protéines stromales, dont le collagène, représentent environ 10 % (Shahidi, 1994 ; Kristinsson et Rasco, 2000; Ninan, 2003 ; Xiong, 2004). Chez les mollusques, la teneur en collagène est plus élevée, atteignant 11 à 15 % (Kolodziejska et al., 1987). Par exemple, chez le calmar, la structure spiralée des protéines myofibrillaires paramyosine et actine, qui représente 51 à 58 % des protéines totales, est soutenue par le collagène (11 %), formant plusieurs couches qui constituent la majorité des protéines du manteau (Thanonkaew et al., 2006). Des structures similaires sont observées chez la poulpe et la seiche, mais lorsque le manteau change de couleur, la proportion de protéines sarcoplasmiques augmente, représentant plus de 30 % (Kristinsson et Rasco, 2000 ; Benjakul et Sutthipan, 2009 ; Belitz et al., 2009). Chez les crustacés, en raison de leur locomotion assistée par la chitine, les protéines musculaires et de soutien sont moins abondantes, tandis que les protéines sarcoplasmiques sont proportionnellement plus présentes (Watabe et al., 1986 ; Benjakul et Sutthipan, 2009). Les ratios de protéines varient également selon les organes : chez certaines espèces de crabes, les protéines sarcoplasmiques sont trois fois plus abondantes que les protéines myofibrillaires, représentant jusqu'à 78 % dans les muscles et 44 % chez les balanes (Benjakul et Sutthipan, 2009). Chez la moule *Paphia undulata*, la distribution protéique comprend 45 % de protéines myofibrillaires, 31 % de protéines sarcoplasmiques et 20 % de protéines stromales (He et al., 2013).

Chez les échinodermes, la répartition des protéines est encore plus variable. Chez les oursins et les étoiles de mer, les protéines myofibrillaires et stromales sont présentes en faibles quantités, tandis que les protéines glycosylées et minéralisées se trouvent dans la carapace et les structures squelettiques, et les protéines sarcoplasmiques sont abondantes dans les gonades, qui peuvent représenter jusqu'à 10 % du poids corporel (Ameys et al., 2001 ; Brooks et Wessel, 2002). Les

concombres de mer se distinguent particulièrement par leur teneur élevée en collagène : environ 70 % des protéines des parois corporelles sont constituées de collagène, les 30 % restants comprenant des protéines myofibrillaires telles que la paramyosine, la myosine, l'actine et certaines protéines sarcoplasmiques (Mourão et al., 1996 ; Saito et al., 2002 ; Wu et al., 2013).

Le collagène marin se caractérise par sa structure en triple hélice, conférant résistance et flexibilité, et les types de collagène les plus courants dans les organismes marins sont les types I, II et III, le type I étant le plus abondant (Sionkowska et al., 2020 ; Çaklı Şen et al., 2023). En raison de ses propriétés mécaniques et de sa biocompatibilité, le collagène marin présente de nombreuses applications dans les domaines biomédical, cosmétique et alimentaire, notamment pour la régénération tissulaire, la cicatrisation, l'amélioration de l'élasticité cutanée et comme source de protéines fonctionnelles dans l'alimentation (Rodríguez-Domínguez et al., 2018 ; Sionkowska et al., 2020 ; Çaklı Şen et al., 2023 ;).

Des études récentes ont exploré l'extraction et la caractérisation du collagène et de la gélatine à partir de concombres de mer tels que *Stichopus horrens* et *Holothuria arenicola*. Ces recherches ont permis de déterminer la composition en acides aminés du collagène et les propriétés rhéologiques de la gélatine dérivée, suggérant leur potentiel en tant que sources alternatives de collagène pour des applications industrielles (Saito et al., 2002 ; Barzkar et al., 2024).

1. Extraction et purification du collagène

1.1. Hydrolyse et extraction des protéines

1.1.1. Hydrolyse des protéines

L'hydrolyse des protéines correspond au processus de rupture des liaisons peptidiques reliant les acides aminés dans une protéine, par incorporation de molécules d'eau (Figure 17). Ce procédé peut être réalisé selon deux approches principales : chimique et biochimique (enzymatique).

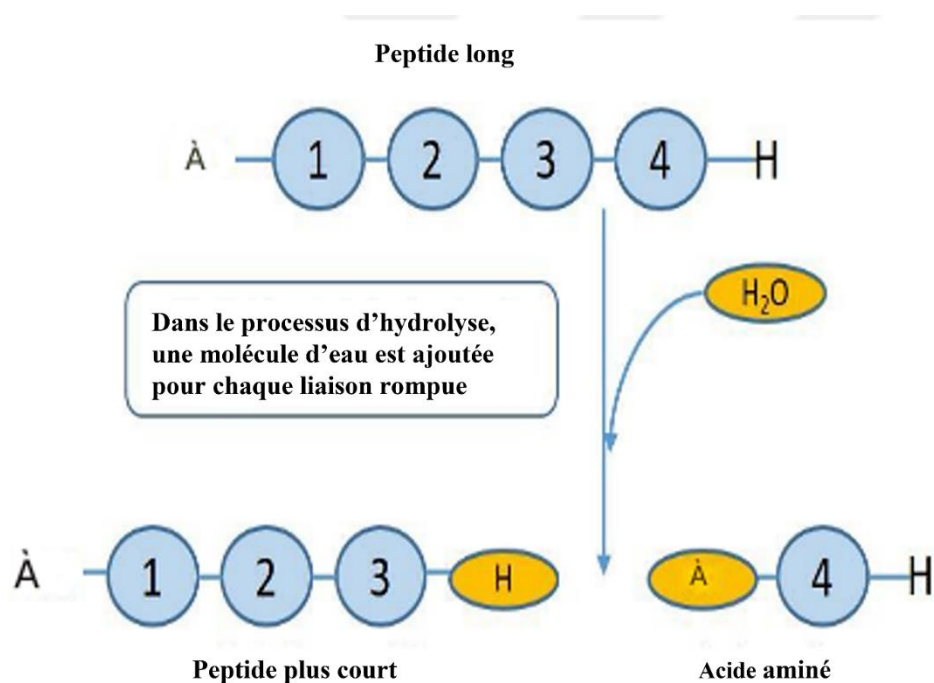


Figure 17: Schéma du processus d'hydrolyse des protéines par rupture des liaisons peptidiques (Campbell et Reece, 2002).

L'hydrolyse chimique peut se faire par voie acide ou alcaline. L'hydrolyse acide implique l'utilisation de solutions acides concentrées, traditionnellement de l'acide chlorhydrique (HCl) ou de l'acide sulfurique (H₂SO₄), mais d'autres acides comme l'acide propionique (C₃H₆O₂) ou l'acide acétique (CH₃COOH) peuvent également être employés. Les protocoles classiques consistent à traiter les protéines avec 6 M HCl pendant 20 à 24 heures (Hirs et al., 1954 ; Blackburn, 1978). Cette méthode est surtout utilisée en laboratoire pour déterminer les séquences d'acides aminés ou pour recycler les déchets protéiques comme engrais (Kristinsson et Rasco, 2000). Toutefois, l'hydrolyse acide est rarement appliquée dans l'industrie agroalimentaire en raison de la destruction partielle ou totale de certains acides aminés essentiels et de la mauvaise qualité sensorielle des hydrolysats. Par exemple, le tryptophane est entièrement détruit, la tyrosine partiellement, et la cystéine et la sérine subissent des pertes significatives, estimées globalement entre 5 et 10 % (Ozols, 1990).

L'hydrolyse alcaline, quant à elle, utilise des solutions basiques concentrées telles que l'hydroxyde de sodium (NaOH), l'hydroxyde de potassium (KOH) ou, plus rarement, l'hydroxyde de baryum

(Ba(OH)₂) (Blackburn, 1983 ; Fountoulakis et Lahm, 1998). Cette méthode est particulièrement adaptée aux substrats protéiques riches en glucides ou contenant des monosaccharides. Elle est utilisée pour purifier les protéines et éliminer les impuretés telles que les lipides ou glucides et est parfois employée dans l'étude des acides nucléiques (McIntyre et Stark, 1988 ; Kim et Lidstrom, 1989). Cependant, bien que le tryptophane soit moins détruit que dans l'hydrolyse acide, la récupération reste faible (~10 %). De plus, cette hydrolyse entraîne une absence totale de sérine, thréonine, arginine et cystéine, ainsi que la formation de résidus atypiques tels que la lysinoalanine et la lanthionine, limitant ainsi son usage industriel (Provansal et al., 1975 ; Fountoulakis et Lahm, 1998).

1.1.2. Hydrolyse enzymatique

L'hydrolyse enzymatique constitue une approche biochimique privilégiée, utilisant des protéases spécifiques pour générer des peptides et des acides aminés avec une composition proche de celle de la protéine d'origine. Ce procédé présente plusieurs avantages par rapport aux méthodes acide et alcaline : absence de résidus indésirables post-hydrolyse et préservation des propriétés fonctionnelles et nutritionnelles des protéines (Kristinsson et Rasco, 2000).

Pour optimiser le rendement enzymatique, il est essentiel de maintenir des conditions précises de pH, température et ratio substrat/enzyme. La composition en acides aminés des hydrolysats enzymatiques reste comparable à celle du substrat initial, garantissant ainsi une haute qualité nutritive (Clemente et al., 1999). Les hydrolysats enzymatiques présentent également une solubilité accrue, une meilleure stabilité thermique et une résistance à la précipitation, ce qui les rend particulièrement adaptés à des applications industrielles variées (Fox et al., 1982).

1.1.3. Collagène et hydrolysats

Les produits protéiques majeurs dérivés des ressources marines sont le collagène et la gélatine, deux macromolécules d'un intérêt particulier pour les industries biomédicale, pharmaceutique et alimentaire.

Le collagène, classé parmi les protéines fibrillaires structurales, constitue l'élément essentiel du tissu conjonctif, assurant la résistance mécanique et l'élasticité de la peau, des os, des tendons, des

Chapitre 1.3. Le collagène marin, structure, types et applications

muscles, des articulations, des ongles et des cheveux. Il représente environ 30 % des protéines totales chez les vertébrés (Lullo et al., 2002) et plus de 50 % chez certains invertébrés, notamment les concombres de mer (Saito et al., 2002). À ce jour, vingt-sept types de collagène ont été identifiés ; le type I demeure prédominant chez les vertébrés (Lullo et al., 2002), tandis que les types I et II sont les plus fréquents chez les invertébrés (Saito et al., 2002 ; Schrieber et Gareis, 2007).

Les principales catégories de collagène, ainsi que leurs caractéristiques structurales, sont résumées dans le Tableau 1 – Classification du collagène (Schrieber et Gareis, 2007).

Tableau 1. Classification du collagène (Schrieber et Gareis, 2007)

Type	Description
Type I	Ce type se trouve généralement dans les tissus conjonctifs tels que la peau, les os et les tendons.
Type II	Ce type est pratiquement présent uniquement dans le tissu cartilagineux.
Type III	Ce type est présent dans la peau des jeunes individus jusqu'à 50 %, mais peut diminuer avec l'âge jusqu'à environ 5 à 10 %.
Autres types	D'autres types de collagènes existent en très faibles quantités et sont généralement spécifiques à certains organes ou tissus.

Sur le plan structural, la molécule de collagène est formée de trois chaînes α enroulées en triple hélice, orientées dans le sens antihoraire et stabilisées par des liaisons hydrogène intramoléculaires (TE Nijenhuis, 1997). Cette configuration est essentielle pour la stabilité du collagène, car chaque chaîne contribue à former un réseau qui est fondamental pour la résistance de la molécule (Richard et al., 2005). Cette organisation confère au collagène une stabilité élevée, avec un poids moléculaire d'environ 100 kDa et une longueur moyenne de 300 nm (Papanicolaou et al., 2009). La rupture de ces liaisons hydrogène provoque la dénaturation du collagène, entraînant la désorganisation de la triple hélice et la perte de ses propriétés mécaniques (Pérez et al., 2018).

La gélatine, issue de la dénaturation partielle du collagène, est la forme la plus connue de protéine collagénique transformée. Elle n'existe pas naturellement, mais est obtenue par traitement acide

ou alcalin de la peau, des os ou des tissus conjonctifs, provoquant la rupture partielle des liaisons croisées sans nécessiter l'isolement préalable du collagène (Schrieber et Gareis, 2007). Les gélatines industrielles se composent d'un mélange de chaînes α , β et γ , correspondant respectivement à une, deux ou trois chaînes α liées de manière covalente. Ce processus de dénaturation aboutit à la perte de la structure hélicoïdale initiale (Papon et al., 2007).

Par ailleurs, le collagène et ses dérivés hydrolysés suscitent un intérêt croissant en raison de leurs propriétés bioactives. L'hydrolyse enzymatique du collagène conduit à la formation d'hydrolysats de collagène, dont les propriétés biologiques et fonctionnelles sont nettement améliorées. Ces hydrolysats présentent des activités antioxydantes et antimicrobiennes notables, ouvrant la voie à de nombreuses applications dans les domaines de la santé et de la nutrition (Vidal et al., 2022).

1.2. Propriétés fonctionnelles et bioactives des protéines

1.2.1. Caractéristiques fonctionnelles

Les propriétés fonctionnelles des protéines correspondent à l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques qui déterminent leur comportement dans les systèmes alimentaires au cours des différentes étapes de transformation, de stockage, de préparation et de consommation. Elles jouent un rôle déterminant dans la qualité sensorielle, la texture et la stabilité des produits finis, tout en conditionnant leur aptitude à être utilisées dans divers procédés technologiques de l'industrie agroalimentaire tels que la cuisson, la découpe, le tranchage ou le conditionnement (Kindsella, 1979 ; Gildberg, 1993).

Les protéines présentent une large gamme de propriétés fonctionnelles qui découlent principalement de leur structure moléculaire et de leurs interactions avec l'eau, les lipides et les autres constituants des matrices alimentaires. Ces propriétés peuvent être regroupées en trois grandes catégories : celles liées à l'hydratation, à la gélification et aux caractéristiques de surface. Les propriétés d'hydratation concernent la capacité de gonflement et la solubilité, influençant la rétention d'eau et la texture des produits. Les propriétés gélifiantes, quant à elles, impliquent la formation de gels, l'épaississement, la texturation et la rétention d'eau, jouant un rôle majeur dans la consistance et la stabilité des aliments. Enfin, les propriétés de surface englobent les phénomènes d'émulsification, de moussabilité, de stabilisation, ainsi que les capacités d'adhésion,

de liaison et de formation de film, qui contribuent à la cohésion et à la structure des matrices protéiques (Schrieber et Gareis, 2007).

1.2.2. Propriétés bioactives

1.2.2.1. Activité antioxydante

L'oxydation est un processus au cours duquel une molécule ou un atome perd des électrons, entraînant la formation d'espèces chimiquement réactives appelées radicaux libres. Ces radicaux proviennent principalement de l'oxygène, de l'azote et du soufre présents dans les systèmes biologiques, et sont classés respectivement en espèces réactives de l'oxygène (ERO ou ROS), de l'azote (RNS) et du soufre (RSS) (Lü et al., 2010). Parmi elles, les espèces réactives de l'oxygène constituent le groupe le plus important ; elles comprennent notamment l'anion superoxyde ($O_2^{\bullet-}$), le radical perhydroxyle ($HO_2^{\bullet}$), le radical hydroxyle ($^{\bullet}OH$), le monoxyde d'azote ($NO^{\bullet}$) et le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Ces composés sont générés au cours du métabolisme cellulaire normal et participent à divers processus physiologiques tels que la signalisation intracellulaire, l'apoptose, l'expression génique et le transport ionique (Vajragupta et al., 2004).

Cependant, leur accumulation excessive provoque des dommages oxydatifs sur les macromolécules biologiques, notamment les protéines, les lipides, l'ARN et l'ADN, conduisant à un déséquilibre connu sous le nom de stress oxydatif (Lü et al., 2010). Ce phénomène est impliqué dans de nombreuses pathologies chroniques, telles que le cancer, le diabète, les maladies neurodégénératives et les inflammations tissulaires (Yang et al., 2001 ; Butterfield et al., 2002). En conditions physiologiques, les cellules disposent de systèmes enzymatiques de défense capables de neutraliser ces radicaux libres. Toutefois, lorsque ces mécanismes deviennent insuffisants en raison du vieillissement ou de facteurs environnementaux, un apport exogène en composés antioxydants devient nécessaire pour rétablir l'équilibre oxydant/antioxydant (Lü et al., 2010).

Dans l'industrie agroalimentaire, l'oxydation constitue également un facteur majeur de dégradation, affectant la qualité, la stabilité et la durée de conservation des produits riches en lipides. Pour limiter ces altérations, des antioxydants synthétiques tels que le butylhydroxytoluène (BHT), le butylhydroxyanisole (BHA), la tert-butylhydroquinone (TBHQ) et le gallate de propyle (PG) sont largement utilisés (Harnedy et FitzGerald, 2012). Cependant, leur usage prolongé a été

Chapitre 1.3. Le collagène marin, structure, types et applications

associé à des effets néfastes sur la santé (Hettiarachchy et al., 1996 ; Park et al., 2001), ce qui a suscité un intérêt croissant pour les antioxydants d'origine naturelle.

Les recherches récentes ont identifié plusieurs composés bioactifs d'origine végétale, tels que les phénols, les flavonoïdes et les caroténoïdes, ainsi que des peptides et hydrolysats protéiques d'origine animale, présentant une activité antioxydante significative. Dans le domaine marin, diverses espèces telles que le calmar, la moule bleue, l'huître, le thon, le merlan, l'anguille et plusieurs microalgues ont révélé la présence de peptides capables de piéger les radicaux libres ou d'interrompre la chaîne de peroxydation lipidique (Mendis et al., 2005 ; Rajapakse et al., 2005 ; Kim et Wijesekara, 2010). Les peptides bioactifs isolés à partir de protéines de calmars ont montré une inhibition de la peroxydation lipidique supérieure à celle de l' α -tocophérol et comparable à celle du BHT, effet attribué à la présence d'acides aminés hydrophobes favorisant l'activité antioxydante (Mendis et al., 2005).

L'efficacité antioxydante des hydrolysats protéiques dépend étroitement de la composition en acides aminés et de la structure des peptides générés. Les acides aminés aromatiques et ceux contenant des groupements imidazoles, tels que l'histidine, contribuent particulièrement à cette activité (Kim et Wijesekara, 2010). Le collagène et la gélatine, riches en acides aminés hydrophobes, présentent ainsi une forte capacité d'interaction avec les radicaux libres, conférant aux collagènes marins et à leurs dérivés hydrolysés un potentiel antioxydant élevé (Mendis et al., 2005). Ces composés naturels sont aujourd'hui considérés comme des alternatives prometteuses aux antioxydants synthétiques, tant dans les formulations alimentaires fonctionnelles que dans les applications pharmaceutiques.

Certains peptides antioxydants identifiés chez les organismes marins et leurs sources sont présentés dans le Tableau 2..

Chapitre 1.3. Le collagène marin, structure, types et applications

Tableau 2. Peptides antioxydants isolés d'organismes marins et leurs sources

Séquence en acides aminés du peptide	Source	Référence
Leu-Lys-Gln-Glu-Leu-Glu-Asp-Leu-Leu-Glu-Lys-Gln-Glu	Huître	Qian et al., 2008
Phe-Asp-Ser-Gly-Pro-Ala-Gly-Val-Leu	Calmar jumbo	Mendis et al., 2005
Val-Glu-Cys-Tyr-Gly-Pro-Asn-Arg-Pro-Glu-Phe	Microalgue	Sheikh et al., 2009
Phe-Gly-His-Pro-Tyr	Moule bleue	Jung et al., 2005
Leu-Leu-Gly-Pro-Gly-Leu-Thr-Asn-His-Ala	Rotifère	Byun et al., 2009
Val-Lys-Ala-Gly-Phe-Ala-Trp-Thr-Ala-Asn-Glu-Leu-Ser	Thon	Je et al., 2007
Leu-Gly-Leu-Asn-Gly-Asp-Asn-Val-Asn	Anguille	Ranathunga et al., 2006
Arg-Pro-Asp-Phe-Pro-Leu-Gly-Pro-Pro-Tyr	Sole	Jun et al., 2004

Chapitre II : Matériel et méthodes

Chapitre II.1: Composition approximative et digestibilité par la pepsine du tégument de six holothuries transformées en bêche-de-mer de la région de Mostaganem (Ouest de l'Algérie)

Chapitre II.1 : Composition approximative et digestibilité par la pepsine du tégument de six holothuries transformées en bêche-de-mer

Cette partie est une analyse biochimique de la composition approximative et de la digestibilité *in vitro* par la pepsine du tégument transformé en "bêche-de-mer" de six espèces d'holothuries provenant de la région de Mostaganem (*Parastichopus regalis*, *Holothuria sanctori*, *H. arguinensis*, *H. poli*, *H. tubulosa* et *H. algeriensis*). Cette étude permettra d'évaluer les propriétés nutritionnelles du tégument sous sa forme transformée. De plus, elle révèle pour la première fois la valeur nutritionnelle de l'espèce *H. algeriensis*. Ces analyses ont déjà été réalisées par Mecheta et Mezali (2019), Mecheta et al. (2020) et Khodja et Mezali (2022) sur des holothuries de derme frais.

1. La zone d'étude et échantillonnage

Les échantillons ont été collectés entre juin 2021 et juin 2022 dans deux stations de la région de Mostaganem (côte ouest algérienne) : le petit port de Sidi Lakhdar (36°12'25.8"N, 0°22'29.9"E) et Kharrouba (36°12'11.94"N, 0°18'30.42"E). (Figure 18). Ce site a été choisi en raison de la forte abondance des populations de concombres de mer et de l'accessibilité aux zones de collecte.

Remarque : tous les échantillons étudiés dans le cadre de ce travail proviennent de la station du petit port de Sidi Lakhdar, à l'exception de *Parastichopus regalis*, collecté à la station de Kharrouba.

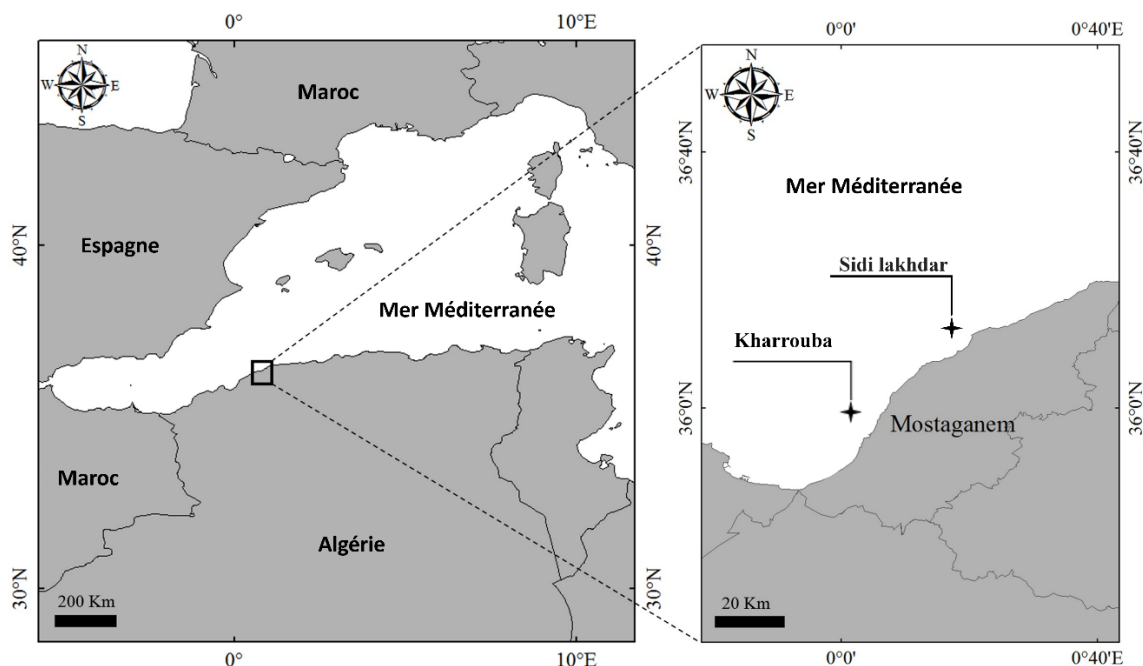


Figure 18: Localisation des sites d'échantillonnage (Sidi Lakhdar et Stidia) sur la côte de Mostaganem, dans la mer Méditerranée (Algérie).

Cette étude a été réalisée sur 90 individus, répartis en 15 individus par espèce : *Holothuria* (*H.*) *algeriensis*, *H. poli*, *H. tubulosa*, *H. arguinensis*, *H. sanctori* et *Parastichopus regalis*. Les individus sont prélevés vivants par plongée en apnée à une profondeur moyenne d'environ 3 m

Au laboratoire, les individus ont été rincés à l'eau du robinet pour éliminer toute trace de sédiment (Mezali, 1998). Les échantillons ont été transformés en "bêche-de-mer" selon les méthodes traditionnelles décrites par Purcell (2017).

2. Méthode de transformation du produit frais en produit sec "bêche-de-mer"

La transformation des concombres de mer fraîchement récoltés en "bêche-de-mer" repose sur des méthodes traditionnelles simples décrites par Purcell (2017), incluant plusieurs étapes : nettoyage, salage, cuisson et séchage au soleil. Ce procédé permet non seulement de prolonger la conservation du produit, mais aussi d'améliorer ses caractéristiques culinaires et nutritionnelles.

2.1. Nettoyage et préparation initiale

Chaque individu a d'abord été ouvert et vidé de son tube digestif ainsi que de ses viscères (Figure 19A). Le tégument a été préservé afin de garantir une bonne qualité du produit final. Ensuite, les

Chapitre II.1 : Composition approximative et digestibilité par la pepsine du tégument de six holothuries transformées en bêche-de-mer

téguments ont été soigneusement rincés à l'eau du robinet pour éliminer toutes traces de sédiments. Afin de faciliter l'élimination de l'excès d'humidité, ils ont été égouttés, enroulés dans du papier absorbant (Mezali, 1998), puis placés dans un bac contenant du sel marin grossier, à raison de 1 kg de sel pour 3 kg de concombres de mer, pendant une durée de 2 à 5 jours (Figure 19B). Cette étape de salage a été essentielle pour amorcer la déshydratation et rehausser la saveur du produit final.

2.2. Première cuisson

Après la période de salage, les concombres de mer ont été transférés dans une casserole remplie d'eau chaude et portés à ébullition. La température de l'eau a été maintenue entre 70 et 90°C, et les spécimens ont été remués toutes les 5 minutes afin d'éviter toute adhérence et d'assurer une cuisson homogène (Figure 19C). Cette première cuisson a duré entre 10 et 30 minutes, jusqu'à ce que les téguments atteignent une consistance molle. Une fois cuits, les concombres ont été égouttés à l'aide d'une passoire (Figure 19D), puis disposés sur une serviette en coton pour éliminer l'excès d'humidité.

2.3. Séchage au soleil

Les téguments ont ensuite été placés à l'air libre dans un endroit bien exposé au soleil pendant une période de 4 à 5 jours (Figure 19E). La durée exacte du séchage a varié en fonction des conditions climatiques, notamment de la nébulosité. À l'issue de cette phase, le produit obtenu est devenu très dur et a présenté une texture rigide (Figure 19F).

Deuxième cuisson et amélioration du produit

Afin d'améliorer la qualité du produit final et de donner aux concombres de mer une forme plus rectiligne, une deuxième cuisson a été effectuée après 2 à 3 jours de séchage (Purcell, 2017). Cette étape a permis d'optimiser l'apparence du produit, facilitant ainsi son utilisation dans les préparations culinaires.

2.4. Élimination des dépôts calcaires

Avant leur utilisation en cuisine, les téguments devaient être débarrassés de leurs dépôts calcaires. Pour cela, ils ont été immergés pendant 24 heures dans une solution composée d'eau et de vinaigre

Chapitre II.1 : Composition approximative et digestibilité par la pepsine du tégument de six holothuries transformées en bêche-de-mer

blanc (une part de vinaigre pour trois parts d'eau). Ensuite, chaque tégument a été frotté à l'aide d'une brosse rigide, ce qui a permis d'éliminer efficacement tous les résidus calcaires.

À ce stade, les concombres de mer étaient prêts à être intégrés dans diverses préparations culinaires, offrant ainsi une nouvelle opportunité pour leur valorisation gastronomique.



Figure 19: Etapes de transformation des espèces d'holothuries fraîches en produit sec "bêche-de-mer", A. nettoyage ; B. salage ; C. cuisson ; D. dermes égouttés dans une passoire ; E. séchage au soleil ; F. produit finale "bêche-de-mer".

3. Etude biochimique des espèces d'holothuries étudiées

Après la transformation, la "bêche-de-mer" a été soumise à une analyse de la composition chimique approximative ainsi qu'à une évaluation de la digestibilité *in vitro* par la pepsine. Les résultats de chaque analyse sont exprimés en pourcentage et correspondent à la moyenne de trois répétitions.

3.1. Composition approximative du tégument

3.1.1. Taux d'humidité

Pour déterminer le taux d'humidité des holothuries, environ 5g de derme transformé en "bêche-de-mer" de chaque espèce a été séché dans une étuve à 103°C pendant 6h. Le taux d'humidité a été déterminé selon la formule suivante

$$\text{Taux d'humidité (\%)} = \frac{\text{Poids humide} - \text{Poids sec}}{\text{Poids humide}} \times 100$$

3.1.2. Taux de lipides

Les lipides totaux ont été extraits selon la méthode de Folch *et al.* (1957) modifiée par Christie (1982) spécialement pour les produits anhydres. Environ 50 g de "bêche-de-mer" a été mélangé avec 300 ml d'un mélange de solvant chloroforme et méthanol (2:1) (v/v) pendant 30 min sous agitation. Le mélange a été homogénéisé pendant 2h puis filtré à travers un papier filtre Whatman N° 1 et 30 ml (v/4) de NaCl 0.73% ont été ajoutés. La solution a été laissée à décanter pendant 2h puis le chloroforme a été filtré sur du sulfate de sodium et récupéré dans un ballon préalablement pesé. Le méthanol a été lavé avec 40 ml de chloroforme et 10 ml de NaCl 0.58% et laissé décanter pendant 30min (Figure 20A). Le chloroforme contenant les lipides a également été filtré sur le sulfate de sodium, récupéré puis éliminé à 53°C par le Rotavapor (Figure 20B). La teneur en lipides a été déduite par différence de poids.

$$\text{Taux de lipide (\%)} = \frac{\text{Poids du ballon avec les lipides} - \text{Poids du ballon vide}}{\text{Poids de l'échantillon (1g)}} \times 100$$

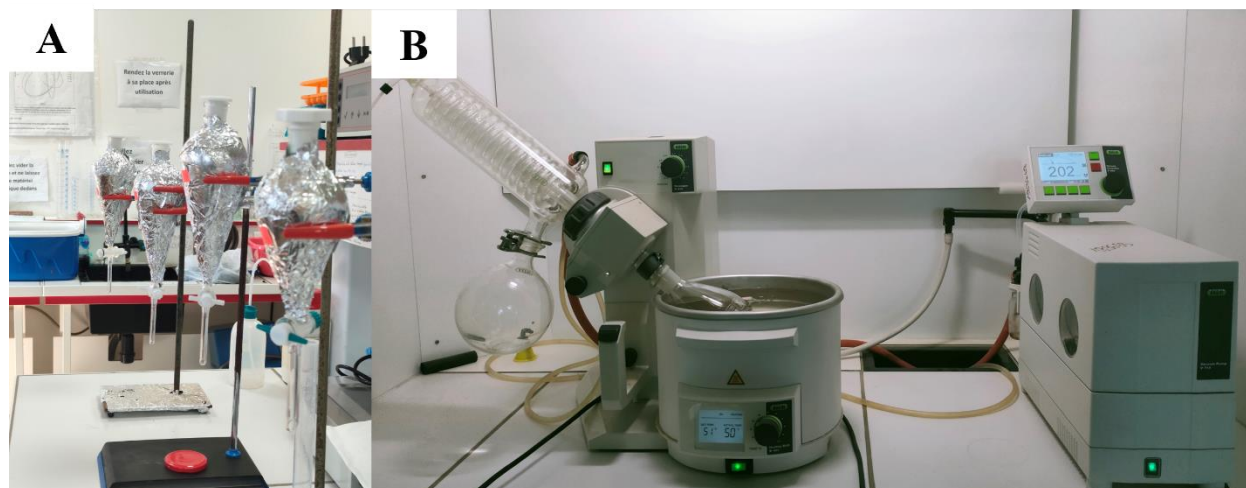


Figure 20: Extraction des lipides selon la méthode de Folch et al. (1957) A. Séparations densitométriques. B. Roto-évaporation, évaporation du solvant.

3.1.3. Taux de cendres

La teneur en cendres a été déterminé en insérant au four à moufle 1g du tégument transformé à 600°C pendant 12h. Le taux de cendres a été calculé comme étant le rapport de la masse finale après incinération sur la masse initiale. Le calcul du taux de cendre ce fait par la formule suivante :

$$\text{Teneur en cendre (\%)} = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \times 100$$

P_0 : poids du creuset vide. P_1 : poids du creuset et l'échantillon séché à l'étuve à 100°C. P_2 : poids du creuset et le résidu calciné.

3.1.4. Teneur en protéines

La concentration en azote total a été déterminée en utilisant la méthode de Kjeldahl (Norme AOAC 960.52, 1997). Environ 0,20 g de derme sec ont été pesés avec une balance de précision (précision de $\pm 0,0001$ g, Sartorius, Aubagne, France). Les échantillons ont été placés dans des matras et minéralisés sur une rampe (Kjeldatherm, Gerhardt, Les Essarts le Roi, France) à 400°C pendant 3 heures (Figure 21A-B) après l'addition de 2 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) et environ 1 g de catalyseur. Le sulfate d'ammonium ($(NH_4)_2SO_4$) a été formé, produit de la minéralisation. La titration a été réalisée en ajoutant une base forte (NaOH) en volume égal au volume d' H_2SO_4 , à

Chapitre II.1 : Composition approximative et digestibilité par la pepsine du tégument de six holothuries transformées en bêche-de-mer

l'aide d'un système de type microanalyse (Vapodest50, Gerhardt, Les Essarts le Roi, France) (Figure 21C)

La concentration en azote minérale a été obtenue selon la formule suivante :

Avec :

$$NT (\%) = \frac{V1 - V0 \times N \times 1400}{E}$$

Nt : azote total pour 100 g d'échantillon ; V : volume d'H₂SO₄ nécessaire au titrage de l'échantillon en ml ; V0 : volume d'H₂SO₄ nécessaire au titrage du témoin en ml ; N : normalité de la solution d'H₂SO₄ ; E : prise d'échantillon en g.

La teneur en protéines est ensuite calculée selon la formule suivante : (Avec :6. 25 : facteur protéique (Adler- Nissen. 1986)).

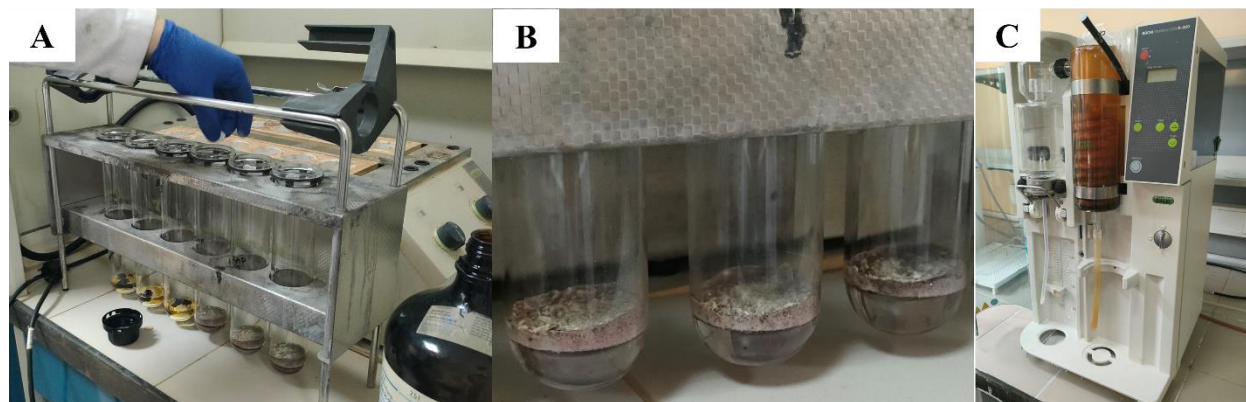


Figure 21: Étapes de la détermination de la teneur en azote total selon la méthode de Kjeldahl. A. Minéralisation des échantillons sur la rampe Kjeldatherm, B. Détail des échantillons après minéralisation à 400 °C, C. Distillation et titrage de l'ammoniac à l'aide du système Vapodest 50

3.1.5. Digestibilité *in vitro* par la pepsine

Les échantillons ont été digérées *in vitro* par la pepsine selon la méthode d'Escudero et al. (2010) modifié par Wen et al. (2015). Pour cela, environ 0.5g du tégument sec a été homogénéisé deux fois dans 2 ml d'eau distillée pendant 30sec à 950 tr/min, puis à 13500 tr/min avec un temps de refroidissement de 30 sec entre les deux centrifugations. Le pH des homogénats a été ajusté à 2

Chapitre II.1 : Composition approximative et digestibilité par la pepsine du tégument de six holothuries transformées en bêche-de-mer

avec un acide (HCl, 1M). La pepsine a été ajoutée à 3% basé sur la masse de l'échantillon. Le mélange est chauffé à 37°C pendant 2h dans un bain marie, puis la pepsine a été inactivée en ajustant le pH à 7.5 en utilisant une base (NaOH, 1 M). La paroi digérée a été séchée dans une étuve à 60°C pendant 72 h, puis pesée. La digestibilité in vitro a été calculée selon la formule suivante

$$\text{Digestibilité (\%)} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

Wi = Poids sec du tégument avant la digestion par la pepsine et Wf = Poids sec du tégument digéré par la pepsine.

3.1.6. Analyses statistiques

Analyses statistiques Pour déterminer s'il existe des différences significatives dans la composition approximative et la digestibilité entre les espèces étudiées, nous avons utilisé le test ANOVA dans le cas de la teneur en lipides, de la teneur en cendres et de la digestibilité, suivi du test post hoc de Tukey après avoir confirmé la normalité et l'homoscédasticité avec les tests de Shapiro Wilk et de Levene respectivement. Dans le cas de la teneur en protéines, où la condition de normalité n'est pas remplie, nous avons utilisé le test de Kruskal-Wallis et le test post hoc de Dunn. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Rstudio 4.

Chapitre II : Matériel et méthodes

Chapitre II.2: Valorisation culinaire des concombres de mer de la côte ouest Algérie

Chapitre II.1: Valorisation culinaire des concombres de mer de la côte ouest algérienne

Dans cette partie, nous nous intéressons à l'introduction des concombres de mer dans la cuisine algérienne. Actuellement, ces organismes marins ne sont pas disponibles sur le marché local et restent peu appréciés des consommateurs algériens. Afin d'explorer leur potentiel culinaire, nous avons collecté 70 spécimens des espèces *Holothuria tubulosa* et *Holothuria arguinensis* sur la côte ouest de Mostaganem. Après leur transformation en produit sec "bêche-de-mer", nous avons préparé quatre plats en nous basant sur des recettes couramment consommées en Algérie. Deux sessions de dégustation ont été réalisées auprès d'un échantillon de la population locale afin d'évaluer la qualité des plats préparés et leur acceptabilité par les consommateurs.

1. Préparation de l'échantillon

Dans le cadre de cette étude, soixante-dix individus de concombres de mer appartenant aux deux espèces les plus abondantes de la région, *H. tubulosa* et *H. arguinensis*, ont été prélevés en octobre 2021 à la station du "Petit-port", située dans la commune de Sidi-Lakhdar, Mostaganem, sur la côte ouest de l'Algérie (36°12'25.8"N, 0°22'29.9"E)

Après la récolte, les individus ont été immédiatement transportés au laboratoire (LPVRMLSM) pour être transformés en produit sec, appelé "bêche-de-mer", selon un protocole standardisé (Purcell, 2017). Cette transformation est une étape essentielle permettant de prolonger la conservation des concombres de mer et d'améliorer leur intégration dans les pratiques culinaires locales.

1.1. Organisation des ateliers de dégustation

Dans le but d'évaluer leur potentiel gastronomique et leur acceptabilité par les consommateurs algériens, six plats ont été préparés en utilisant la "bêche-de-mer". Les recettes ont été choisies en s'inspirant des plats traditionnels les plus populaires en Algérie, de manière à faciliter leur intégration dans l'alimentation locale. Ces préparations ont été élaborées en respectant les techniques culinaires couramment utilisées dans la cuisine algérienne afin de préserver des saveurs et textures familières aux consommateurs.

Une session de dégustation a ensuite été organisée à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Mostaganem en octobre 2021. Pour garantir une évaluation représentative,

un questionnaire bilingue (français et arabe) a été élaboré et distribué à un échantillon de 42 participants, sélectionnés parmi des personnes de sexes et d'âges variés. L'objectif de cette enquête était de recueillir les perceptions des participants quant à la qualité des plats préparés, en mettant l'accent sur la similitude de ces préparations avec des plats déjà ancrés dans les habitudes alimentaires algériennes. Les réponses obtenues ont permis d'analyser le niveau d'acceptabilité des concombres de mer dans la cuisine algérienne et d'identifier d'éventuels freins ou opportunités pour leur valorisation gastronomique.

Un deuxième atelier de dégustation a été organisé le 18 mai 2023. Les 75 concombres de mer échantillonnés et transformés en produit sec "bêche-de-mer" ont été utilisés à des fins culinaires en préparant deux plats populaires imitant les recettes de plats couramment consommés dans la cuisine algérienne (« saucisse hachée à base de concombre de mer » et « Chausson salé au concombre de mer »). Les plats ont été présentés lors d'une séance de dégustation à laquelle ont participé 25 personnes de sexe et d'âge différents de la région de Mostaganem.

1.2. Préparation des différents plats à base d'holothuries

Cette étude met en avant des recettes traditionnelles algériennes revisitées, intégrant un ingrédient spécifique dans des préparations typiques. En s'appuyant sur des techniques et des saveurs authentiques, elle illustre la richesse du patrimoine culinaire tout en explorant de nouvelles perspectives gastronomiques.

1.2.1. Recette du concombre de mer à la sauce blanche

Pour la préparation de la sauce blanche, dans une poêle, 3 cuillères à soupe d'huile végétale ont été mélangées avec de l'oignon vert bien frit, en ajoutant l'ail, les champignons, les épices puis la crème fraîche. Le concombre de mer a été découpé en petits morceaux et ajouté. Le tout a été laissé à reposer pendant 5 minutes à feu doux.

1.2.2. Recette de la salade du concombre de mer mariné

Le produit obtenu a été mis dans un bol, puis les ingrédients ont été ajoutés : une demi-cuillère à café de sel, du poivre noir, 45 ml de jus de citron, 3 cuillères à soupe d'huile végétale, du persil finement ciselé, des petits dés de carottes, de la moutarde, des champignons, des olives découpées en petits morceaux, du thym effeuillé, deux gousses d'ail pressées et du piment rouge. Après le mélange des ingrédients, la marinade a été conservée au réfrigérateur à une température de 5 °C.

1.2.3. Recette du « bourek » de concombre de mer

Le « bourek » était un plat d'entrée incontournable de la meïda (la table) durant le mois sacré du jeûne (Ramadhan) et des repas festifs des Algériens. Il était généralement préparé à partir de feuilles de « dioule » (pâte très fine composée de farine de blé, d'amidon de maïs, d'eau et de sel) fourrées avec de la viande hachée (rouge), du thon, des œufs, du poulet ou du fromage. Dans notre cas, la viande rouge hachée a été remplacée par le concombre de mer haché.

Un oignon râpé a été cuit à feu doux avec un peu d'huile végétale. Une fois la cuisson terminée, un œuf et du fromage râpé ont été ajoutés. Entre-temps, les dermes des concombres de mer ont été découpés en petits morceaux (de 3 à 4 cm), puis hachés à l'aide d'un hachoir électrique avec les épices (une demi-cuillère à café de sel et de poivre noir, du cumin, du paprika et du persil finement ciselé). Après mélange, la farce a été placée à l'intérieur des feuilles de « dioule » (Figure 22A), en serrant bien des deux côtés du « bourek » (Figure 22B, C), puis en l'enroulant ou en lui donnant la forme souhaitée (triangle, roulé) (Figure 22D-E-F).

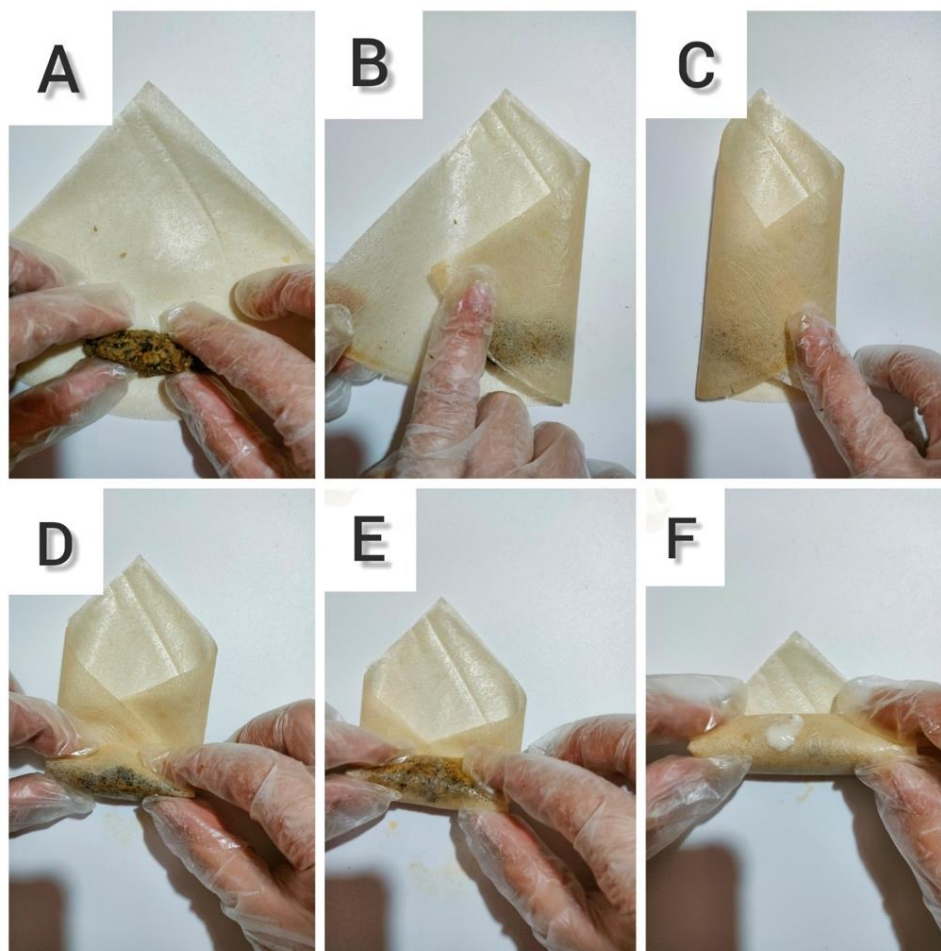


Figure 22: Etapes de la préparation du « bourek » à base de concombre de mer, A. la farce à l'intérieur des feuilles de «dioule»; B. fermeture du premier coté ; C. fermeture du deuxième coté; D. enrouler le «bourek» ; E. en serrant bien le «bourek» ; F. une petite tranche de fromage est rajouté pour coller la feuille de «dioule»

1.2.4. Recette des boulettes hachée de concombre de mer

Après la deuxième cuisson les dermes du concombre de mer ont été découpé en petits morceaux (de 3 à 4 cm environ), ensuite hachée à l'aide d'un hachoir électrique. On ajoute à cela les épices (une demi-cuillère à café de sel, poivre noir, cumin, paprika et du persil finement ciselé). Des boulettes ont été faites avec la paume de la main à partir du concombre de mer haché. Pour la préparation de la sauce tomate, dans une poêle, on verse 3 cuillères à soupe d'huile végétale avec un oignon vert bien frité, en ajoutant 2 gousses d'ail pressées à la tomate concentrée avec une tomate râpée, la sauce a été mélangée à feu doux jusqu'à épaississement.

1.2.5. Chausson salé au concombre de mer

La pâte pour les produits salés a été préparée en mélangeant 500 g de farine, 7 g de levure boulangère sèche, du sucre, du sel et de l'huile d'olive, puis en incorporant progressivement du lait tiède. Après un pétrissage de 5 à 7 minutes, La pâte a été laissée à reposer pendant 30 minutes, jusqu'à ce qu'elle double de volume. Elle a ensuite été abaissée à 1 cm d'épaisseur, découpée en formes circulaires, puis garnie d'une farce à base de concombre de mer haché. La pâte a été refermée et façonnée, ici sous forme de poisson. Enfin, les produits ont été cuits au four pendant 10 à 12 minutes jusqu'à dorure des bords.

1.2.6. Recette de la saucisse du concombre de mer haché

La saucisse est un produit élaboré à partir de viande hachée, associée à divers ingrédients tels que des épices et des condiments, puis mise sous boyau d'origine intestinale ou synthétique. Traditionnellement préparée à partir d'un mélange de gras et de maigre de bœuf ou de mouton, cette recette a été adaptée en substituant la viande par du concombre de mer haché. Ce dernier a été homogénéisé avec un mélange d'épices comprenant du sel (0,5 cuillère à café), du poivre noir, du cumin, du paprika, trois gousses d'ail écrasées et du persil finement ciselé. La préparation obtenue a été ensuite introduite dans un boyau naturel (veau ou mouton) à l'aide d'un entonnoir, en veillant à préserver l'intégrité de l'enveloppe intestinale.

1.3. Questionnaire de dégustation

L'enquête de dégustation comprend deux étapes principales (Figure 23) :

La première consiste à distribuer des fiches sans annoncer que nos plats sont à base de concombre de mer. :

- Informations sur les personnes qui ont assisté à la dégustation (sexe, âge, wilaya d'origine, produit de la mer préféré et éventuellement s'ils présentent des maladies chroniques) ;
- Examen visuel du repas présenté (apparence et la ressemblance à d'autres repas à base de viandes rouges, blanches ou de poissons) couramment consommés ;
- Examen olfactif (sensation au nez; odeur) et
- Examen gustatif (gout, texture).

La deuxième étape consiste à distribuer une autre fiche de renseignement en informant les personnes que les plats sont à bases de concombres de mer :

- Types de plats préparés appréciés (concombre de mer à la sauce blanche, «bourek» de concombre de mer, marinade pour salade et boulettes de concombre de mer) ;
- Leur capacité à introduire l'un ou les plats dégustés dans leurs habitudes alimentaires en les informant sur les bienfaits nutritionnels du produit cuisiné et
- Le type de produit qu'ils aimeraient trouver sur le marché (frais ou en plat préparé).



Figure 23: Photos représentatives des deux ateliers de dégustation du concombre de mer et analyse des perceptions des personnes interrogées.

**Chapitre II.3 : Caractérisation du collagène
de *Holothuria algeriensis* de la côte de
Mostaganem, Algérie**

Chapitre II.3 : Caractérisation du collagène de *Holothuria algeriensis* de la côte de Mostaganem, Algérie

Dans cette étude, nous nous intéressons à l'extraction et à la caractérisation du collagène de *Holothuria algeriensis*, une espèce de concombre de mer méditerranéenne présente le long de la côte de Mostaganem, en Algérie. Pour cela, nous avons isolé le collagène à partir de la paroi corporelle en utilisant une méthode Saito modifiée, suivie d'une extraction solubilisée à la pepsine (PSC), afin d'évaluer les variations de rendement en fonction des conditions d'extraction, tandis que ses propriétés bioactives ont été testées à travers le dosage de son activité antioxydante (DPPH).

1. Echantillonnage

Des spécimens d'*Holothuria algeriensis* ont été collectés à la main lors de plongées à des profondeurs allant de 1 à 15 m le long de la côte ouest de l'Algérie, plus précisément à Sidi-Lakhdar, Mostaganem (36°12'25.8 « N, 0°22'29.9 »E). Entre janvier 2024 et août 2024, un total de (30) spécimens ont été collectés et emballés individuellement dans des sacs en polyéthylène refermables, puis transportés au laboratoire

2. Analyse de la composition biochimique

L'analyse de la composition biochimique a été effectuée pour déterminer la teneur en humidité, en protéines, en lipides, en cendres et en glucides selon les méthodes de l'AOAC (2000). La teneur en protéines a été déterminée par la méthode Kjeldahl ($N \times 6,25$), la teneur en lipides a été mesurée par la méthode Bligh et Dyer (1959) et la teneur en cendres a été obtenue par incinération à 550°C pendant 24 heures. La teneur en glucides a été calculée par différence.

2.1. Étapes d'isolement et de purification

L'isolation du collagène a été réalisée selon la méthode de Saito et al. (2002), modifiée par Künili (2022). Toutes les étapes ont été réalisées à 4°C, sauf indication contraire. Un total de 100 g d'échantillons de parois corporelles nettoyées ont été coupés en petits morceaux (Figure 24A), lavés plusieurs fois et homogénéisés avec de l'eau distillée à l'aide d'un Ultra-Turrax (Ika, Yellow Line) (Figure 24B). L'homogénat a ensuite été mélangé à une solution de désagrégation contenant 5 M NaCl, 50 mM EDTA, 0,2 M β -mercaptoéthanol et 0,1 M Tris-HCl (pH 8). Après une agitation

douce pendant 72 heures, le mélange a été filtré à travers une étamine double couche et centrifugé à 10 000 x g pendant 30 minutes (Figure 24C). Le précipité obtenu a été suspendu dans 1000 ml de NaOH 0,1 M et agité pendant 48 heures (Figure 24D-E-F). Les fibrilles de collagène ont ensuite été recueillies par centrifugation à 7 500 x g pendant 30 minutes, lavées plusieurs fois avec de l'eau distillée froide et soumises à une dernière centrifugation à 3 000 x g pendant 15 minutes pour éliminer l'excès d'eau. Le rendement humide des fibrilles de collagène a été calculé avant la lyophilisation (Figure 24G).

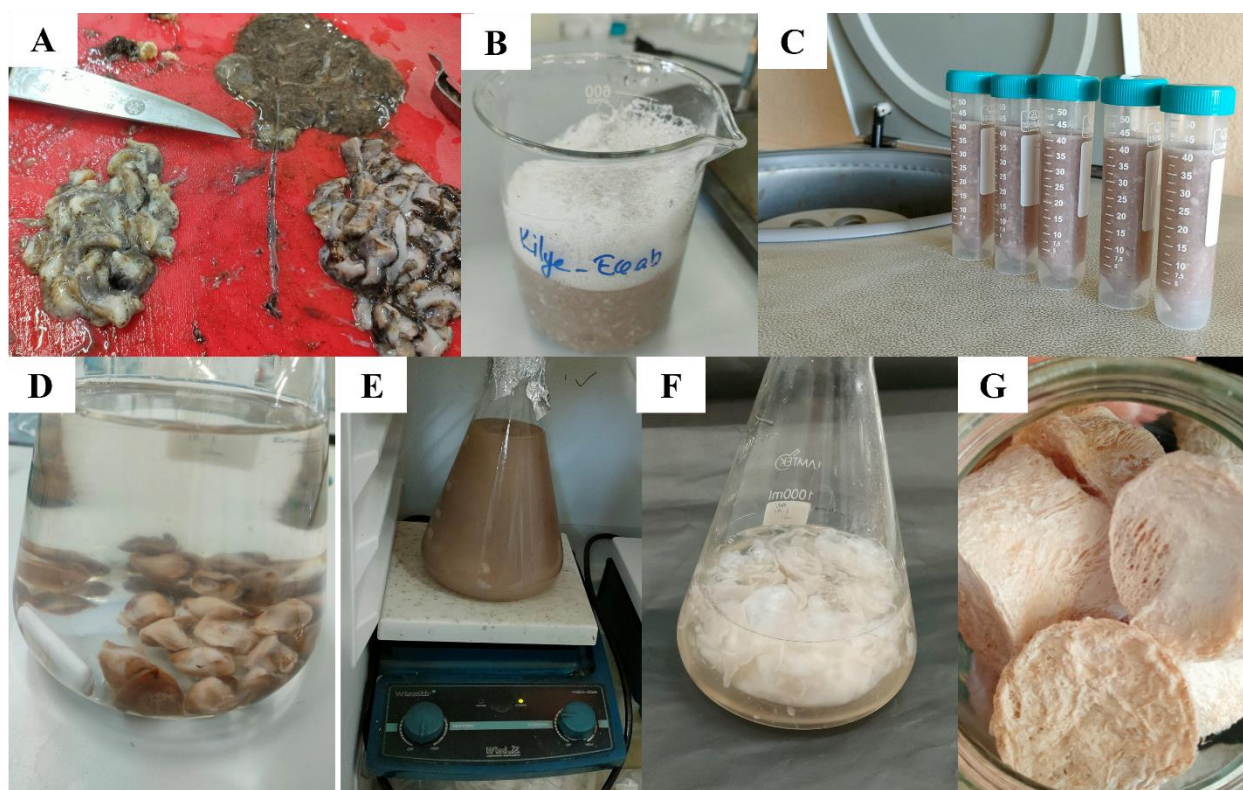


Figure 24: Étapes principales de l'isolement et de la purification du collagène à partir du tégument de *Holothuria algeriensis*. A. Préparation et découpe des tissus, B. Homogénéisation dans la solution de désagrégation, C. Centrifugation du mélange, D. Traitement alcalin des résidus, E. Agitation de la suspension, F. Lavage des fibrilles de collagène, G. Lyophilisation du collagène obtenu.

2.2. Isolement du collagène solubilisé à la pepsine (PSC)

L'extraction des CSP a été réalisée selon les protocoles de Saito et al. (2002) et Zhu et al. (2012), avec des modifications introduites par Künili (2022). A 4°C, 1 g de fibrilles de collagène lyophilisées a été mis en suspension dans 500 ml d'acide acétique 0,5 M contenant 1% à 6% de pepsine (p/p ; Gastric Pepsin from Porcine, Sigma) et agité à faible vitesse pendant 48 heures (Figure 25A). Le mélange résultant a été centrifugé à 7500 x g pendant 1 heure (Figure 25B), et le surnageant a été traité avec du NaCl 4,0 M pour atteindre une concentration finale de 0,8 M NaCl, induisant une précipitation du collagène. Le précipité a ensuite été dissous dans de l'acide acétique 0,5 M et soumis à une dialyse à l'aide d'une membrane à seuil moléculaire de 13 kDa contre 0,02 M Na₂HPO₄ (pH 8) (Figure 25C). Après la dialyse, la solution a été centrifugée à 10 000 x g pendant 45 minutes et le précipité obtenu a été remis en suspension dans de l'acide acétique 0,5 M avant d'être soumis à une deuxième dialyse contre de l'acide acétique 0,1 M pendant 48 heures. Une dernière dialyse a été effectuée contre de l'eau distillée pendant 24 heures (Figure 25D). Le dialysat a été centrifugé à 10 000 x g pendant 15 minutes et l'hydrolysate de collagène purifié a été lyophilisé.

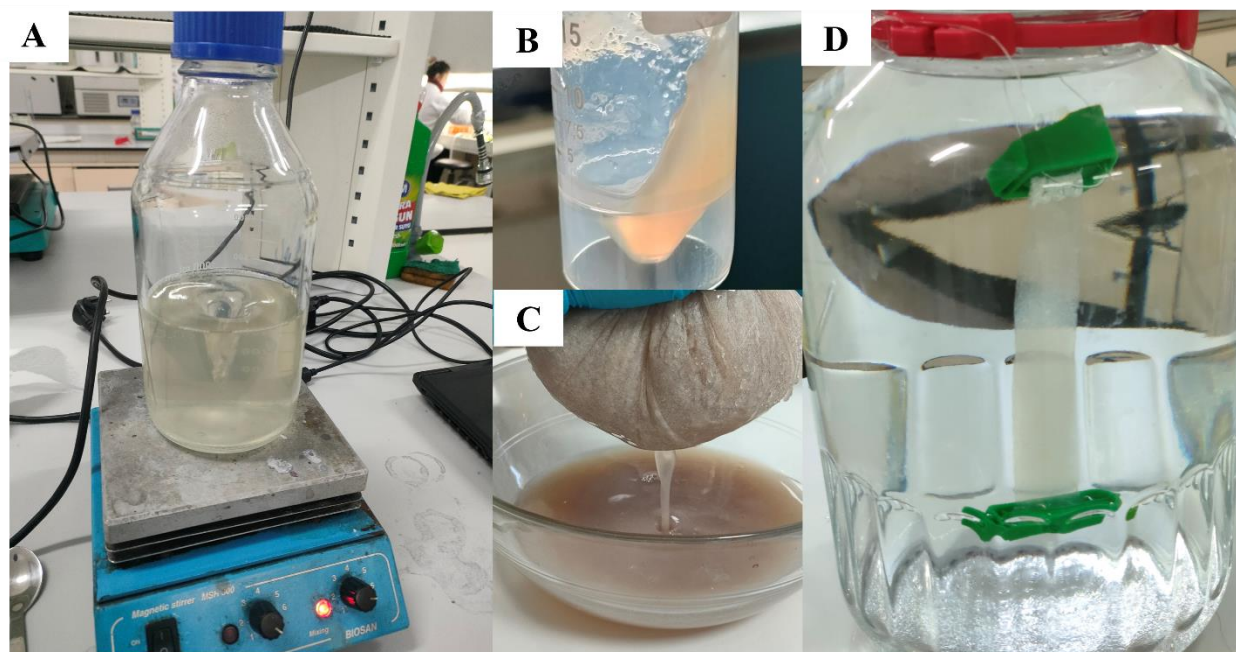


Figure 25: Étapes principales de l'isolement du collagène solubilisé à la pepsine (PSC) à partir du tégument de *Holothuria algeriensis*. A. solubilisation enzymatique dans l'acide acétique, B. précipitation au NaCl, C. filtration du précipité, D. purification par dialyse.

2.3. Évaluation des activités biologiques

2.3.1. Test d'activité antioxydante

L'activité antioxydante des échantillons de protéines a été déterminée à l'aide du test de piégeage du radical DPPH (1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl). Une solution de DPPH de 0,1 mM a été préparée dans du méthanol et conservée dans l'obscurité à 4°C. Des échantillons de protéines ou des hydrolysats ont été dissous dans de l'eau distillée à différentes concentrations (0,1-5,0 mg/ml). 100 µl d'échantillon de protéines ont été mélangés à 100 µl de solution de DPPH, incubés dans l'obscurité à 25°C pendant 30 minutes, et l'absorbance a été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis. Le méthanol seul a servi de blanc et un contrôle sans protéine a été inclus (Figure 26A-B).

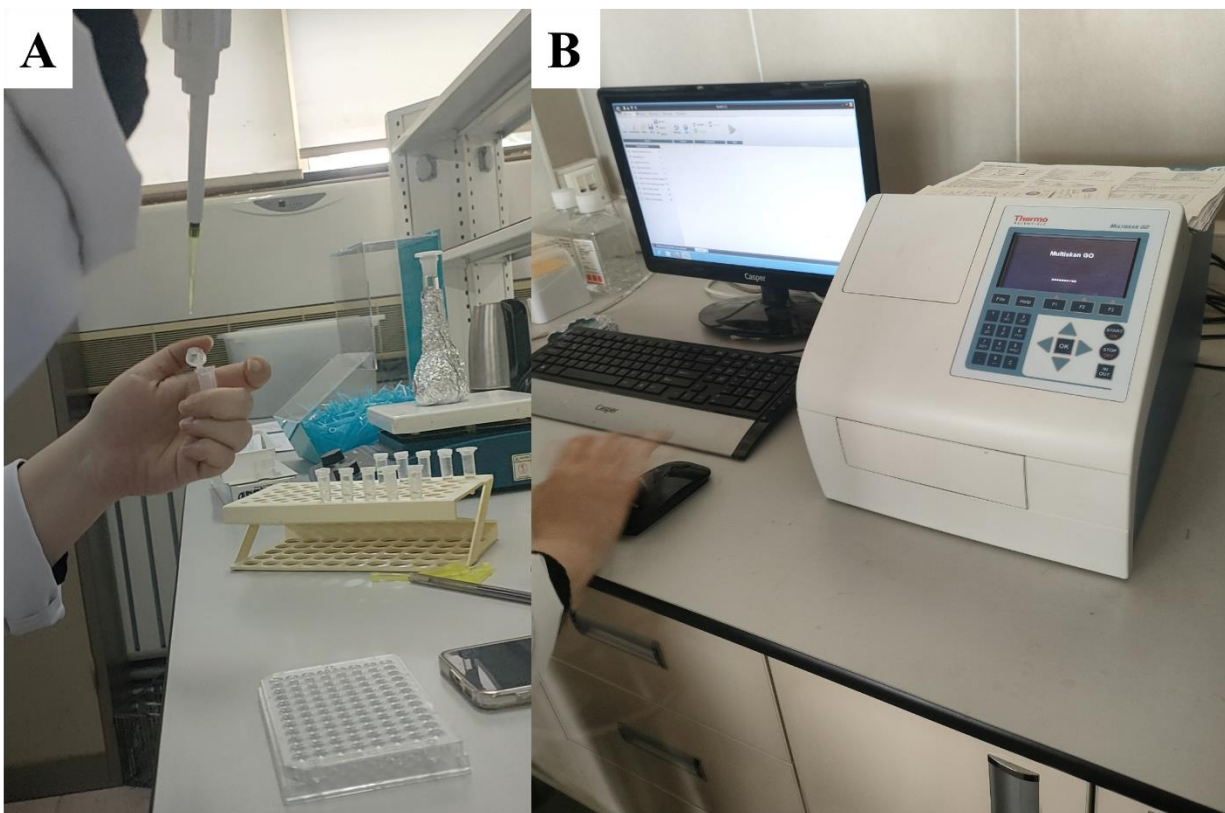


Figure 26: Test d'activité antioxydante (DPPH). A. Préparation des échantillons protéiques, B. Lecture de l'absorbance à 517 nm avec le lecteur de microplaque Multiskan GO.

Chapitre III : Résultats et Discussion

Chapitre III.1 : Composition approximative et digestibilité par la pepsine du tégument de six holothuries transformées en bêche-de-mer de la région de Mostaganem (Ouest de l'Algérie)

Chapitre III : Résultats et discussion

Chapitre III.1 : Composition approximative et digestibilité par la pepsine du tégument de six holothuries transformées en "bêche-de-mer"

1. Composition approximative du tégument

La teneur en humidité du tégument de six espèces transformées en "bêche-de-mer" est de 88.33%, 52.4%, 64.55%, 56.3%, 67.85%, 86.26% chez *P. regalis*, *H. sanctori*, *H. arguinensis*, *H. poli*, *H. tubulosa* et *H. algeriensis* respectivement. Le taux d'humidité du tégument frais de *H. algeriensis* est de 84 % (Tableau 5).

Le taux de cendre des "bêche-de-mer" des six espèces d'holothuries étudiés est de 52.33%, 38.66%, 54.4%, 47.23%, 45.83% et 57.66% chez *P. regalis*, *H. sanctori*, *H. arguinensis*, *H. poli*, *H. tubulosa* et *H. arguinensis* respectivement et de 38.33% chez le tégument frais de *H. algeriensis* (Tableau 5).

Le taux de lipide des "bêche-de-mer" des six espèces d'holothuries étudiés est de 1.7%, 2.7%, 3.2%, 2.1%, 3.3% et 2.5% chez *P. regalis*, *H. sanctori*, *H. arguinensis*, *H. poli*, *H. tubulosa* et *H. arguinensis* respectivement et de 3.12% chez le tégument frais de *H. algeriensis* (Tableau 5).

Le taux de protéine des "bêche-de-mer" des six espèces d'holothuries étudiés est de 53.99%, 69.56%, 50.12%, 48.22% et 47.86% chez *H. sanctori*, *H. arguinensis*, *H. poli*, *H. tubulosa* et *H. arguinensis* respectivement et de 48.85% chez le tégument frais de *H. algeriensis* (Tableau 5).

Chapitre III.1 : Composition approximative et digestibilité par la pepsine du tégument de six holothuries transformées en bêche-de-mer

Tableau 3: Composition approximative du tégument des holothuries transformé en "bêche-de-mer" en comparaison à d'autres téguments d'espèces frais.

Espèce	Humidité (%)	Cendre (%)	Lipide (%)	Protéine (%)	Références
<i>P. regalis</i> (BDM)	88.33±1.24	52.33±5.51	1.7±0.77	-	Présente étude
<i>H. sanctori</i> (BDM)	52.4±1.24	38.66±1.5	2.7±0.32	53.99±3.01	Présente étude
<i>H. arguinensis</i> (BDM)	64.55±1.06	54.4±4.05	3.2±0.17	69.56±0.34	Présente étude
<i>H. poli</i> (BDM)	56.3±0.36	47.23±2.43	2.1±0.25	50.12±3.15	Présente étude
<i>H. tubulosa</i> (BDM)	67.85±0.57	45.83±1.95	3.3±0.15	48.22±0.34	Présente étude
<i>H. algeriensis</i> (BDM)	86.26±0.89	57.66±1.69	2.5±0.16	47.86±2.78	Présente étude
<i>P. regalis</i> (frais)	90.98±0.71	40.45±0.54	1.40±0.57	-	Khodja & Mezali (2022)
<i>H. sanctori</i> (frais)	66.21±1.34*	31.58±0.10	3.07±0.50	59.36±2.32	Mecheta <i>et al.</i> (2020)
<i>H. arguinensis</i> (frais)	64.55±0.42*	47.31±0.88	2.57±0.28	66.41±0.90	Mecheta <i>et al.</i> (2020)
<i>H. poli</i> (frais)	67.76±0.94*	41.78±1.82	5.53±0.59	69.34±4.13	Mecheta <i>et al.</i> (2020)
<i>H. tubulosa</i> (frais)	61.85±2.62*	40.77±0.60	3.81±0.25	49.26±0.76	Mecheta <i>et al.</i> (2020)
<i>Holothuria leucospilota</i> (frais)	81.41±0.60	4.3±0.20	4.60±0.30	45.71±0.20	Omran (2013)
<i>Holothuria leucospilota</i> (frais)	81.41±0.60	4.3±0.20	4.60±0.30	45.71±0.20	Omran (2013)
<i>Holothuria fuscogilva</i> (frais)	84.34±0.72	30.45±6.79	1.12±0.28	63.64±4.56	Fawzya <i>et al.</i> (2015)
<i>Thelonata ananas</i> (frais)	90.81±2.08	37.40±4.60	2.35	48.26±2.32	Fawzya <i>et al.</i> (2015)
<i>Holothuria Arenicola</i> (frais)	72.12±0.25	45.16±0.22	0.88±0.05	44.56±0.04	Haider <i>et al.</i> (2015)
<i>Actinopyga mauritiana</i> (frais)	76.54±0.09	31.81±0.34	0.76±0.02	66.86±0.06	Haider <i>et al.</i> (2015)
<i>Cucumaria frondose</i> (BDM)	17.9±0.04	16±0.25	4.6±0.64	59.7±0.05	Karine Berger <i>et al.</i> (2014)

*Mecheta et Mezali (2019)

2. Digestibilité *in vitro* par la pepsine

La digestibilité *in vitro* du tégument transformé en "bêche-de-mer" par la pepsine des six espèces d'holothuries étudiés est de 34.43%, 33.63%, 48.66%, 28.83%, 40.13%, 45% et 51% chez *P. regalis*, *H. sanctori*, *H. arguinensis*, *H. poli*, *H. tubulosa* et *H. arguinensis* respectivement et de 51% chez le tégument frais de *H. algeriensis* (Tableau 4).

Tableau 4: Degré de digestibilité (%) des six espèces de "bêche-de-mer" par l'enzyme digestive pepsine en comparaison aux autres holothuries frais et viandes communément consommées.

Espèce	Digestibilité (%)	Références
<i>Parastichopus regalis</i> (BDM)	34.43±1.87	Présente étude
<i>H. sanctori</i> (BDM)	33.63±1.10	Présente étude
<i>H. arguinensis</i> (BDM)	48.66±1.76	Présente étude
<i>H. poli</i> (BDM)	28.83±1.77	Présente étude
<i>H. tubulosa</i> (BDM)	40.13±1.02	Présente étude
<i>H. algeriensis</i> (BDM)	45±2.16	Présente étude
<i>P. regalis</i> (frais)	46.96 ± 3.08	Khodja & Mezali (2022)
<i>H. sanctori</i> (frais)	53.29±3.28	Mecheta & Mezali (2019)
<i>H. arguinensis</i> (frais)	52.06±0.91	Mecheta & Mezali (2019)
<i>H. poli</i> (frais)	34.68±1.02	Mecheta & Mezali (2019)
<i>H. tubulosa</i> (frais)	25.96±2.04	Mecheta & Mezali (2019)
Porc	47.22	Wen <i>et al.</i> (2015)
Poisson	46.98	Wen <i>et al.</i> (2015)
Poulet	44.67	Wen <i>et al.</i> (2015)
Bœuf	42.75	Wen <i>et al.</i> (2015)

3. Discussion

Les valeurs de la digestibilité du tégument transformé vont de 28.83% à 48.66% correspondant à *H. poli* et *H. arguinensis* respectivement et celle du tégument frais vont de 25.96% à 53.29% correspondant à *H. tubulosa* et *H. sanctori* respectivement. La digestibilité *in vitro* par la pepsine du tégument frais des holothuries est nettement supérieure à celle des téguments transformés en "bêche-de-mer" à l'exception de l'espèce *H. tubulosa* où le taux de digestibilité du tégument transformé est supérieur à celui du tégument frais (Tableau 1). Cette différence de valeur peut être dû au fait que les échantillons ne sont pas les mêmes et qu'ils proviennent de deux stations différentes et deux régions différentes. Pour observer réellement la différence, il est intéressant de travailler sur les mêmes individus avant et après leur transformation en "bêche-de-mer".

Les taux de digestibilité du tégument transformé en "bêche-de-mer" sont inférieurs à ceux obtenues par Wen *et al.* (2015) pour les viandes couramment consommées à savoir le porc, le poisson, le poulet et le bœuf.

La mesure de la digestibilité revient à évaluer la quantité des protéines alimentaires qui est basée sur la composition d'acides aminés donc la digestion ne pourrait pas être liée au taux de protéines mais plutôt à sa composition (Thierry Astruc *et al.*, 2017 ; Khodja & Mezali 2022).

Le taux d'humidité du tégument des holothuries transformés vont de 52.4% à 88.3 % pour *H. sanctori* et *P. regalis* respectivement. Les taux d'humidité dans le tégument frais sont supérieurs à ceux des téguments transformés pour les espèces *P. regalis*, *H. sanctori*, *H. arguinensis* et *H. poli* tandis que chez *H. tubulosa* et *H. algeriensis*, elles sont inférieures.

Selon Chang-Lee (1989), La teneur en eau des holothuries varie généralement entre 82 % et 92.6 % ce qui est relativement élevé par rapport à celle des poissons et des mollusques. Cependant, il convient de noter que des valeurs supérieures ou inférieures peuvent être observées selon les espèces.

Les taux de cendres obtenues dans le tégument transformé en "bêche-de-mer" des six espèces d'holothurie varient de 38.66% à 57.66% observés chez *H. sanctori* et *H. algeriensis* respectivement. Chez les six espèces, le taux de cendre du tégument transformé est supérieur à celui du tégument frais dont les valeurs varient de 31.58% à 47.31% pour *H. sanctori* et *H. arguinensis* (Mecheta *et al.*, 2020). Chez d'autres espèces de la famille des Holothuridae et

Chapitre III.1 : Composition approximative et digestibilité par la pepsine du tégument de six holothuries transformées en bêche-de-mer

Stichopodidae, des valeurs bien inférieures à celles-ci ont été observés notamment chez *H. leucospilota*, *H. leucospilota*, *H. fuscogilva*, *T. ananas*, *H. Arenicola*, *A. mauritiana* et *C. frondose* (Omran, 2013 ; Fawzya *et al.*, 2015 ; Haider *et al.*, 2015 ; Karine Berger *et al.*, 2014).

Selon Chen (2003) et Ridzwan (2007), la teneur en cendres dépend de la teneur en minéraux comme le calcium, le magnésium, le fer et le zinc. Dans le cas des téguments transformés en "bêche-de-mer", les valeurs élevées de taux de cendres est probablement dû aux procédés de transformation qui comprend la cuisson dans l'eau de mer et le salage avec le gros sel qui pourraient augmenter la teneur en sodium et calcium. Selon Karin Berger (2014) le concombre de mer séché bouilli au préalable dans de l'eau salée explique le contenu élevé en sodium et calcium (1303.38 mg et 53.38 mg pour le sodium et le calcium respectivement contre 30 mg dans le tégument avant qu'il soit bouilli).

La teneur en lipides totaux des holothuries transformé en "bêche-de-mer" est presque identique à celle des holothuries frais (Tableau 2). Les valeurs sont comprises entre 3.3% et 1.7% observés chez *H. tubulosa* et *P. regalis* respectivement. La valeur minimale et maximale dans le tégument frais est également observée chez les mêmes espèces (Mecheta *et al.*, 2020 ; Khodja & Mezali, 2022). A l'exception de *P. regalis* et *H. arguinensis*, la teneur en lipide des holothuries est plus importante dans le tégument frais par rapport au tégument transformé.

Une étude de Wen (2010) ; a confirmé que les teneurs en acides aminés du concombre de mer séché étaient similaires, mais les profils d'acides gras étaient différents selon les espèces. Ceci peut expliquer les dissemblances entre les profils, surtout si les échantillonnages se sont réalisés à différentes périodes de l'année. Ceci peut expliquer la variation des taux de lipides au sein d'une même espèce peut être influencée par plusieurs facteurs, dont la température et la disponibilité des ressources alimentaires jouent un rôle significatif. Ces deux facteurs interagissent de manière complexe pour affecter le métabolisme lipidique des organismes (Tabaoda *et al.*, 2003 ; Neto *et al.*, 2006).

Le tégument transformé des six espèces d'holothuries étudiées présente un taux de protéines relativement élevé allant de 47.86% à 69.56% chez *H. algeriensis* et *H. arguinensis* respectivement (Tableau 2). Dans le tégument frais, le faible taux de protéine a également été observé chez *H. algeriensis* et le plus élevé chez *H. poli* (Mecheta *et al.*, 2020).

Chapitre III.1 : Composition approximative et digestibilité par la pepsine du tégument de six holothuries transformées en bêche-de-mer

Nos résultats étaient inférieurs à ceux rapportés pour d'autres holothuries tel que *H. leucospilota*, *H. fuscogilva*, *Thelonata ananas*, *H. Arenicola*, *A. mauritiana* et *C. frondose* (45.71 ± 0.20 , 63.64 ± 4.56 , 48.26 ± 2.32 , 44.56 ± 0.04 , 66.86 ± 0.06 et 59.7 ± 0.05 respectivement) (Omran, 2013 ; Fawzya *et al.*, 2015 ; Haider *et al.*, 2015 ; Karine Berger *et al.*, 2014).

A l'exception de *H. poli*, le tégument transformé chez les autres espèces présente un taux de protéine légèrement faible par rapport au tégument frais. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que l'exposition à la chaleur peut accélérer la dénaturation et le repliement des protéines en libérant leur structure. D'autre part, un traitement prolongé à des températures élevées peut augmenter l'énergie cinétique des molécules de protéines et provoquer des vibrations dans les groupes polaires, ce qui altère les structures secondaires (Dong *et al.*, 2020).

Les variations dans la composition approximative des holothuries peuvent être différente selon les espèces, la saison de capture et surtout la diversité dans la source d'alimentation car les concombres de mer sont principalement des dépositivores qui consomment des bactéries et des diatomées mélangées aux sédiments du fond marin (Bordbar *et al.*, 2011 ; Aydın *et al.*, 2011 ; Jeong *et al.*, 2016).

Dans le cas de *H. algeriensis* dont la composition approximative est étudiée pour la première fois durant cette étude, le taux d'humidité et le taux de cendre sont plus importants dans le tégument transformé, tandis que le taux de lipide et le taux de protéine le sont dans le tégument frais. Les variations dans les valeurs peuvent être expliquées par les procédés de transformation du concombre de mer, principalement la cuisson dans l'eau salée à une température élevée diminuant la teneur en certains composition tels que la digestibilité *in vitro* à cause de la dénaturation des protéines et augmentant le taux de minéraux. Des résultats similaires ont déjà été observés chez d'autre espèce transformée en "bêche-de-mer" tel que *Cucumaria frondosa* (Karine Berger *et al.*, 2014).

Dans cette étude, une analyse statistique a été menée pour comparer les valeurs nutritionnelles (protéines, lipides et cendres) de différentes espèces de concombre de mer. Afin de comparer les valeurs nutritionnelles (protéines, lipides et cendres) des différentes espèces de concombres de mer. Une ANOVA suivie d'un test post hoc de Tukey a été appliquée aux données sur la teneur en lipides, les cendres et la digestibilité des protéines entre les espèces. Pour les lipides, les résultats

ont montré une différence significative entre les espèces ($p < 0,05$), en particulier entre le groupe *H. poli* et *P. regalis* et le groupe *H. tubulosa* et *H. arguinensis*. Cependant, pour *H. sanctori*, la teneur en lipides ne différait pas significativement des autres espèces. En ce qui concerne la teneur en cendres, les résultats de l'ANOVA ont révélé une différence significative entre les groupes *H. arguinensis* et *P. regalis* et l'espèce *H. sanctori* ($p < 0,05$), alors qu'aucune différence significative n'a été observée entre les autres espèces. En ce qui concerne la digestibilité des protéines, des différences significatives ont été observées entre toutes les espèces, à l'exception de *H. sanctori* et *P. regalis* ($p < 0,05$). Le test de Kruskal-Wallis, suivi du test post hoc de Dunn, a indiqué que pour la teneur en protéines, des différences significatives n'existent qu'entre *H. tubulosa* et *H. arguinensis* (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$).

Chapitre III.2: Valorisation culinaire des concombres de mer de la côte ouest Algérie

Chapitre III.2: Valorisation culinaire des concombres de mer de la côte ouest Algérie

1. Premier atelier de dégustation

Notre première enquête a été menée auprès de 42 participants répartis en trois classes d'âge : 18-35 ans (62 %), plus de 35 ans (33 %) et moins de 18 ans (5 %). L'échantillon était majoritairement féminin (74 % contre 26 % d'hommes). De plus, 69 % des répondants résidaient dans des communes côtières, tandis que 31 % provenaient de régions plus éloignées du littoral (Figure 22A). La forte participation des jeunes femmes peut être attribuée à leur curiosité et à leur rôle traditionnel dans la découverte et l'expérimentation de nouveaux produits alimentaires (Mezali et al., 2021).

La gastronomie algérienne, riche en influences culturelles, repose sur des plats emblématiques comme le couscous, considéré comme un aliment de base au Maghreb (Chemache *et al.*, 2018). Concernant les produits de la mer, nos résultats montrent que 93 % des personnes interrogées apprécient les fruits de mer, bien que leurs préférences varient en fonction des moyens financiers et de la disponibilité des produits (Figure 22A). Parmi les plus consommés figurent les mollusques bivalves, les céphalopodes, les crustacés et les gonades d'oursins.

L'évaluation sensorielle de quatre plats préparés à base de concombre de mer a révélé que 88 % des participants les ont jugés visuellement appétissants, tandis que 5 % étaient indécis et 7 % les ont trouvés peu attrayants, principalement en raison de la texture du premier plat (Figure 22A). Concernant l'odeur, 69 % des participants l'ont trouvée agréable, 24 % étaient modérément d'accord et 7 % l'ont jugée peu appétissante (Figure 22B). De plus, 86 % des participants ignoraient initialement que ces plats contenaient du concombre de mer.

Parmi les recettes testées, le « bourek » a été le plus apprécié (32 %, Figure 23B), suivi des boulettes hachées de concombre de mer en sauce tomate (31 %, Figure 23D), en raison de leur ressemblance avec des plats conventionnels à base de viande hachée. Les autres préparations concombre de mer mariné (20 %, Figure 23C) et morceaux en sauce blanche aux champignons (17 %, Figure 23A) – ont suscité moins d'engouement. La texture a joué un rôle clé dans l'appréciation des plats : 39 % des participants ont aimé la texture moelleuse du « bourek » et des

boulettes, tandis que 19 % ont noté leur souplesse (Figure 22C). En revanche, 15 % à 22 % ont trouvé certaines préparations granuleuses et élastiques, rendant leur mastication plus difficile.

L'analyse des réponses révèle que 43 % des participants ont identifié les ingrédients des plats, mais les ont souvent confondus avec des crabes, mollusques ou calamars. Cette confusion est confirmée par le chef italo-argentin Mauro Colagreco, qui souligne que le goût du concombre de mer se rapproche de celui du calamar (Alexane, 2020). Par ailleurs, 69 % des participants se sont déclarés prêts à acheter de la "bêche-de-mer" si elle était commercialisée, tandis que 31 % restaient indécis (Figure 22C). De plus, 83 % ont exprimé un intérêt pour ses bienfaits nutritionnels et fonctionnels, renforçant l'idée de sa valorisation dans l'alimentation locale.

L'intégration du concombre de mer dans des préparations traditionnelles comme le « bourek » apparaît comme une approche prometteuse. Ce plat, particulièrement consommé durant le mois sacré du Ramadan, est apprécié pour sa texture croustillante et sa garniture variée. La réponse positive des dégustateurs indique un potentiel d'acceptation de ce produit innovant et une ouverture à l'exploration de nouvelles saveurs.

En outre, bien que les concombres de mer ne soient pas encore exploités commercialement en Algérie, ils font l'objet d'un commerce illégal vers les marchés étrangers (Mezali & Slimane-Tamacha, 2020). Leur récolte incontrôlée soulève des préoccupations quant à leur durabilité, exacerbées par la surexploitation, la pollution et les changements climatiques. Dans cette optique, nos recherches préconisent leur intégration dans des systèmes d'aquaculture multitrophique intégrée, favorisant une production durable et contribuant à la valorisation de cette ressource marine sous-exploitée.

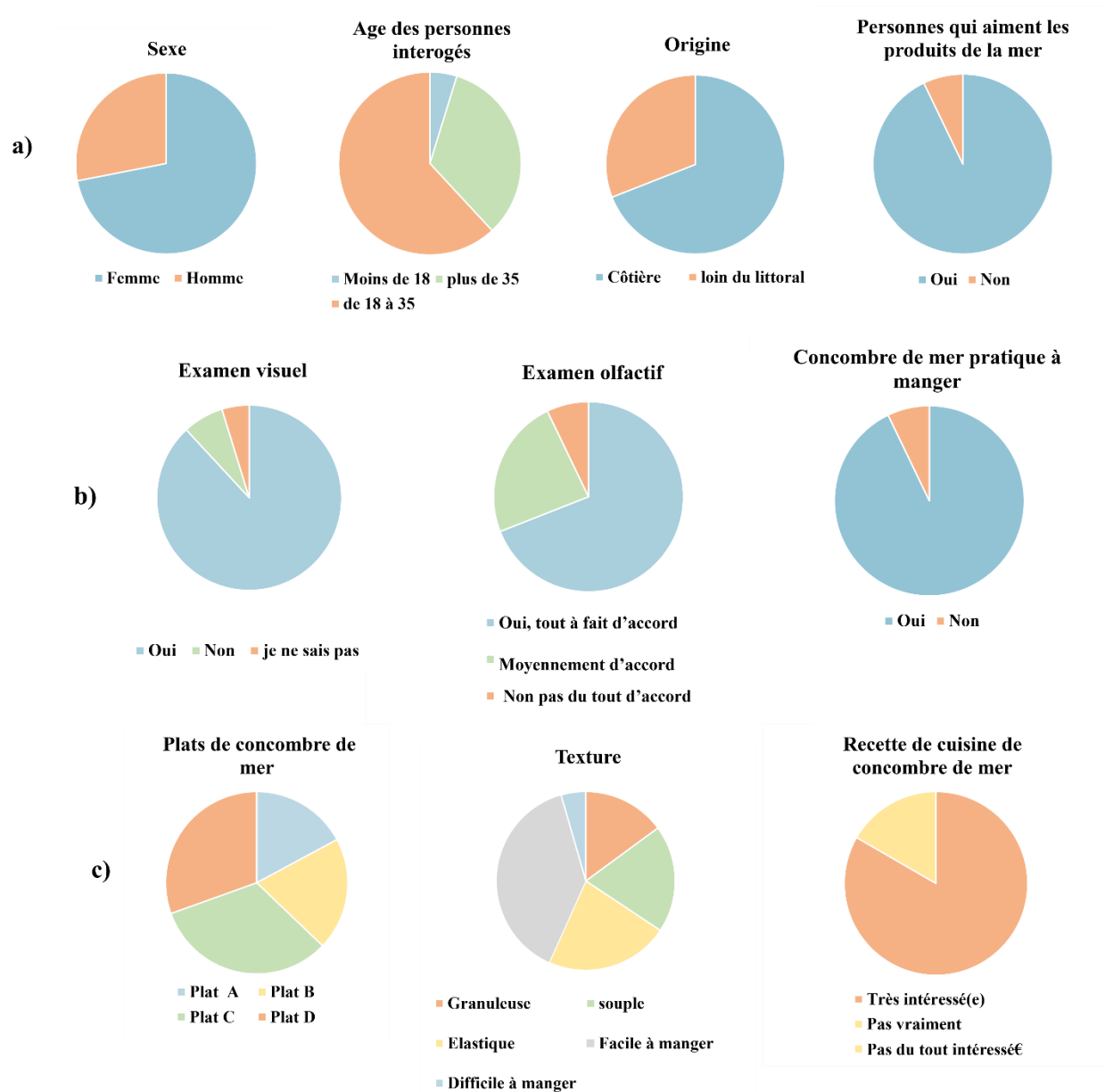


Figure 27: Résultats du questionnaire de la séance de dégustation.

2. Deuxième atelier de dégustation

Lors du deuxième atelier, deux plats inspirés de la cuisine traditionnelle algérienne ont été préparés : la « saucisse à base de concombre de mer hachée » et le « Chausson salé au concombre de mer ». Ces plats ont été soumis à une séance de dégustation réunissant 25 participants de sexes et d'âges variés de la région de Mostaganem.

Les résultats ont révélé un fort intérêt pour l'intégration des concombres de mer dans l'alimentation, avec 76 % des répondants se disant prêts à les inclure dans leur régime alimentaire. Concernant les plats préparés, 53 % des participants ont préféré la « saucisse hachée à base de concombre de mer » (Figure 23F), tandis que 47 % ont opté pour le « Chausson salé au concombre de mer » (Figure 23E). De plus, 41 % des répondants ont exprimé leur intention d'acheter des concombres de mer frais et de les préparer sous forme de "bêche-de-mer", témoignant d'une curiosité croissante pour cette ressource encore peu valorisée.

L'étude culinaire a également permis d'évaluer l'intérêt des consommateurs pour les concombres de mer, tant pour leurs bienfaits pour la santé que pour leur attrait gustatif. L'acceptabilité des plats testés suggère une ouverture à l'incorporation d'ingrédients non traditionnels dans des recettes algériennes courantes.

Enfin, les participants ont exprimé leur volonté d'obtenir des informations sur la sélection et la conservation des concombres de mer. Face aux menaces de surexploitation et aux risques environnementaux, l'intégration de cette ressource dans des systèmes d'aquaculture durable représente une alternative prometteuse pour préserver leurs populations tout en développant leur potentiel gastronomique.

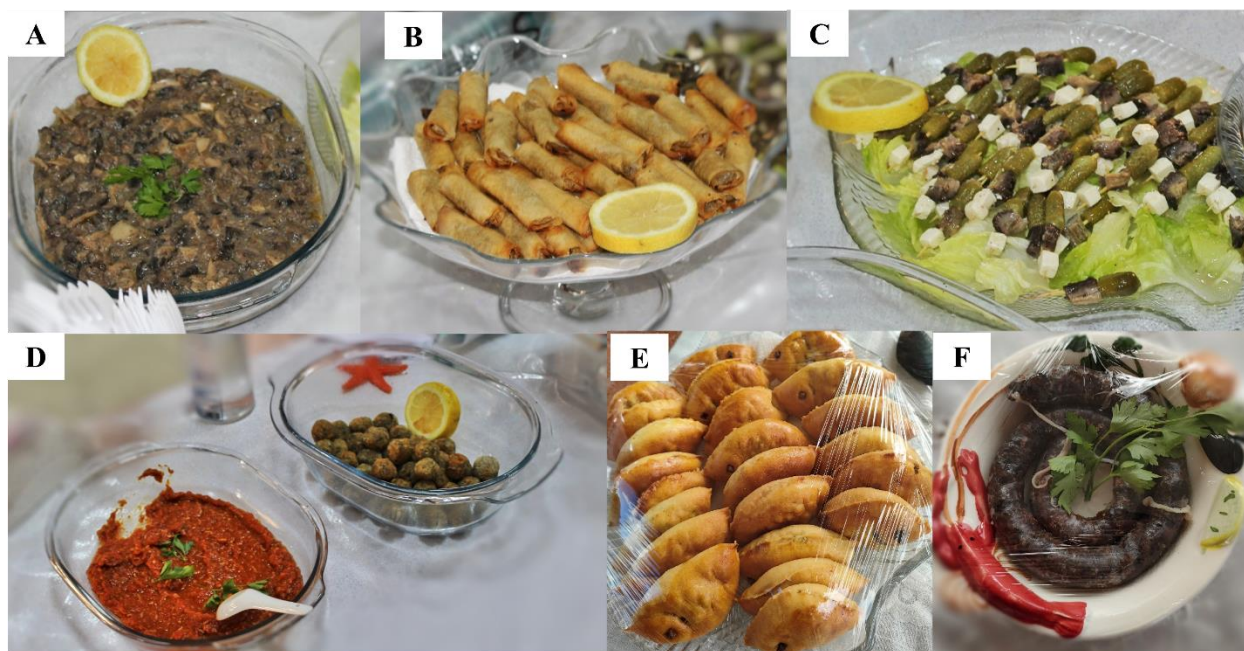


Figure 28: Les plats présentés dans l'atelier de dégustation, A. concombre de mer avec sauce blanche et champignons ; B. «bourek» de concombre de mer ; C. salade du concombre de mer mariné ; D. plat de boulette hachée de concombre de mer ; E. Chausson salé au concombre de mer; F. saucisse à base de concombre de mer hachée.

**Chapitre III.3 : Caractérisation du collagène
de *Holothuria algeriensis* de la côte de
Mostaganem, Algérie**

Chapitre III.3 : Caractérisation du collagène de *Holothuria algeriensis* de la côte de Mostaganem, Algérie

1. Analyse de la composition biochimique du tégument de *H. algeriensis*

Le taux d'humidité (Tableau 5) dans le tégument transformé en "bêche-de-mer" de *H. algeriensis* est de 86.26 ± 0.89 %, une valeur légèrement inférieure à celle du tégument frais de la même espèce, qui atteint 84 ± 1.29 .

Le séchage est une méthode clé pour réduire l'humidité des concombres de mer, augmentant ainsi leur durée de conservation et facilitant leur transport d'un endroit à un autre (Valerie *et al.*, 2014). La plupart des concombres de mer récoltés en Amérique du Nord sont exportés vers les pays asiatiques, où le séchage joue un rôle crucial en termes de stockage et de transport (Abul Hossain *et al.*, 2020). Traditionnellement, le séchage au soleil est le plus souvent utilisé pour contrôler les micro-organismes et éliminer l'eau du produit, ce qui inhibe la prolifération de bactéries et de champignons (Janjai *et al.*, 2021). Bien que les concombres de mer soient sensibles à la chaleur, une exposition maîtrisée à la lumière solaire incontrôlée ne compromet pas systématiquement leur qualité nutritionnelle (Purcell, 2014). Au contraire, cette méthode traditionnelle, si elle est correctement mise en œuvre, offre une solution durable pour préserver les propriétés nutritionnelles tout en prolongeant la durée de vie du produit.

La teneur élevée en cendres observée dans les "bêche-de-mer" peut être attribuée aux méthodes de transformation, telles que la cuisson à l'eau de mer et le salage au gros sel, qui contribuent à une augmentation significative de certains minéraux, notamment le sodium et le calcium. Nos résultats montrent que la teneur en cendres augmente de $38,33 \pm 1,24$ % chez les concombres de mer frais à $57,66 \pm 1,69$ % chez les "bêche-de-mer" (Tableau 5). Cette augmentation en minéraux est en accord avec les observations de Berger & Carbonneau (2014), qui expliquent que la pré-cuisson dans l'eau salée et le séchage des téguments favorisent une concentration accrue en sodium (1303,38 mg contre 30 mg avant cuisson) et en calcium (53,38 mg). Ces données confirment que les procédés de transformation non seulement prolongent la conservation, mais modifient également la composition minérale, augmentant ainsi la valeur nutritive du produit final.

La température et la durée de l'ébullition jouent un rôle crucial dans l'obtention d'un concombre de mer de bonne qualité, car elles influencent directement ses caractéristiques nutritionnelles et texturales. Ces paramètres doivent être ajustés en fonction de l'épaisseur et de la texture des différentes espèces. Cependant, des températures élevées, notamment supérieures à 100 °C, peuvent entraîner une réduction significative de la teneur en acides aminés (Dong *et al.*, 2018) et affecter la qualité nutritionnelle globale. Bien qu'une température élevée pendant le traitement ait entraîné l'hydrolyse de certains acides aminés, tels que la phénylalanine, la leucine, l'asparagine et la tyrosine, sont restés stables (Pan Gu *et al.*, 2022). Nos analyses ont également révélé une diminution notable de la teneur en lipides après transformation ; *H. algeriensis* frais contiennent $3,12 \pm 0,19$ % de lipides, contre $2,5 \pm 0,16$ % dans les "bêche-de-mer" (Tableau 5). Par ailleurs, selon les études de Dong *et al.*, (2011, 2018) indique que la fibre de collagène, composant clé de la structure du concombre de mer, est particulièrement sensible à la chaleur et se dénature à des températures comprises entre 60 et 100 °C. Ces résultats soulignent l'importance de contrôler précisément les conditions thermiques pour limiter les pertes nutritionnelles tout en préservant les propriétés fonctionnelles du produit.

L'étude rapportée par (Yin *et al.*, 2020) souligne que l'ébullition à haute température entraîne des pertes importantes de minéraux, de protéines, d'hydrates de carbone et de saponines dans les concombres de mer, avec des taux de réduction respectifs de 25 %, 11 %, 33 %, 41 % et 10 %. Nos observations corroborent ces résultats, montrant que l'exposition prolongée à 90 °C provoque une dénaturation significative des protéines, confirmée par une diminution notable de leur solubilité et de leur structure fonctionnelle. Nous avons constaté une différence dans la teneur en protéines entre *H. algeriensis* frais ($48,85 \pm 0,96$ %) et *H. algeriensis* transformés en "bêche-de-mer" ($47,86 \pm 2,78$ %) (Tableau 5), indiquant une réduction due au traitement thermique. Cette perte est attribuée à la rupture des liaisons hydrogène et des interactions hydrophobes dans les protéines sous l'effet de la chaleur. Ces modifications impactent non seulement la qualité nutritionnelle mais aussi les propriétés fonctionnelles des protéines.

La température influence considérablement la teneur en sucres des concombres de mer, avec une diminution de $0,19 \pm 0,009$ % dans l'état frais à $0,13 \pm 0,01$ % après transformation en "bêche-de-mer" (Tableau 5). Cette réduction est due à la dégradation thermique des sucres solubles, un phénomène souvent observé lors de procédés comme l'ébullition et le séchage. Bien que ces

traitements préviennent l'autolyse et stabilisent les compositions chimiques globales (Duan *et al.*, 2010; Venegas-Calero *et al.*, 2017 ; Ding *et al.*, 2018 ; Liu *et al.*, 2020).

Tableau 5: Composition approximative du tégument d'*Holothuria (H.) algeriensis*.

	<i>H. (H.) algeriensis</i>
Humidité (%)	84±1.29
Cendres (%)	38.33±1.24
Lipides (%)	3.12±0.19
Protéines(%)	48.85±0.96
Sucres totaux(%)	0.19± 0.009

2. Digestibilité du tégument d'*Holothuria (H.) algeriensis* par la pepsine

Les résultats de cette étude révèlent une digestibilité *in vitro* par la pepsine plus faible pour la bêche de mer ($45 \pm 2,16$ %) par rapport au produit frais ($51 \pm 2,94$ %), Cela suggère que *H. algeriensis* pourrait être plus facilement digéré que *H. poli* et *H. tubulosa* ($34,68 \pm 8,66\%$ et $25,96 \pm 2,04\%$, respectivement), mais reste légèrement en dessous de *P. regalis*, *H. arguinensis* et *H. sanctori* (46.96 ± 3.08 , 52.06 ± 0.91 et 53.29 ± 3.28 respectivement) (Mecheta et Mezali 2019 ; Khodja et Mezali 2022). Ces résultats étaient plus ou moins similaire à celle obtenue par Wen *et al.* (2015) pour les viandes couramment consommées (porc, poisson, poulet et bœuf) (Tableau 6), ce qui met en évidence l'impact des traitements thermiques sur les protéines. Zhang *et al.*, (2022), ont montré que des procédés comme l'ébullition à 100 °C pendant 45 minutes peuvent maximiser le rendement en protéines, mais entraînent également des modifications structurales, telles que la dénaturation ou l'aggrégation, réduisant l'accessibilité enzymatique. Par ailleurs, ces traitements à haute température peuvent diminuer la teneur en composés bioactifs, notamment les saponines, les sucres totaux et les minéraux, ce qui affecte indirectement la digestibilité.

Tableau 6: Digestibilité du tégument d'*Holothuria (H.) algeriensis* par la pepsine comparée aux autres espèces d'holothuries et aux viandes couramment consommées.

Espèces	Digestibilité (%)	Références
<i>H. algeriensis</i> (BDM)	45±2.16	Cette étude
<i>H. algeriensis</i> (fresh)	51±2.94	Cette étude
<i>P. regalis</i> (fresh)	46.96 ± 3.08	Khodja & Mezali (2022)
<i>H. sanctori</i> (fresh)	53.29±3.28	Mecheta & Mezali (2019)
<i>H. arguinensis</i> (fresh)	52.06±0.91	Mecheta & Mezali (2019)
<i>H. poli</i> (fresh)	34.68±1.02	Mecheta & Mezali (2019)
<i>H. tubulosa</i> (fresh)	25.96±2.04	Mecheta & Mezali (2019)
Porc	47.22	Wen <i>et al.</i> (2015)
Poisson	46.98	Wen <i>et al.</i> (2015)
Poulet	44.67	Wen <i>et al.</i> (2015)
Bœuf	42.75	Wen <i>et al.</i> (2015)

3. Activité antioxydante du collagène et de son hydrolysate issus de *Holothuria algeriensis*

L'activité antioxydante du collagène natif et de son hydrolysate pepsique extraits de l'espèce *Holothuria algeriensis* a été évaluée à l'aide du test au radical libre DPPH. Les pourcentages d'inhibition obtenus ont permis de déterminer les valeurs de CI₅₀ (concentration inhibitrice à 50%) pour chacun des extraits, telles que présentées dans le tableau 7.

Tableau 7: Valeurs d'IC₅₀ du collagène, de son hydrolysate et du Trolox (test DPPH).

Échantillon	IC ₅₀ (mg/mL)	Intervalle [min–max]	Inhibition max (%)
Collagène natif	13.38	13.11–13.65	≈ 72.5
Hydrolysate pepsique	10.47	10.30–10.64	≈ 81.2
Trolox (contrôle)	3.63	3.55–3.70	≈ 93.6

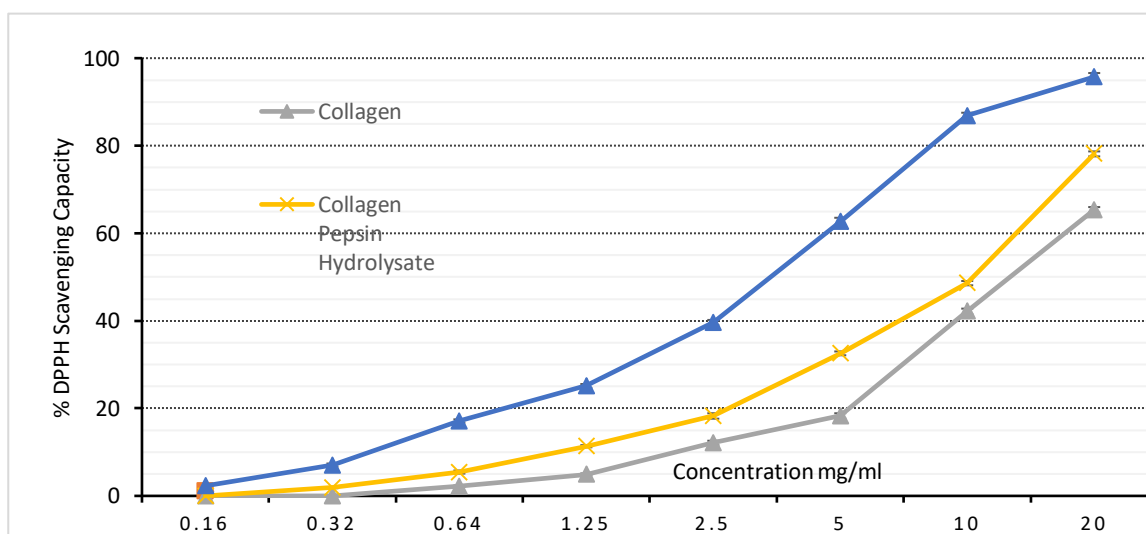


Figure 29: Courbe d'inhibition DPPH du collagène et de son hydrolysate enzymatique issus d'*Holothuria algeriensis*.

4. Discussion

Les résultats obtenus indiquent que l'hydrolysate pepsique du collagène présente une capacité antioxydante notablement plus élevée que celle du collagène natif, comme en témoigne la diminution de la valeur de CI₅₀ (10,47 mg/mL contre 13,38 mg/mL) (Figure 29). Cette amélioration peut être attribuée à la génération, lors de l'hydrolyse enzymatique, de peptides bioactifs de faible poids moléculaire, riches en acides aminés hydrophobes tels que la proline (Pro), la glycine (Gly)

et l'hydroxyproline (Hyp), connus pour leur efficacité dans la neutralisation des radicaux libres DPPH.

Ces observations concordent avec celles rapportées dans la littérature. Guo et al. (2020) ont montré que l'hydrolyse enzymatique du collagène marin provenant d'*Apostichopus japonicus* entraînait une augmentation significative de l'activité antioxydante *in vitro*. De même, Hossain et al. (2022) ont démontré que la dégradation enzymatique des protéines d'holothuries libère des peptides possédant un fort pouvoir piègeur de radicaux libres. Plus récemment, Wen et al. (2024) ont confirmé cette tendance à partir d'extraits protéiques d'holothuries, attribuant cette activité accrue à la présence d'acides aminés soufrés et aromatiques, capables de stabiliser les radicaux libres par transfert d'électrons ou d'hydrogène.

Conclusion et perspectives

Le présent travail avait pour but de contribuer à l'étude éco-biologique, biochimique et nutraceutique de six espèces d'holothuries de la côte ouest algérienne, encore peu étudiées, à savoir *Holothuria tubulosa*, *H. algeriensis*, *H. arguinensis*, *H. poli*, *H. sanctori* et *Parastichopus regalis*. Cette étude s'inscrit dans une approche multidisciplinaire intégrant la biologie marine, la chimie des biomolécules et les sciences alimentaires, visant à mettre en évidence leurs caractéristiques nutritionnelles, fonctionnelles et leur potentiel de valorisation.

Le premier volet de cette étude a mis en évidence des modifications notables de la composition biochimique des concombres de mer après leur transformation en "bêche-de-mer". Les résultats ont montré une forte diminution du taux d'humidité, conséquence directe du séchage, traduisant une concentration des constituants solides. Cette déshydratation s'est accompagnée d'une légère baisse de la digestibilité *in vitro*, probablement due aux modifications structurales des protéines provoquées par la cuisson et la salaison. En revanche, la teneur en protéines totales a augmenté de manière significative dans le produit sec, atteignant jusqu'à 69,5 %, confirmant l'enrichissement relatif en matières azotées. Les lipides, quant à eux, demeurent faibles (autour de 2 %), ce qui confirme le caractère hypolipidique des holothuries. Une légère hausse du taux de cendres a également été observée, traduisant une concentration en minéraux après la perte d'eau. En parallèle, la teneur en sucres a montré une diminution, probablement en raison de leur solubilisation partielle lors des étapes de lavage et de cuisson.

Les essais de dégustation réalisés auprès d'un échantillon de consommateurs de la région de Mostaganem ont révélé un engouement notable pour les plats préparés à base de concombre de mer, notamment le bourek, les saucisses et les boulettes, appréciés pour leur texture et leur goût proches de ceux des calamars et des poulets. L'intérêt croissant du consommateur algérien pour de nouvelles expériences gastronomiques met en évidence les perspectives prometteuses qu'offre cette ressource pour enrichir et valoriser le patrimoine halieutique national.

Le collagène extrait du tégument de *Holothuria algeriensis* a été isolé, hydrolysé, purifié et caractérisé. L'hydrolyse enzymatique a permis d'obtenir des fractions présentant une activité antioxydante élevée ($CI_{50} = 10,47$ mg/mL), mettant en évidence la présence de peptides bioactifs à fort potentiel nutraceutique, cosmétique et pharmaceutique. Ces résultats confirment que *H.*

algeriensis constitue une ressource marine prometteuse pour le développement de biomolécules fonctionnelles à haute valeur ajoutée et pour la valorisation durable des produits dérivés des holothuries.

Néanmoins, la surexploitation croissante et le commerce illégal des holothuries sur la côte algérienne menacent la pérennité de leurs populations naturelles. Dans ce contexte, la mise en place de mesures de gestion durable, associées à des projets d'aquaculture multitrophique intégrée, s'impose comme une nécessité pour assurer la conservation de cette ressource tout en favorisant son exploitation rationnelle.

Cette thèse a été réalisée dans le but d'apporter des éléments de réponse à la connaissance des holothuries de la côte algérienne, tout en explorant leurs potentialités de valorisation à travers une approche intégrée combinant aspects biochimiques, alimentaires et biotechnologiques. Les travaux menés ont permis d'évaluer la composition nutritionnelle, la digestibilité et les propriétés fonctionnelles du tégument frais et transformé, ainsi que d'isoler et de caractériser le collagène de *Holothuria algeriensis*.

À son terme, cette étude ouvre plusieurs perspectives de recherche et de développement, notamment :

1. L'intégration culinaire des concombres de mer dans la gastronomie algérienne, à travers la création de recettes traditionnelles revisitées et adaptées aux goûts locaux, afin de favoriser leur acceptation et leur valorisation alimentaire.

L'évaluation sensorielle et nutritionnelle des produits dérivés de la "bêche-de-mer", en vue d'optimiser leur qualité organoleptique et de promouvoir leur consommation durable au sein du marché national.

2. La valorisation biochimique et biotechnologique du collagène de *Holothuria algeriensis* par la caractérisation approfondie de ses peptides bioactifs et l'exploration de leurs propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et cicatrisantes.
3. Le développement d'applications industrielles dans les domaines cosmétique et pharmaceutique, notamment pour la formulation de produits à base de collagène marin à haute valeur ajoutée.
4. La gestion durable et la protection des ressources naturelles, à travers des études écobioécologiques, la mise en place d'initiatives d'aquaculture et la sensibilisation des communautés côtières à une exploitation raisonnée des holothuries.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. Abdel Razek, F. A., Abdel Rahman, S. H., & Mahmoud, M. A. (2007). Asexual reproduction by transverse fission in the sea cucumber *Holothuria atra* (Echinodermata: Holothuroidea). *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 33(1), 246–260.
2. Abdul Aziz, A., Low, K. L., et Maidin, N. (2011). Wound healing properties of *Stichopus hermanii* extract gel on rats. *Journal of Health and Translational Medicine*, 14(2) : 1–6.
3. Abul Hossain, D. Dave & F. Shahidi (2020) : “*Northern Sea Cucumber (Cucumaria frondosa): A Potential Candidate for Functional Food, Nutraceutical, and Pharmaceutical Sector*”, *Marine Drugs*, 18(5), 274.
4. Adler-Nissen, J. (1986). Méthodes d’hydrolyse enzymatique des protéines alimentaires. Dans : *Enzymatic Hydrolysis of Food Proteins*, Elsevier Applied Science Publishers, New York, pp. 110–130.
5. Ahmed M.I., (2009). Morphological, Ecological and Molecular examination of the sea cucumber species along the Red Sea Coast of Egypt and Gulf of Aqaba, with the investigation of the possibility of using DNA barcoding technique as a standard method for Sea cucumber ID. PhDThesis. The University of Hull, 258 pp.
6. Akamine, J. (2013). *Sea cucumber trade in Asia: A changing scene*. In: *FAO Workshop on Sea Cucumber Fisheries and Trade in Asia-Pacific Region*. FAO Fisheries Technical Paper No. 516.
7. Akamine, J. (2015). *High-value seafood commodities and trade dynamics in East Asia*. *Marine Policy*, 61, 10–18.
8. Akamine, J. (2024). The McDonaldization of the sea cucumber: Changes in foodways of an ancient delicacy in Northeastern Asia. In A. Mercier, J.F. Hamel, A. Suhrbier & C. Pearce (Eds.), *The World of Sea Cucumbers: Challenges, Advances, and Innovations* (pp. 51-63). London : Academic Press.. Purcell & C. Conand (Eds.), Academic Press, Elsevier.
9. Altenburger, K., Bandesha, F., Bronstein, O., Ducarme, F., Forstner, M., Grun, T. B., Krapf, A., Kroh, A., Martínez-Melo, A., Miskelly, A., Mongiardino Koch, N., Mooi, R., Saucède, T., Steger, J., & Ziegler, A. (2023). World Echinoidea Database. In O. Bánki, Y. Roskov, M. Döring, G. Ower, L. Vandepitte, D. Hobern, D. Remsen, P. Schalk, R. E. DeWalt, M. Keping, J. Miller, T. Orrell, R. Aalbu, J. Abbott, R. Adlard, E. M. Adriaenssens, C. Aedo, E. Aesch, N. Akkari, et al., *Catalogue of Life Checklist* (ver. (01/2023)). <https://doi.org/10.48580/dfqt-3c6>

Références bibliographiques

10. Althunibat, O. Y., Hashim, R. B., Taher, M., Daud, J. M., Ikeda, M. A., & Zali, B. I. (2009). *In vitro* antioxidant and antiproliferative activities of three Malaysian sea cucumber species. *European Journal of Scientific Research*, 37(3), 376–387.
11. Ameye, L., De Becker, G., Killian, C., Wilt, F., & Dubois, P. (2001). Proteins involved in the formation of the sea urchin skeleton: Spicule matrix protein PM27 and related proteins. *Matrix Biology*, 20(8), 589–596.
12. Amon, R. M. W., & Herndl, G. J. (1991). Deposit-feeding and sediment bioturbation by *Holothuria tubulosa* (Holothuroidea, Echinodermata) in the Northern Adriatic Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 77, 251–263.
13. Anderson, S. C., Flemming, J. M., Watson, R., & Lotze, H. K. (2011). *Serial exploitation of global sea cucumber fisheries*. *Fish and Fisheries*, 12(3), 317–339.
14. Aprianto, R., Sari, A. N., & Suryadi, E. (2019). *Traditional processing techniques of sea cucumber in Indonesia*. *Indonesian Journal of Marine Sciences*, 24(1), 15–26.
15. Arnold P.P., Birtles R., (1989). Soft-sediment marine invertebrates of Southeast Asia and Australia: A Guide to Identification. Australian Institute of Marine Science (AIMS).
16. Arnold, D. C. (1953). Observations on *Carapus acus* (Brünnich), a commensal in *Holothuria forskali*. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 123(2), 311–325.
17. Atkinson, L. J., Filippi, J. B., & James, R. (2018). Predators of sea cucumbers: An overview of trophic interactions in benthic food webs. *Marine Biodiversity Records*, 11(4), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s12526-018-0862-9>
18. Aydın, M. (2017). Current status of the sea cucumber fishery in Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17(5), 1201–1206.
19. Aydın, M. (2018). Biométrie, densité et biomasse de la population commerciale de concombres de mer de la mer Égée. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19(6) : 463–474.
20. Aydın, M., Sevgili, H., Tufan, B., Emre, Y. et Köse, S. (2011). Composition chimique approximative et profil en acides gras de trois concombres de mer commerciaux frais et séchés de Turquie. *International Journal of Food Science and Technology*, 46 : 500–508. DOI : 10.1111/j.1365-2621.2010.02512.x
21. Baine, M., & Choo, P. S. (1999). *Sea cucumber fisheries and trade in Malaysia*. *Naga, The ICLARM Quarterly*, 22(4), 4–8.
22. Bakus, G. J. (1973). The biology and ecology of tropical holothurians. In O. A. Jones & R. Endean (Eds.), *Biology and Geology of Coral Reefs* (Vol. 2, pp. 325–367). Academic Press, New York.

Références bibliographiques

23. Barzkar, N., Heidari, A., & Nabipour, I. (2024). Extraction, characterization, and functional properties of collagen and gelatin derived from sea cucumbers (*Stichopus horrens* and *Holothuria arenicola*). *Marine Biotechnology*, 26(3), 221–235.
24. Bayoğullari, E., & Tolon, T. (2021). Growth performance of *Holothuria tubulosa* (Gmelin, 1791) in integrated aquaculture systems. *Aquaculture Reports*, 20, 100737.
25. Belbachir, F., & Mezali, K. (2018). Écologie alimentaire de *Holothuria (Platyperona) sanctori* (Delle Chiaje, 1823) dans la région de Mostaganem (Algérie occidentale). *Marine Life*, 18(1–2), 21–32.
26. Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (4th ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
27. Belkacem, N. E. et Mezali, K. (2022). Valorisation culinaire des concombres de mer de la côte ouest algérienne. *SPC Bêche-de-mer Information Bulletin*, 42 : 73–78.
28. Benjakul, S. & Sutthipan, N. (2009). Comparative study on characteristics of muscle proteins from different marine species. *Food Chemistry*, 113(3), 918–924.
29. Berger, K. et Carbonneau, M. É. (2014). Valeur nutritionnelle du concombre de mer *Cucumaria frondosa*. *Merinov, Rapport de recherche et développement*, Canada, pp. 5–6.
30. Blackburn, S. (1978). *Amino Acid Determination: Methods and Techniques*. New York: Marcel Dekker.
31. Blackburn, S. (1983). Hydrolysis of proteins and peptides. In *Methods in Enzymology* (Vol. 91, pp. 9–21). Academic Press.
32. Bonham, K., & Held, E. E. (1963). Ecological observations on the sea cucumber *Holothuria atra* Jäger at Eniwetok Atoll, Marshall Islands. *Pacific Science*, 17(3), 305–314.
33. Bonneel, M., Gentry, R. R., Troell, M., & Chopin, T. (2024). Integrated multi-trophic aquaculture: Advances, challenges, and sustainability prospects. *Reviews in Aquaculture*, 16(1), 55–72.
34. Bordbar, S., Anwar, F. et Saari, N. (2011). Composants à haute valeur ajoutée et bioactifs extraits des concombres de mer pour les aliments fonctionnels – une revue. *Marine Drugs*, 9 : 1761–1805. DOI : 10.3390/md9101761
35. Brooks, E. R., & Wessel, G. M. (2002). The major yolk protein in sea urchins is a transferrin-like, iron-binding protein. *Developmental Biology*, 245(2), 293–304.
36. Broszeit S., Davenport J., McAllen R., (2010). First documented record of *Rhabdomolgus ruber* (Echinodermata: Holothuridea) in Irish waters. *Marine Biodiversity Records*, 3.

Références bibliographiques

37. Bruckner, A. W., Johnson, K. A., & Field, J. D. (2003). *Conservation strategies for sea cucumbers: Can a CITES listing promote sustainable international trade? Beche-de-mer Information Bulletin*, 18, 24–33.
38. Bruckner, A. W., Johnson, K., & Field, J. D. (2003). Conservation strategies for sea cucumbers: Can a CITES listing promote sustainable international trade? *Marine Conservation Biology Institute Report*, Silver Spring, MD.
39. Butterfield, D.A., Castegna, A., Pocernich, C.B. & Drake, J. (2002). Evidence that amyloid beta-peptide-induced lipid peroxidation and its sequelae in Alzheimer's disease brain contribute to neuronal death. *Neurobiology of Aging*, 23(5), 655–664.
40. Cadar O. et al., 2024. Marine collagen peptides: extraction and antioxidant activity. *Frontiers in Marine Science*, 11:145678.
41. Çaklı Şen, M., Çaklı, Ş., & Boran, M. (2023). Isolation and characterization of type I collagen from the sea urchin *Diadema setosum*: Structural and thermal properties. *Marine Drugs*, 21(5), 276.
42. Çaklı, Ş., Cadun, A., Kışla, D., & Dincer, T. (2004). *A study of marination of sea cucumber (Holothuria tubulosa, Gmelin, 1791). Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 28(5), 977–982.
43. Campbell, N.A. & Reece, J.B. (2002). *Biologie*. 6^e édition. Paris: Pearson Éducation.
44. Capinpin Jr, E. C., Toledo, J. D., & Encena, V. C. (2020). Integration of sandfish (*Holothuria scabra*) in mariculture systems in the Philippines: Growth, survival, and sediment quality. *Aquaculture Research*, 51(4), 1641–1653.
45. Caulier, G., Flammang, P., Gerbaux, P., & Eeckhaut, I. (2011). *When marine biologists meet chemists: The triterpene glycosides from sea cucumbers. Marine Drugs*, 9(10), 1664–1691.
46. 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, 119–127.
<https://doi.org/10.1016/j.bse.2016.06.005>
47. Chatzivasileiou, D., Papageorgiou, N., Dimitriou, P. D. & Karakassis, I. (2019). Use of holothurians in integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). 17th Hellenic Conference of Ichthyologists, 261–264.
48. Chemache, L., Kehal, F., Namoune, H., Chaalala, M. et Gagaoua, M. (2018). Le couscous : préparation ethnique et modes de consommation dans le nord-est de l'Algérie. *Journal of Ethnic Foods*, 5 : 211–219.

Références bibliographiques

49. Chen, C., Gao, Q., & Li, D. (2021). Predation behavior of the crab *Pugettia ferox* on juvenile sea cucumbers *Apostichopus japonicus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 540, 151544.
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2021.151544>
50. Chen, J. (2003). Aperçu des pratiques d'élevage et d'ensemencement des concombres de mer en Chine. *SPC Bêche-de-mer Information Bulletin*, 18 : 18–23.
51. Chen, J. (2004). Present status and prospects of sea cucumber industry in China. In A. Lovatelli, C. Conand, S. Purcell, S. Uthicke, J.-F. Hamel & A. Mercier (Eds.), *Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management* (FAO Fisheries Technical Paper No. 463, pp. 25–38). FAO.
52. Chopin, T., Buschmann, A. H., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., ... & Yarish, C. (2001). Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: A key towards sustainability. *Journal of Phycology*, 37(6), 975–986.
53. Christie, W. W. (1982). *Analyse des lipides : Isolement, séparation, identification et analyse structurale des lipides*. Pergamon Press, 207 p.
54. Clark A. M., Rowe F.W.E., (1971). Monograph of Shallow-Water Indo-West Pacific Echinoderms. British Museum Press, Britain, 237 pp.
55. Clark H.L., (1922). Holothurians of the genus Stichopus. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College, 65:39–74.
56. Clemente, A., Vioque, J., Sánchez-Vioque, R., Pedroche, J. & Millán, F. (1999). Protein quality effect of physicochemical properties of protein hydrolysates from chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Food Science*, 64(5), 849–853.
57. Collin, P. D. (1998). Sea cucumber saponins and their anti-inflammatory properties. *Journal of Ethnopharmacology*, 60 : 3–10.
58. Conand C., (1990). Part 2: Holothurians: The fishery resources of Pacific island countries. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 272(2):1-143.
59. Conand, C. (1993). *Reproductive biology of the holothurian Holothuria atra (Echinodermata: Holothuroidea) on the La Réunion Island coral reef*. *Marine Biology*, 116, 439–450.
60. Conand, C. (1995). Asexual reproduction by fission in *Holothuria atra*: variability of some parameters in populations from the tropical Indo-Pacific. *Oceanologica Acta*, 18(3), 271–278.
61. Conand, C. (2004). Present status of world sea cucumber resources and utilization: An international overview. In *Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management* (FAO Fisheries Technical Paper No. 463, pp. 13–23). FAO.
62. Conand, C. (2006). *Sea cucumber biology, taxonomy, and exploitation in the tropical Indo-Pacific*. In Bruckner, A. (Ed.), *The Proceedings of the CITES Workshop on the Conservation*

Références bibliographiques

- of Sea Cucumbers in the Families Holothuriidae and Stichopodidae* (pp. 33–49). NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-34.
63. Conand, C., Polidoro, B. A., Purcell, S. W., Gamboa, R. U., Hamel, J.-F., & Mercier, A. (2014). The IUCN Red List assessment of aspidochirotid sea cucumbers and its implications. *PLOS ONE*, 9(9), e107315.
 64. Cranford, P. J., Reid, G. K., Robinson, S. M. C., Hargrave, B. T., & Guyondet, T. (2013). Ecosystem-level assessment of the environmental effects of integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Aquaculture Environment Interactions*, 4(3), 285–301.
 65. Cutress, B. M. (1996). *Echinoderm sclerites: Their morphology and function*. In Jangoux, M. & Lawrence, J. M. (Eds.), *Echinoderm Studies* 5 (pp. 85–123). Balkema, Rotterdam.
 66. Dai, Y. (2003). *Traditional sea cucumber dishes in Chinese cuisine*. *Asian Journal of Gastronomy*, 12(2), 56–64.
 67. Dolmatov, I. Y. (2014). Asexual reproduction in holothurians: Mechanisms, regulation and evolution. *Russian Journal of Marine Biology*, 40(6), 401–414. <https://doi.org/10.1134/S1063074014060043>
 68. Dolmatov, I. Y., Eliseikina, M. G., Bulgakov, A. A., Ginanova, T. T., & Lamash, N. E. (2012). Regeneration of digestive system in holothurians. *Microscopy Research and Technique*, 75(9), 1239–1252. <https://doi.org/10.1002/jemt.22060>
 69. Domínguez-Godino, J. A., & González-Wangüemert, M. (2019). The potential of *Holothuria forskali* for aquaculture and stock restoration in the Mediterranean. *Aquaculture Research*, 50(2), 463–473.
 70. Dong, X., Wang, J. et Raghavan, V. (2021). Impact du traitement par micro-ondes sur la structure secondaire, la digestibilité protéique *in vitro* et l'allergénicité des protéines de crevette (*Litopenaeus vannamei*). *Food Chemistry*, 337 : 1–10. DOI : 10.1016/j.foodchem.2020.127811
 71. Eeckhaut, I., Jangoux, M., & Flammang, P. (2004). Echinoderm symbioses: A review of known species. In *Symbiosis* (Vol. 37, pp. 1–25). Springer.
 72. Eeckhaut, I., Parmentier, E., Becker, P., & Mercier, A. (2015). Commensal and parasitic associations. In *The Sea Cucumber: A Holothurian Compendium* (pp. 191–212). Elsevier.
 73. Elakkermi, S., Mezali, K., & Soualili, D. (2021). Composition du sédiment et comportement alimentaire de *Holothuria tubulosa* et *H. poli* dans la baie de Mostaganem (Algérie). *African Journal of Marine Science*, 43(2), 175–185.
 74. El-Beltagy A. et al., 2021. Collagen hydrolysates from marine sources: antioxidant properties. *Journal of Food Biochemistry*, 45(12): e13987.

Références bibliographiques

75. Emson, R. H., & Wilkie, I. C. (1980). Fission and autotomy in echinoderms. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 18, 155–250.
76. Escudero, E., Sentandreu, M. A. et Toldrá, F. (2010). Caractérisation des peptides libérés lors de la digestion in vitro de la viande de porc. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 : 5160–5165. DOI : 10.1021/jf904535m
77. et al., Catalogue of Life Checklist (ver. (01/2023)). <https://doi.org/10.48580/dfqj-39k>
78. Fankboner, P. V. (1978). Suspension feeding in apodid sea cucumbers. *Canadian Journal of Zoology*, 56, 991–996.
79. Fawzya, Y. N., Januar, H. I., Susilowati, R. et Chasanah, E. (2015). Composition chimique et profil en acides gras de quelques concombres de mer indonésiens. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 10 : 27–34. DOI : 10.15578/squalen.v10i1.118
80. Felaco, M. (2024). *Observations sur la reproduction et le développement de Holothuria floridana*. *Journal of Marine Biology and Aquaculture*, 12(3), 145–162.
81. Felaco, M., Slater, M. J., & Marrs, S. J. (2024). Sustainable aquaculture of sea cucumbers: Innovations in reproduction, nursery, and grow-out systems. *Aquaculture Reviews*, 46(2), 210–229.
82. Féral, J.-P., & Massin, C. (1982). Observations sur l'anatomie et la biologie de quelques holothuries de la mer Rouge et de l'océan Indien. *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle, Section A, Zoologie Biologie et Écologie Animales*, 4(3), 567–588.
83. Flammang P., Conand C., (2004). Functional morphology of the tentacles in the apodid holothuroid *Synapta maculata*. In *Echinoderms: München (Proceedings of the 11th International Echinoderm Conference, Munich, Germany)*, 327-333 pp.
84. Florkin, M. & Schoffeniels, E. (1969). *Molecular Approaches to Ecology*. 2nd ed., Academic Press, New York/London. [Google Livres+2SpringerLink+2](#)
85. Folch, J., Lees, M. R. et Stanley, G. H. (1957). Méthode simple pour l'isolement et la purification des lipides totaux à partir de tissus animaux. *Journal of Biological Chemistry*, 226 : 497–509. DOI : 10.1016/S0021-9258(18)64849-5
86. Fountoulakis, M. & Lahm, H.-W. (1998). Hydrolysis and amino acid composition analysis of proteins. *Journal of Chromatography A*, 826(2), 109–134.
87. Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M. & Guinee, T.P. (1982). *Biochemistry of Cheese Ripening*. London: Elsevier Applied Science.
88. Francour, P. (1989). The feeding behavior of *Holothuria tubulosa* (Echinodermata: Holothuroidea): Importance in the sediment reworking processes. *Marine Biology*, 102(4), 541–545.

Références bibliographiques

89. Francour, P. (1997). Predation on holothurians: A review of predator-prey relationships in the Mediterranean. *Marine Ecology*, 18(1), 85–98.
90. Fredalina, B. D., Ridzwan, H., Abidin, A. A. Z., Kaswandi, M. A., Zaiton, H., Zali, I., Kittakoop, P., et Jais, A. M. M. (1999). Fatty acid compositions in local sea cucumber, *Stichopus chloronotus*, for wound healing. *General Pharmacology*, 33(4) : 337–340. DOI : 10.1016/S0306-3623(98)00234-5.
91. Gamboa, R. (2021). *Culinary uses of sea cucumbers in Pacific Island nations*. *Pacific Food Journal*, 7(1), 42–54.
92. Gamboa, R. (2024). *Culinary diversity of sea cucumbers in Southeast Asia and the Pacific*. In *The World of Sea Cucumbers: Challenges, Advances, and Innovations* (2nd ed.). Academic Press.
93. Gildberg, A. (1993). Enzymatic hydrolysis of fish proteins for recovery of peptides, lipids and minerals from industrial fish by-products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 63(1), 39–48.
94. Gilliland, P. M. (1993). The role of echinoderms in benthic systems. In *Echinoderm Research 1991* (pp. 1–14). A.A. Balkema, Rotterdam.
95. Giomar Helena Borrero-Pérez, González-Wangüemert, M., Pérez-Ruzafa, A., & Marcos, C. (2009). The taxonomic status of some Atlanto-Mediterranean species in the subgenus *Holothuria* (Echinodermata: Holothuroidea: Holothuriidae) based on molecular evidence. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 157(1), 51-69.
96. González-Wangüemert, M., Aydin, M., & Conand, C. (2014). Assessment of sea cucumber populations from the Aegean Sea (Turkey): First insights to sustainable management. *Ocean & Coastal Management*, 92, 87–94.
97. Goulet de Rugy, A. (2020). Le marché de l’holothurie en France : état des lieux et pistes de développement. *Sciences du vivant [q-bio]*, 72 p. [En ligne] : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02969147>
98. Guérard, F. (2010). *Enzymatic methods for marine by-products recovery: Value-added molecules from fishery wastes*. *Marine Drugs*, 8(4), 1032–1048.
99. Guille, A., Laboute, P. & Menou, J.-L. (1986). *Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle-Calédonie*. ORSTOM, Coll. Faune tropicale, Paris. [SpringerLink+2ResearchGate+2](#)
100. Guo X. et al., 2020. Antioxidant activity of collagen peptides from *Apostichopus japonicus*. *Food Chemistry*, 331, 127–136.

Références bibliographiques

101. Haider, M. S., Sultana, R., Jamil, K., Tarar, O. M. et Afzal, W. (2015). Étude de la composition chimique approximative, du profil en acides aminés, du profil en acides gras et de la teneur en minéraux de deux espèces de concombres de mer. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 25 : 168–175.
102. Halun, Z. (2024). *Traditional sea cucumber dishes and preparation techniques in Indonesia and Malaysia*. *Journal of Ethnogastronomy*, 8(2), 215–232.
103. Hamel, J. F., Mercier, A., & Purcell, S. (2024). Ecological functions and nutritional valorization of sea cucumbers. In S. Purcell, A. Mercier, & C. Conand (Eds.), *The World of Sea Cucumbers: Challenges, Advances, and Innovations* (2nd ed., pp. 173–196). Elsevier Academic Press.
104. Hamel, J.-F. (2020). *Consumption and processing practices of sea cucumbers in Southeast Asia*. In *Sea Cucumber Biology and Conservation*.
105. Hamel, J.-F., & Mercier, A. (1996). Early development, settlement, growth, and spatial distribution of the sea cucumber *Cucumaria frondosa* (Echinodermata: Holothuroidea). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53, 253–271.
106. Hamel, J.-F., & Mercier, A. (2008). *Population structure and resource management of tropical sea cucumbers*. *Canadian Journal of Zoology*, 86(9), 1153–1169.
107. Hamel, J.-F., Himmelman, J. H., & Dufresne, L. (1993). Gametogenesis and spawning of the sea cucumber *Psolus fabricii* (Duben and Koren). *Biological Bulletin*, 184, 125–143.
108. Hamel, J.-F., Mercier, A., & Purcell, S. (2024). *Global sea cucumber aquaculture: Innovations and challenges*. In *The World of Sea Cucumbers* (2nd ed.). Academic Press.
109. Hamel, J.-F., Pawson, D. L., & Mercier, A. (1999). The sea cucumber *Holothuria scabra* (Echinodermata: Holothuroidea): Its biology and exploitation as beche-de-mer. *Advances in Marine Biology*, 37, 1–90.
110. Hampton, C. M. (1958). *The skeletal structures of holothurians*. *Biological Bulletin*, 115, 49–67.
111. Harms, J. (2012). *Pelagic and benthopelagic sea cucumbers: Adaptations to the deep sea*. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 92, 111–119.
112. Harnedy, P.A. & FitzGerald, R.J. (2012). Bioactive peptides from marine processing waste and shellfish: A review. *Journal of Functional Foods*, 4(1), 6–24.
113. Hawa, M., Ridzwan, B. H., & Hassan, S. (1999). *Screening for antibacterial activity in extracts of some sea cucumber species from coastal areas of Malaysia*. *Asia Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology*, 7(1), 43–46.

Références bibliographiques

114. Hettiarachchy, N.S., Glenn, K.C., Gnanasambandam, R. & Johnson, M.G. (1996). Natural antioxidant extracts from fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) for ground beef patties. *Journal of Food Science*, 61(3), 516–519.
115. Hirs, C.H.W., Stein, W.H. & Moore, S. (1954). The chromatography of amino acids on ion exchange resins. *Journal of Biological Chemistry*, 211(2), 941–950.
116. Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., ... & Hatziolos, M. E. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857), 1737–1742.
117. Hossain M. et al., 2022. Antioxidant potential of sea cucumber extracts. *Marine Drugs*, 20(8): 489.
118. Hossain, M., Gopinath, S. C. B., & Rahman, M. A. (2020). *Marine natural products: Therapeutic perspectives of sea cucumber bioactives*. *Frontiers in Pharmacology*, 11, 633.
119. Hu, C. (2005). *Functional foods derived from marine resources: Status and prospects*. *Food Research International*, 38(2), 123–130.
120. Hyman, L. H. (1955). *The Invertebrates: Echinodermata (Vol. 4)*. McGraw-Hill Book Company, New York.
121. Hyman, L. H. (1955). *The Invertebrates: Echinodermata. The Coelomate Bilateria*, Vol. IV. McGraw-Hill Book Company, New York.
122. Jangoux, M. (1990). Diseases of Echinodermata. III. Agents metazoans (Annelida to Pisces). *Diseases of Aquatic Organisms*, 9, 1–23.
123. Jangoux, M., & Lawrence, J. M. (1982). *Echinoderm Nutrition*. A. A. Balkema, Rotterdam.
124. Jena, J. K., Das, P. C., Das, B. K., & Mohapatra, B. C. (2017). Integrated multi-trophic aquaculture systems: Ecological and economic perspectives. *Aquaculture International*, 25(3), 1209–1224.
125. Jørgensen, C. B. (1966). *Biology of suspension feeding*. Pergamon Press, Oxford.
126. Kamyab, E., Kellermann, M. Y., Kunzmann, A. & Schupp, P. J. (2020). Chemical Biodiversity and Bioactivities of Saponins in Echinodermata with an Emphasis on Sea Cucumbers (Holothuroidea). In S. Jungblut et al. (Eds.), *YOUMARES 9 - The Oceans: Our Research, Our Future*. (pp. 121–157). https://doi.org/10.1007/978-3-030-20389-4_7
127. 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(1):53–60.
128. Khodja, I. et Mezali, K. (2022). Composition chimique approximative et digestibilité in vivo du tégument de *Parastichopus regalis* (Cuvier, 1817) récolté dans la région de

Références bibliographiques

- Mostaganem en Méditerranée occidentale. *SPC Bêche-de-mer Information Bulletin*, 42 : 79–84.
129. Khodja, I., Mezali, K. et Thandar, A. S. (2021). Multiples enregistrements et polymorphisme de *Parastichopus regalis* (Cuvier, 1817) (Echinodermata : Holothuroidea : Stichopodidae) le long de la côte algérienne. *Zootaxa*, 5032 : 549–562. DOI : 10.11646/zootaxa.5032.4.5
 130. Khotimchenko, Y. (2015). *Lipids and fatty acids of sea cucumbers (Holothuroidea): Composition, distribution and biological properties*. *Marine Drugs*, 13(12), 695–712.
 131. Kiew, P. L. et Don, M. M. (2012). Jewel of the seabed: Sea cucumbers as nutritional and drug candidates. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 63(5) : 616–636. DOI : 10.3109/09637486.2011.636145.
 132. Kim, S.-K. & Wijesekara, I. (2010). Development and biological activities of marine-derived bioactive peptides: A review. *Journal of Functional Foods*, 2(1), 1–9.
 133. Kim, Y.M. & Lidstrom, M.E. (1989). Purification and properties of hydroxypyruvate reductase from *Methylobacterium extorquens* AM1. *Journal of Bacteriology*, 171(12), 6626–6632.
 134. Kindsella, J.E. (1979). Functional properties of proteins in foods: A survey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 7(3), 219–280.
 135. Kleypas, J. A., Buddemeier, R. W., Archer, D., Gattuso, J.-P., Langdon, C., & Opdyke, B. N. (1999). Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. *Science*, 284(5411), 118–120.
 136. Kodama, M., Yamamuro, M., & Hayashi, M. (2015). Reduction of organic matter in sediment by the deposit feeder *Holothuria scabra*. *Aquaculture Research*, 46(7), 1629–1638.
 137. Koehler, R. (1921). *Echinodermes: Holothuries, Échinides et Astéries recueillis par le "Pourquoi-Pas?" dans l'Atlantique Nord en 1913*. Masson et Cie, Paris.
 138. Kolodziejska, I., Sikorski, Z. E., & Burt, J. R. (1987). Collagen from squid mantle and its susceptibility to proteolysis. *Journal of Food Science*, 52(4), 932–935.
 139. Kristinsson, H.G. & Rasco, B.A. (2000). Biochemical and functional properties of Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle proteins hydrolyzed with various alkaline proteases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(3), 657–666.
 140. Künili, İ. (2022). Determination of collagen ratio in *Holothuria tubulosa* and *Holothuria poli* collected from the Aegean Sea. *Marine Science and Technology Bulletin*, 11(3) : 289–295. DOI : 10.33714/masteb.1130356.

141. Künili, İ. et Çolakoğlu, F. A. (2018). Investigation of antioxidant and antimicrobial activities of *Holothuria tubulosa* (Gmelin, 1791). *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 4(1) : 1–9.
142. Künili, İ. et Çolakoğlu, F. A. (2019). Determination of amino acid and fatty acid composition of *Holothuria tubulosa* (Gmelin, 1791) in the Dardanelles. *Marine Science and Technology Bulletin*, 8(1) : 1–8.
143. Lambert, P. (1997). *Echinodermata: Biology, Ecology, and Fossil Record*. Paris: Presses Universitaires.
144. Lavitra, T., Rasolofonirina, R., & Eeckhaut, I. (2008). *Processing methods of sea cucumbers in Madagascar*. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 7(2), 219–228.
145. Liao, Y. (1997). *Traditional uses of sea cucumbers in East Asia*. *Asian Marine Biology Review*, 4(1), 23–37.
146. Lohrer, A. M., Thrush, S. F., & Gibbs, M. M. (2004). Bioturbators enhance ecosystem function through complex biogeochemical interactions. *Nature*, 431(7012), 1092–1095.
147. Lü, J.-M., Lin, P.H., Yao, Q. & Chen, C. (2010). Chemical and molecular mechanisms of antioxidants: Experimental approaches and model systems. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 14(4), 840–860.
148. Lullo, G., Sini, P. & Basso, N. (2002). *Collagen: Structure, Function and Biomedical Applications*. New York: Springer.
149. MacTavish, T., Stenton-Dozey, J., Vopel, K., & Savage, C. (2012). Deposit-feeding sea cucumbers enhance mineralization and nutrient cycling in organically-enriched coastal sediments. *PLoS ONE*, 7(11), e50031.
150. Mah, C. (2023). World Asteroidea Database. In O. Bánki, Y. Roskov, M. Döring, G. Ower, L. Vandepitte, D. Hobern, D. Rensen, P. Schalk, R. E. DeWalt, M. Keping, J. Miller, T. Orrell, R. Aalbu, J. Abbott, R. Adlard, E. M. Adriaenssens, C. Aedo, E. Aescht, N. Akkari, et al., *Catalogue of Life Checklist* (ver. (01/2023)). <https://doi.org/10.48580/dfqz-3bs>
151. Man, L. (2003). *Gastronomic and medicinal aspects of sea cucumber consumption in Asia*. *Asian Journal of Nutrition and Food Science*, 9(2), 101–113.
152. Mangion, P., Muthiga, N., & Kimani, E. (2004). Nutrient regeneration by the sea cucumber *Holothuria leucospilota* (Echinodermata: Holothuroidea) in a Kenyan coral reef lagoon. *Marine Ecology Progress Series*, 283, 165–173.
153. Massin C., Rasolofonirina R., Conand C., Samyn Y., (1999). A new species of *Bohadschia* (Echinodermata, Holothuroidea) from the Western Indian Ocean with a redescription of Bo-

Références bibliographiques

- hadschia subrubra. Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, 69:151–160.
154. Massin, C. (1982). Food & feeding mechanisms : Holothuroidea. In M. Jangoux & J. M. Lawrence (Eds.), Echinoderm nutrition (pp. 43–56).
155. McIntyre, J.O. & Stark, G.R. (1988). Hydrolysis of proteins and peptides with alkali. *Methods in Enzymology*, 91, 25–41.
156. Mecheta, A. et Mezali, K. (2019). Étude biométrique pour déterminer la valeur économique et nutritionnelle des concombres de mer (*Holothuroidea : Echinodermata*) collectés dans les zones côtières peu profondes d'Algérie. *SPC Bêche-de-mer Information Bulletin*, 39 : 65–70.
157. Mecheta, A., Hanachi, A., Jeandel, C., Arab-Tehrany, E., Bianchi, A., Velot, E., Mezali, K. et Linder, M. (2020). Propriétés physicochimiques et formulations liposomales des fractions d'hydrolysats de quatre espèces de concombres de mer (*Holothuroidea : Echinodermata*) de la côte nord-ouest de l'Algérie. *Molecules*, 25 : 1–24. DOI : 10.3390/molecules25132972
158. Mendis, E., Rajapakse, N. & Kim, S.-K. (2005). Antioxidant properties of a radical-scavenging peptide purified from enzymatically prepared fish skin gelatin hydrolysate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(3), 581–587.
159. Mercier, A., Battaglene, S. C., & Hamel, J.-F. (2000). Periodic movement, recruitment and size-related distribution of the sea cucumber *Holothuria scabra* in Solomon Islands. *Hydrobiologia*, 440, 81–100.
160. Mercier, A., Purcell, S., & Hamel, J. F. (2024). Ecological significance and sustainable exploitation of sea cucumbers. In S. Purcell, A. Mercier, & C. Conand (Eds.), *The World of Sea Cucumbers: Challenges, Advances, and Innovations* (2nd ed., pp. 45–68). Elsevier Academic Press.
161. Messing, C. (2023). World List of Crinoidea. In O. Bánki, Y. Roskov, M. Döring, G. Ower, L. Vandepitte, D. Hobern, D. Remsen, P. Schalk, R. E. DeWalt, M. Keping, J. Miller, T. Orrell, R. Aalbu, J. Abbott, R. Adlard, E. M. Adriaenssens, C. Aedo, E. Aescht, N. Akkari, et al., Catalogue of Life Checklist (ver. (01/2023)). <https://doi.org/10.48580/dfqz-4rc>
162. Mezali K., (2001). Biométrie des holothuries aspidochiotes (*Holothuroidea : Echinodermata*) de la presqu'île de Sidi-Fredj (Algérie). Rapports et procès-verbaux des réunions-Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer Méditerranée, Monaco, 36:403.
163. Mezali, K. (1998). Contribution à la systématique, la biologie, l'écologie et la dynamique de cinq especes d'holothuries aspidochiotes [*Holothuria (H.) tubulosa*, *H. (L.) polii*, *H. (H.) stellati*, *H. (P.) forskali* et *H (P.) sanctori*] de l'herbier a *Posidonia oceanica* (L.) Delille de la

Références bibliographiques

- presqu'île de Sidi-Fredj. Alger: École National des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (Ex- ISMAL), 192 p.
164. Mezali, K. (2008). *Contribution à l'étude biologique et écologique des holothuries (Echinodermata: Holothuroidea) des côtes algériennes*. Thèse de Doctorat, Université d'Oran, Algérie.
 165. Mezali, K., & Khodja, H. (2021). Interactions entre le poisson perle *Carapus acus* et les holothuries méditerranéennes : Cas de *Parastichopus regalis*. *African Journal of Marine Science*, 43(3), 411–422.
 166. Mezali, K., & Slimane-Tamacha, S. (2020). Contribution à la connaissance des holothuries de la côte algérienne : distribution, biologie et conservation. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, 42(2), 181–192
 167. Mezali, K., & Soualili, D. (2013). Feeding ecology and habitat preferences of *Holothuria (Platyperona) sanctori* in the western Algerian coast. *Marine Biodiversity Records*, 6, e68. <https://doi.org/10.1017/S1755267213000447>
 168. Mezali, K., & Thandar, A. S. (2014). *First records and distribution of Mediterranean holothurians with remarks on their exploitation*. *Marine Biodiversity Records*, 7, e103.
 169. Mezali, K., Khodja, I., Lebouazda, Z. et Belkacem, N. (2021). Connaissance des concombres de mer par la communauté algérienne et tentative de leur introduction dans la gastronomie nationale. *SPC Bêche-de-mer Information Bulletin*, 41 : 69–72.
 170. Mezali, K., Slimane-Tamacha, A., & Boutiba, Z. (2022). Reproductive cycle and spawning behavior of *Holothuria arguinensis* along the Algerian coast (Western Mediterranean). *Regional Studies in Marine Science*, 52, 102331.
 171. Mezali, K., Soualili, D., & Belbachir, F. (2003). Comportement alimentaire et sélectivité des particules chez *Holothuria forskali* et *H. tubulosa* dans la baie d'Arzew (Algérie). *Marine Life*, 13(1–2), 37–46.
 172. Mezali, K., Soualili, D., & Boutiba, Z. (2014). Aspects de la reproduction de *Holothuria (Platyperona) sanctori* des côtes ouest algériennes. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, 36, 53–61.
 173. Mezali, K., Thandar, A. S. & Khodja, I. (2020). *Paraleptopentacta*, a new Mediterranean and north-west Atlantic sea cucumber genus, with the first record of *P. tergestina* n. comb. (Echinodermata: Dendrochirotida: Cucumariidae) from the north-western Algerian coast. *Zootaxa*, 4860(2), 199–210. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4860.2.3>

Références bibliographiques

174. Michio, K., Yamasaki, S., Kiyomoto, S., & Omori, M. (2003). Sediment reworking by deposit-feeding sea cucumbers and its effect on the environment. *Fisheries Science*, 69(5), 1100–1106.
175. Miller, A. K., & Pawson, D. L. (2013). *Sea cucumbers of the Antarctic (Echinodermata: Holothuroidea): Taxonomy, morphology, and reproduction*. Smithsonian Contributions to the Marine Sciences, 39, 1–68.
176. Mills, D. J., Duy, N. D. Q., Juinio-Meñez, M. A., Raison, C. M., & Zarate, J. M. (2014). Overview of sea cucumber aquaculture and sea ranching in the Asia-Pacific region. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 516, 9–44.
177. Mladenov, P. V. (1996). Environmental factors influencing asexual reproduction in echinoderms. *Oceanologica Acta*, 19(3–4), 227–235.
178. Monticelli, F. S. (1896). *Sulla rigenerazione negli oloturoidei e sulla riproduzione per scissione trasversale dell'*Holothuria impatiens*. Napoli: Atti della Reale Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche.
179. Moore, J. M. (2006). *Sclerite formation and mineral composition in echinoderms*. Journal of Structural Biology, 154, 190–198.
180. Mortensen, T. (1927) Handbook of the echinoderms of the British Isles. Oxford University Press, London, 494 pp. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.6841>
181. Motokawa, T. (1984). Mutable collagenous tissues. In M. Jangoux & J. M. Lawrence (Eds.), *Echinodermata: Biology of Echinodermata* (pp. 371–386). Balkema, Rotterdam.
182. Mourão, P. A. S., Pereira, M. S., Pavao, M. S. G., Mulloy, B., Tollefsen, D. M., Mowinckel, M. C., & Abildgaard, U. (1996). Structure and anticoagulant activity of a fucosylated chondroitin sulfate from the sea cucumber *Stichopus japonicus*: Comparison with mammalian glycosaminoglycans. *Journal of Biological Chemistry*, 271(38), 23973–23984.
183. Navarro P.G., Garcia-Sanz S., Tuya F., (2012). Reproductive biology of the sea cucumber *Holothuria sanctori* (Echinodermata: Holothuroidea). *Scientia Marina*, 76:741-752.
184. Navarro, P. G., García-Sanz, S., Tuya, F., & Haroun, R. (2014). Population dynamics of the sea cucumber *Holothuria sanctori* in the Canary Islands: Potential for fishery management. *Fisheries Research*, 152, 50–58.
185. Nichols D., (1969). Echinoderms. Hutchinson Radius, Vol. 23.
186. Nie, X. (2001). *Chinese culinary traditions of sea cucumber dishes: From imperial cuisine to modern gastronomy*. *Journal of Asian Food Culture*, 9(3), 45–59.
187. Nijenhuis, T.E. (1997). Thermal stability of collagen and gelatin. *Thermochimica Acta*, 300(1–2), 1–7.

Références bibliographiques

188. Ninan, G. (2003). Biochemical composition of selected marine fish muscle and its collagen content. *Fishery Technology*, 40(1), 1–5.
189. Nixon, S. W. (1995). Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41(1), 199–219.
190. O'Hara, T., Stöhr, S., & Thuy, B. (2023). World Ophiuroidea Database. In O. Bánki, Y. Roskov, M. Döring, G. Ower, L. Vandepitte, D. Hobern, D. Remsen, P. Schalk, R. E. DeWalt, M. Keping, J. Miller, T. Orrell, R. Aalbu, J. Abbott, R. Adlard, E. M. Adriaenssens, C. Aedo, E. Aesch, N. Akkari,
191. O'Loughlin, P. M., Davey, N., & Paulay, G. (2016). Suspension feeding and tentacle morphology in sea cucumbers (Holothuroidea). *Zootaxa*, 4147(3), 201–220. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4147.3.1>
192. O'Loughlin, P. M., Paulay, G., Davey, N., & Michonneau, F. (2009). The Antarctic holothurian *Thyonidium drummondi* (Thyonidiidae, Holothuroidea) and its relatives. *Zootaxa*, 1977, 1–36.
193. Omran, N. E. S. (2013). Valeur nutritionnelle de certains concombres de mer égyptiens. *African Journal of Biotechnology*, 12 : 54–66. DOI : 10.5897/AJB2013.13020
194. Ozols, J. (1990). Amino acid analysis. In *Methods in Enzymology* (Vol. 182, pp. 587–601). Academic Press.
195. Paltzat, D. L., Pearce, C. M., Barnes, P. A. G., & McKinley, R. S. (2008). Growth and survival of California sea cucumbers (*Parastichopus californicus*) in bottom and suspended culture. *Aquaculture*, 275(1–4), 124–137.
196. Pandian, T. J. (2018). *Reproduction and development in Echinoderms*. CRC Press. 270 p. <https://doi.org/10.1201/9780815364733>
197. Papanicolaou, G.C., Theophanides, T. & Kostopoulos, V. (2009). Structural and mechanical properties of collagen. *Biomacromolecules*, 10(9), 2345–2351.
198. Papon, A., Haïkel, Y., Lutz, J.C., Rehn, D. & Gauthier, C. (2007). Étude structurale et mécanique de la gélatine : influence des traitements thermiques. *Annales de Chimie – Science des Matériaux*, 32(5), 567–579.
199. Park, P.J., Jung, W.K., Nam, K.S., Shahidi, F. & Kim, S.K. (2001). Purification and characterization of antioxidative peptides from protein hydrolysate of lecithin-free egg yolk. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 78(6), 651–656.
200. Parmentier, E., & Das, K. (2004). Commensalism versus parasitism: The case of *Carapidae* fish symbioses. *Marine Ecology Progress Series*, 279, 305–308.

Références bibliographiques

201. Parmentier, E., & Michel, L. (2013). Ecology of the relationships between pearlfish (*Carapidae*) and their sea cucumber hosts in the Mediterranean Sea. *Marine Biology Research*, 9(1), 23–33.
202. Parmentier, E., Vandewalle, P., & Eeckhaut, I. (2000). Morphological adaptations of pearlfishes (*Carapidae*) to their symbiotic way of life. *Marine Biology*, 136(4), 817–827.
203. Paulay, G., & Byrne, M. (2023). Sea cucumbers (Holothuroidea). In Mah, C. L. & Paulay, G. (Eds.), *World Register of Marine Species (WoRMS)*. Accessible via : <https://www.marinespecies.org>
204. Pawson D.L., (2007). Phylum Echinodermata. *Zootaxa*, 1668:749–764. Gilliland P.M., (1993). The skeletal morphology, systematics and evolutionary history of holothurians. *Special Papers on Palaeontology*, 47:1-147.
205. Pawson, D. L. (1970). The marine fauna of New Zealand: Sea cucumbers (Echinodermata: Holothuroidea). *New Zealand Department of Scientific and Industrial Research Bulletin*, 201, 1–69.
206. Pawson, D. L. (2007). Phylum Echinodermata. *Zootaxa*, 1668, 749–764.
207. Pawson, D. L., Vance, D. J., & Solís-Marín, F. A. (2010). Global diversity of sea cucumbers (Echinodermata: Holothuroidea). *PLoS ONE*, 5(6), e11621.
208. Pearce, C. M., & Suhrbier, A. (2024). Nutritional composition and food value of commercial sea cucumber species. In S. Purcell, A. Mercier, & C. Conand (Eds.), *The World of Sea Cucumbers: Challenges, Advances, and Innovations* (2nd ed., pp. 197–220). Elsevier Academic Press.
209. Pearse, J. S. (1968). Patterns of reproductive periodicity in four species of Indo-Pacific echinoderms. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences*, 67, 247–279.
210. Pérez, M., López-Caballero, M.E., Montero, P. & Gómez-Guillén, M.C. (2018). Structural, mechanical and functional properties of fish collagen and gelatin. *Food Hydrocolloids*, 79, 1–10.
211. Perez-Ruzafa, A., Marcos, C., & García-Charton, J. A. (1992). Ecology and distribution of Holothurians in *Posidonia oceanica* meadows of the western Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 86, 45–58.
212. Provansal, M., Cheftel, J.C. & Ouali, A. (1975). Influence des conditions d'hydrolyse alcaline sur la composition en acides aminés et la valeur nutritive des hydrolysats de protéines. *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique*, 15(4), 623–636.
213. Purcell, S. W. (2010). Managing sea cucumber fisheries with an ecosystem approach. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 520*, FAO, Rome.

Références bibliographiques

214. Purcell, S. W. (2017). *La transformation des holothuries en bêtes-de-mer : manuel à l'usage des pêcheurs océaniques*. Lismore, Australie : Southern Cross University et Nouméa, Nouvelle-Calédonie : Communauté du Pacifique, 44 p. [En ligne] : <https://purl.org/spc/digilib/doc/uzqky>
215. Purcell, S. W., et al. (2011). *Sea cucumber fisheries: Global analysis of exploitation and sustainability*. *Fish and Fisheries*, 12(3), 281–298.
216. Purcell, S. W., Hair, C. A., & Wang, Y.-G. (2024). Sea cucumber aquaculture: Recent advances and sustainable practices. In *The World of Sea Cucumbers: Challenges, Advances, and Innovations* (pp. 221–246). Academic Press, Elsevier.
217. Purcell, S. W., Mercier, A., Conand, C., Hamel, J. F., Toral-Granda, M. V., Lovatelli, A., & Uthicke, S. (2016). Sea cucumber fisheries: Global status, exploitation and trade. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 516 (Rev. 1), 1–232.
218. Purcell, S. W., Mercier, A., Conand, C., Hamel, J.-F., Toral-Granda, M. V., Lovatelli, A., & Uthicke, S. (2013). *Sea cucumber fisheries: Global analysis of stocks, management measures and drivers of overfishing*. *Fish and Fisheries*, 14(1), 34-59. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2011.00443.x>
219. Purcell, S. W., Williamson, D. H. et Ngaluafé, P. (2018). Prix du marché chinois de la bête-de-mer : implications pour les pêcheries et l'aquaculture. *Marine Policy*, 91 : 58–66.
220. Purcell, S., Samyn, Y. et Conand, C. (2012). *Les concombres de mer d'importance commerciale dans le monde*. Dans : *Catalogue FAO des espèces destinées aux pêches*, n° 6. Rome : FAO, 150 p.
221. Rafiuddin Ahmed, M., Faisal, M., & Choudhury, A. (2004). *Characterization of collagen from sea cucumber Stichopus japonicus and its potential applications*. *Food Hydrocolloids*, 18(6), 907–913.
222. Rajamohan, T., & Kurup, P. A. (1997). *Lysine:Arginine ratio of dietary proteins in relation to cholesterol metabolism in rats*. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*, 34(5), 339–342.
223. Rajapakse, N., Mendis, E., Jung, W.K., Je, J.Y. & Kim, S.K. (2005). Purification of a radical scavenging peptide from fermented mussel sauce and its antioxidant properties. *Food Research International*, 38(2), 175–182.
224. Rakaj, A. et Fianchini, A. (2024). Concombres de mer de Méditerranée – biologie, écologie et exploitation. Dans : *The World of Sea Cucumbers: Challenges, Advances, and Innovations* (A. Mercier, J. F. Hamel, A. Suhrbier et C. Pearce, éd.), pp. 753–773. Londres : Academic Press. DOI : 10.1016/B978-0-323-95377-1.00015-1

Références bibliographiques

225. Ramón, M., Lleonart, J., & Massutí, E. (2010). The “*espardenya*” fishery of *Parastichopus regalis* in Spain: Biology and market value. *Fisheries Research*, 106(3), 475–482.
226. Ramón, M., Lleonart, J., & Massutí, E. (2019). Feeding behavior and trophic ecology of Mediterranean holothurians. *Marine Ecology Progress Series*, 621, 117–130. <https://doi.org/10.3354/meps12979>
227. Raup, D. M. (1966). *Theoretical morphology of echinoderm skeletons*. *Journal of Paleontology*, 40, 1178–1191.
228. Richard, B., Legrand, P. & Lefèvre, J. (2005). Molecular organization of collagen triple helices: Hydrogen bonding and stability. *Biophysical Chemistry*, 116(2), 219–226.
229. Richard, C. (2022). Predators and natural enemies of sea cucumbers in temperate and tropical regions. *Aquatic Biology*, 31(2), 145–158. <https://doi.org/10.3354/ab00899>
230. Ridzwan, B. H., Kaswandi, M. A., Azman, Y., & Fuad, M. (2003). *Screening for antibacterial agents in extracts of some sea cucumbers from the coastal areas of Sabah*. *General Pharmacology*, 21(2), 125–131.
231. Ridzwan, H. (2007). *Les concombres de mer : un patrimoine malaisien*. 1re éd. Centre de recherche de l’Université Islamique Internationale de Malaisie (IIUM), Kuala Lumpur, Malaisie, 176 p.
232. Roberts, D., Gebruk, A., Levin, V., & Gaudette, J. (2000). Feeding and digestive strategies in deposit-feeding holothurians. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 38, 257–310.
233. Robinson, G., & Lovatelli, A. (2015). *Global review of sea cucumber hatchery production*. FAO Fisheries Technical Paper No. 889.
234. Rodríguez-Domínguez, H., Gallego, R., Montero, P., et Gómez-Guillén, M. C. (2018). Chemical composition and nutritional properties of the sea cucumber *Parastichopus regalis* from the Mediterranean Sea. *Food Chemistry*, 260 : 85–91. DOI : 10.1016/j.foodchem.2018.03.098.
235. Rowe, F.W.E. (1969). “A review of the family Holothuriidae (Echinodermata)”. *Zoological Mededelingen* 42: 1-51.
236. Ru, S., Zhao, Y., & Liu, H. (2022). Sea cucumber bioactive compounds and their health benefits: An overview. *Marine Drugs*, 20(7), 403.
237. Saito, M., Kunisaki, N., Urano, N. & Kimura, S. (2002). Collagen as the major edible component of sea cucumber (*Stichopus japonicus*). *Journal of Food Science*, 67(4), 1319–1322.

Références bibliographiques

238. Samyn, y., Van Denspiegel, D. & Massin, C. (2006) Taxonomie des holothuries des Comores. ABC taxa, 1, 1–130.
239. Santé-Lhoutellier, V., Astruc, T., Daudin, J. D., Kondjoyan, A., Scislowski, V., Duchène, C., Gaudichon, C. et Rémond, D. (2017). Digestion des protéines de la viande en fonction de la cuisson : influence de la température de cuisson sur la digestion des protéines – approches in vitro. *La Revue Française de la Recherche en Viandes et Produits Carnés*, 33 : 1–3.
240. Schneider, K., & Erez, J. (2006). The effect of carbonate chemistry on calcification and photosynthesis in the hermatypic coral *Acropora eurystoma*. *Limnology and Oceanography*, 51(3), 1284–1293.
241. Schneider, K., Kravitz, B., Silverman, J., Rivlin, T., Schneider-Mor, A., & Erez, J. (2013). Carbonate dissolution caused by sea cucumbers and its implications for biogeochemical cycling. *Biogeosciences*, 10(12), 7599–7610.
242. Schneider, K., Silverman, J., Kravitz, B., Rivlin, T., Schneider-Mor, A., Barbosa, S., & Erez, J. (2011). Inorganic carbon turnover caused by digestion of carbonate sediments by the sea cucumber *Holothuria atra*. *Limnology and Oceanography*, 56(5), 1821–1832.
243. Schrieber, R. & Gareis, H. (2007). *Gelatine Handbook: Theory and Industrial Practice*. Weinheim: Wiley-VCH.
244. Sellem, F., Graja, S., & Brahmi, S. (2017, 12 nov.). *Biology and nutritional value of sea cucumber from Gulf of Gabès, Tunisia*. Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô, 44, 139-146.
<https://doi.org/10.71754/instm.bulletin.v44.460>
245. Sewell, M. A., & McEuen, F. S. (2012). Settlement, metamorphosis, and juvenile development in holothurians. In J. M. Lawrence (Ed.), *Sea cucumber biology and aquaculture* (pp. 85–102). Springer, Dordrecht.
246. Shahidi, F. (1994). *Seafoods: Chemistry, Processing Technology and Quality*. Springer US.
247. Shahidi, F. (2009). *Marine functional foods and nutraceuticals*. CRC Press.
248. Shahidi, F., Ambigaipalan, P., et Jeon, Y.-J. (2015). Bioactive compounds from marine foods: Plant and animal sources. In *Marine Nutraceuticals: Prospects and Perspectives*. CRC Press, Boca Raton.
249. Shahidi, F., Janak Kamil, Y. V. A., Jeon, Y.-J., Kim, S. K., et Whitman, R. (2009). Marine functional foods. In *Handbook of Seafood Quality, Safety and Health Applications* (pp. 223–239). Wiley-Blackwell.

Références bibliographiques

250. Siahaan, E. A., Purba, R. A., & Tanjung, F. A. (2017). Extraction and characterization of marine collagen: Potentials and applications. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 47(1), 45–51.
251. Sicuro, B., & Levine, J. (2011). Sea cucumber in the Mediterranean: A potential resource for aquaculture. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21(1), 77–88.
252. Singh, R., Kamboj, R., & Thakur, R. (1998). Feeding modes and tentacle structure in tropical suspension-feeding sea cucumbers. *Journal of the Marine Biological Association of India*, 40(1–2), 91–101.
253. Sionkowska, A., Kozłowska, J., Skorupska, M., et Michalska, M. (2020). Collagen from marine sources in cosmetic applications. *Marine Drugs*, 18(10) : 481. DOI : 10.3390/md18100481.
254. Slater, M. J., & Chen, J. (2015). *Sea cucumber aquaculture and taxonomy: Recent advances and challenges*. *Aquaculture Reports*, 2, 1–9.
255. Slater, M. J., & Jeffs, A. G. (2010). Morphological characteristics of the larval and juvenile stages of the sea cucumber *Australostichopus mollis* (Echinodermata: Holothuroidea). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 44(2), 135–148.
256. Slimane-Tamacha, A., Mezali, K., & Boutiba, Z. (2019). Cycle reproducteur de *Holothuria tubulosa* dans la baie d'Arzew (Algérie occidentale). *African Journal of Marine Science*, 41(2), 187–195.
257. Sloan, N. A. (1984). *Echinoderm fisheries of the world: A review*. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 22, 311–392.
258. Smiley, F.S., McEuen, F.S., Chaffee, C. & Krishnan, S. (1991). Echinodermata: Holothuroidea. In Giese A., Pearse J., Pearse V.B. (Eds.), *Reproduction of marine invertebrates*, Vol. VI. Echino- derms and lophophorates (pp. 663–750). Pacific Grove, California. Boxwood Press.
259. Smiley, S. (1991). Reproductive biology of the holothurians. In *Echinoderm Studies* (Vol. 3, pp. 231–255). A.A. Balkema, Rotterdam.
260. Smiley, S. (1994) Holothuroidea. In: *Microscopic anatomy of invertebrates* (Echinodermata), Harrison, F.W. and Chia, F.-S. (eds), Wiley-Liss New York, 14:401–471.
261. Solís-Marín, F. A., Honey-Escandón, M., & Laguarda-Figueras, A. (2012). *Deep-sea holothurians of the Pacific Ocean*. In J. M. Lawrence (Ed.), *Sea cucumber biology, taxonomy, and aquaculture* (pp. 55–72). Springer, Dordrecht.
262. Stricker, S. A. (1986). *Skeletal diversity in echinoderms: Comparative morphology and development*. *Biological Reviews*, 61, 367–389.

263. Sugano, M., Ishiwaki, N. et Nakashima, K. (1984). Influence du cholestérol alimentaire et du rapport arginine/lysine sur les taux sériques de cholestérol chez le rat. *Atherosclerosis*, 51(1), 41–47.
264. Sykes, D., & Marrs, S. (2024). Recent advances in sustainable sea cucumber farming: Toward circular aquaculture systems. *Aquaculture Reports*, 29, 102179.
265. Thanonkaew, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Decker, E. A. (2006). The effect of metal ions on lipid oxidation, colour and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) muscle during iced storage. *Food Chemistry*, 95(3), 591–599.
266. The World of Sea Cucumbers. (2024). *Challenges, Advances, and Innovations* (2nd ed.). Academic Press.
267. Tolon, T., Bayoğullari, E., & Şahin, C. (2017). Sea cucumber (*Holothuria tubulosa*) growth and sediment cleaning efficiency in integrated aquaculture systems. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17(3), 545–553.
268. Toral-Granda, V. (2006). *Reproductive biology of sea cucumbers*. In Bruckner, A. (Ed.), *The proceedings of the CITES workshop on the conservation of sea cucumbers in the families Holothuriidae and Stichopodidae* (pp. 50–70). NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-34.
269. Tortonese E., Vadon C., (1987). Oursin et Holothuries (Echinodermes) in fiche FAO nidification des espèces pour les besoins de pêche Révision I. Méditerranée, Mer noire zone de pêche, 37: 715-739
270. Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A. H., & Fang, J. G. (2003). Ecological engineering in aquaculture: Use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. *Aquaculture*, 226(1–4), 69–90.
271. Unuma, T., Yamamoto, Y., & Asakura, A. (2020). Protozoan infections in the gonads of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 140, 179–188.
272. Uthicke, S. (2001). Nutrient regeneration by abundant coral reef holothurians. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 265(2), 153–170.
273. Uthicke, S. (2024). Regeneration and asexual reproduction in sea cucumbers: Adaptive significance and ecological implications. In S. Purcell, A. Mercier, & C. Conand (Eds.), *The World of Sea Cucumbers: Challenges, Advances, and Innovations* (2nd ed., pp. 245–268). Elsevier Academic Press.
274. Vajragupta, O., Boonchoong, P., Wongkrajang, Y., Kammasud, N., Chavasiri, W. & Rojsitthisak, P. (2004). Comparative radical scavenging and iron chelating activity of some phenolic antioxidants. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 52(10), 1214–1218.

Références bibliographiques

275. Van Dyck, S., Caulier, G., & Flammang, P. (2010). *The triterpene glycosides from sea cucumbers: Biological activities and structure–function relationships*. *Marine Drugs*, 8(8), 1731–1769.
276. Vidal, C., Gutiérrez, C., Rodríguez, J. & López, R. (2022). Bioactive collagen hydrolysates: Antioxidant and antimicrobial properties for functional foods and nutraceuticals. *Marine Drugs*, 20(4), 245–259.
277. Wang, S., Liu, H., Liu, D., & Chen, J. (2013). Characterization of protein composition and functional properties of the bivalve *Paphia undulata*. *Food Chemistry*, 140(1–2), 160–165. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.044>
278. Watabe, S., Ikeda, D., & Hashimoto, K. (1986). Comparative study on muscle proteins of crustaceans. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 84(2), 287–292.
279. Wen C. et al., 2024. Bioactive properties of sea cucumber protein extracts. *Foods*, 13(6): 923.
280. Wen, J., Hu, C., & Fan, S. (2010). *Chemical composition and nutritional quality of sea cucumbers*. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 90(14), 2469–2474.
281. Wen, S., Zhou, G., Song, S., Xu, X., Voglmeir, J., Liu, L., Zhao, F., Li, M., Li, L., Yu, X., Bai, Y. et Li, C. (2015). Différenciation des produits de digestion in vitro et in vivo des protéines de viande de porc, de bœuf, de poulet et de poisson. *Proteomics*, 15 : 3688–3698. DOI : 10.1002/pmic.201500179
282. Wolfe, K., Graba-Landry, A., Dworjanyn, S. A., & Byrne, M. (2018). Urchin and holothurian bioerosion and bioturbation reduce sediment CaCO₃ content and carbonate sediment dissolution in reef sediments. *Scientific Reports*, 8(1), 1–10.
283. Wolkenhauer, S. M., Uthicke, S., Burridge, C., Skewes, T., & Pitcher, R. (2010). The ecological role of *Holothuria atra* in sediment biogeochemistry and nutrient recycling on coral reefs. *Marine Biology Research*, 6(4), 333–340.
284. Wu, H. C., Shen, S. C., & Chen, H. M. (2013). Comparative study on collagen and its hydrolysates from the body wall of sea cucumber (*Stichopus japonicus*). *Food Chemistry*, 141(3), 1267–1274.
285. Wulandari, D., Hidayati, D., & Arifin, Z. (2021). Bioactive compounds of sea cucumbers: Extraction methods and health benefits. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(2), 182.
286. Xia, Y., Zhang, Z., & Chen, J. (2024). *Nutritional and bioactive components of edible sea cucumbers in China*. *Food Chemistry Advances*, 8, 100541.

Références bibliographiques

287. Xiong, Y. L. (2004). Muscle proteins. In A. M. Pearson, T. R. Dutson, & G. W. Bailey (Eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences* (pp. 805–812). Academic Press.
288. Yang, C.S., Landau, J.M., Huang, M.T. & Newmark, H.L. (2001). Inhibition of carcinogenesis by dietary polyphenolic compounds. *Annual Review of Nutrition*, 21, 381–406.
289. Yao, L. (1994). *Culinary traditions of sea cucumber in Northern China*. *Asian Culinary Heritage Journal*, 6(1), 34–47.
290. Yuan, X. (2024). Influence of tropical sea cucumbers on carbonate chemistry and alkalinity dynamics in coral reef sediments. *Marine Ecology Progress Series*, 725, 201–215.
291. Zetina, A. M., Rodríguez, R. E., & Hernández, J. L. (2002). *Taxonomic identification of sea cucumbers using external and internal morphological characters*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 37(2), 123–132.
292. Zhang, Y., Yi, Y., Li, L., & Lu, J. (2010). *Antitumor and antioxidant activities of polysaccharides extracted from sea cucumber Stichopus japonicus*. *Carbohydrate Polymers*, 81(3), 651–656.
293. Zhang, Z., Zhou, Y., & Zhang, L. (2023). Predation of *Asterina pectinifera* on juvenile *Apostichopus japonicus* in aquaculture systems. *Aquaculture Research*, 54(3), 1250–1261. <https://doi.org/10.1111/are.16011>
294. Zhao, Y., Zhang, L., & Xue, C. (2007). *Preparation and characterization of gelatin from sea cucumber (Stichopus japonicus)*. *Food Hydrocolloids*, 21(5–6), 802–806.
295. Zhong, Y., Khan, M. A., et Shahidi, F. (2007). Compositional characteristics and antioxidant properties of fresh and processed sea cucumber (*Cucumaria frondosa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(4) : 1188–1192. DOI : 10.1021/jf062506s.
296. Zohdi, R. M., Zakaria, Z. A., Yusof, N., Mustapha, N. M., et Abdullah, M. N. H. (2011). Sea cucumber (*Stichopus hermannii*) based hydrogel for wound healing: In vitro and in vivo evaluation. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 98B(1) : 30–37. DOI : 10.1002/jbm.b.31824.
297. Zou, Z., Yi, Y., Wu, H., Kuang, Y., Dong, Y., et Chen, D. (2003). Isolation and characterization of triterpene glycosides from sea cucumber *Holothuria scabra* with cytotoxic activity against tumor cells. *Journal of Natural Products*, 66(2) : 173–178. DOI : 10.1021/np0202578.

**Attestation de stage, communication et
publications scientifiques**



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Laboratoire de Protection, Valorisation des Ressources Marines et
Littorales et Systématique Moléculaire



Attestation de Participation

Le comité scientifique de la 2^{ème} Journée d'Étude sur l'Évaluation et la Valorisation des
Ressources Marines Littorales (JEEVRML-2), qui s'est déroulée le 08 juin 2021 à
Mostaganem, Atteste que M/Mme/Melle

BELKACEM Nour-el-Houda a présenté une Communication Orale intitulée :

« Valorisation et enquête sur la connaissance et l'introduction des "concombres de mer" dans les habitudes
alimentaires de la société algérienne »

Co-auteurs : KHODJA Ihcene, LEBOUAZDA Zineb, MEZALI Karim

Pr. SOUALILI Dina Lila

Présidente du Comité Scientifique

SOUALILI DINA LILA
Professeur en Sciences
Naturelles

Pr. MEZALI Karim

Président du Comité d'Organisation





People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
University Abdelhamid Ibn Badis -Mostaganem
Faculty of Nature and Life Sciences



CERTIFICATE OF PARTICIPATION

The organizing committee of the 10th national days of natural and life sciences
"JNSNV2021" which took place on 16, 17 and 18 November 2021 in Mostaganem,

Certifies that Mr, Mrs, Miss: **BELKACEM Nour el Houda**

Participated with an oral communication entitled: *Qualité nutritionnel et
culinaire des concombres de mer de la région de Mostaganem*

With the co-authors: **MEZALI Karim**

Pr.SOUALILI Dina Lila

Dean of the Faculty

عبد الحميد بن باديس
كلية علوم الطبيعة والحياة
جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم

Pr.GHAFFOUR Mohamed

Chair of the Organizing
Committee

محمد حافور
كرسي تنظيم
الملتقى
العلمي والعلاقات الخارجية
البيئية



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة وهران للعلوم والتكنولوجيا محمد بوضياف
PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC OF ALGERIA
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH
UNIVERSITY OF SCIENCES AND TECHNOLOGY OF ORAN MOHAMED BOUDIAF



PHD DAY
JUNE 26, 2024

CERTIFICATE OF ATTENDANCE

This certificate is proudly present to :

Nour El Houda BELKACEM

Co-authours : Karim MEZALI, Meriam ABBAD.

For attending this scientific event with a poster presentation titled :
« Difference Between Fresh and Processed Sea Cucumbers in Their
Nutritional and Culinary Value from the Mostaganem region (Algeria) »

Vice-Rector of External Relations



MEROUFEL DJABALA Naïma
Vice-Rector des Relations Extérieures de la
Coopération de l'Application et de Commerce, de la
et des Associations Scientifiques
(Par délégation)



1st International Seminar on
Agri-Food & Industrial Biotechnology
ISABI 2024 -ALGERIA

PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC OF ALGERIA
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Djilali Bounaâma University of Khemis Miliana
Faculty of Life and Nature Sciences and Earth Sciences
Department of Biological Sciences
Laboratory of production Agricultural and Valuation Sustainable Natural Resources



Certificate

of Participation

This certifies that

BELKACEM Nour-el-Houda

has actively participated in an 1st International Seminar of AgriFood and Industrial Biotechnology
and presented a poster communication entitled:

Valorization of Sea Cucumbers (Culinary Potential of Bêche-de-Mer) from Mostaganem, Algeria

Co-Authors: MEZALI Karim, ZERROUAL Hanane, BOUNOUAR ahmed, KHODJA Ihcene.

Congratulations

In recognition for her active participation in seminar.

This certificate is proudly awarded from ORGANISATOR GROUP on **June 26-27th, 2024.**

ISABI President 2024

1^{er} séminaire International sur
L'Agroalimentaire & Biotechnologie
Industrielle

ISABI 26-27 Juin 2024
Dr AMROUCHE Zoheir

Dean of the Faculty





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
مصالح الوزير المنتدب لدى الوزير الأول المكلف بالمؤسسات المصغرة
الوكالة الوطنية لدعم وتنمية المقاولاتية



UNIVERSITE
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
دار المقاولاتية

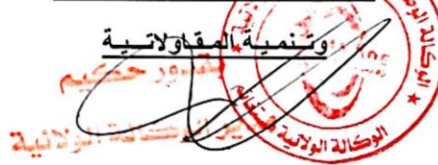
شهادة مشاركة

يتشرف السادة عميدة كلية العلوم الطبيعية والحياة ومدير الوكالة الولائية مستغانم للوكالة الوطنية لدعم وتنمية المقاولاتية و عميدة مدير دار المقاولاتية بمنح هاته الشهادة للطالب(ة) : **بلقاسم نور الهدى** نظير المجهود والمشاركة الفعالة في الدورة التكوينية الموسومة بعنوان "المقاولاتية و كيفية إيجاد فكرة مشروع ناجح" المنظمة على مستوى جامعة مستغانم أيام 19 و 20 جوان 2022

مدير دار المقاولاتية



مدير الوكالة الوطنية لدعم



عميدة كلية العلوم الطبيعية والحياة





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم



شهادة شكر وتقدير

في إطار الاحتفاليات المخلدة لذكرى يوم العلم 16 أبريل 2023، يُمنح السيد مدير جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
البروفيسور يعقوبي بلعباس هذه الشهادة للطالبة

بلقاسم نور الهدى

حاملة مشروع مؤسسة ناشئة :

« Valorisation du concombre de mer »

امتنانا وتقديرًا لمشاركتها في الأسبوع الجامعي للذكاء الاصطناعي تحت شعار « الذكاء الاصطناعي في خدمة المجتمع »
المنظم بجامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم من 16 إلى 19 أبريل 2023.

مستغانم، في 2023/04/19

مدير الجامعة

الأستاذة بلعباس
بلقاسم نور الهدى
جامعة مستغانم



