

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn  
Badis-Mostaganem  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس  
مستغانم  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

## Mémoire de fin d'études

Présenté par

Mme. Hamlaoui Chaimae Imene

Pour l'obtention du diplôme de

Master en hydrobiologie marine et continentale

**Spécialité:**

Ressource Halieutique

**THÈME**

*Élevage du concombre de mer dans un système d'Intégration  
Multi-Trophique (polyculture).*

Soutenue le 28/09/2025

DEVANT LE JURY

<b>Président</b>	M. BENZAIT Hocine	<b>MCB</b>	<b>U. Mostaganem</b>
<b>Encadreur</b>	M. MEZALI Karim	<b>Professeur</b>	<b>U. Mostaganem</b>
<b>Examineur</b>	M. BELBACHIR Nor Eddine	<b>MCA</b>	<b>U. Mostaganem</b>
<b>Invité</b>	Mme. BOUTALEB Amina	<b>Doctorante</b>	<b>U. Mostaganem</b>

*Année universitaire 2024/2025*

## Résumé

L'aquaculture multi-trophique intégrée (AMTI) constitue une approche innovante et flexible pour la mise en place de systèmes de production aquatiques durables, capables d'améliorer la qualité environnementale des milieux aquatiques. L'objectif de ce travail est d'apporter les premiers éléments de connaissance sur la faisabilité d'une polyculture entre les oursins et les concombres de mer.

L'étude s'est centrée sur la capacité de survie de ces invertébrés marins en fonction d'une alimentation reposant principalement sur des débris d'algues ou de la farine de poisson, deux ressources disponibles, économiques et durables.

Au total, 42 individus d'holothuries et 24 individus d'oursins ont été collectés à Stidia-Ouest (Mostaganem, Algérie) et soumis à un suivi quotidien des paramètres physico-chimiques de l'eau. Deux essais expérimentaux en bacs ont été réalisés et comparés : (1) une monoculture d'holothuries alimentées à la farine de poisson (2 % du poids total, incorporée au sédiment) et (2) une polyculture d'holothuries–oursins nourris aux débris d'algues en cages. Les performances biologiques ont été évaluées à travers le taux de mortalité (TM), le taux de survie (TS) et le taux de croissance spécifique (SGR).

Les résultats montrent que le régime à base de farine de poisson a entraîné une mortalité totale des holothuries (TM = 100 %, TS = 0 %). En revanche, la polyculture associée aux débris d'algues a donné de meilleurs résultats (TM = 11,4 %, TS = 88,6 %, SGR holothuries =  $-0,114 \text{ \% j}^{-1}$ ), malgré une légère perte pondérale chez les oursins. Les paramètres physico-chimiques de l'eau sont restés conformes aux normes d'élevage. Ces observations suggèrent que l'intégration holothuries–oursins, associée à une biomasse algale, favorise la survie et la stabilité du système. Ainsi, l'AMTI se révèle comme une voie prometteuse pour le développement durable de l'holothuriculture en Algérie.

**Mots-clés** : holothuries, oursins, débris d'algues, AMTI, polyculture, Mostaganem.

## **Abstract**

Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) represents an innovative and flexible approach for developing sustainable aquatic production systems that can enhance the environmental quality of marine ecosystems. The objective of this work is to provide initial insights into the feasibility of polyculture between sea urchins and sea cucumbers.

The study focused on the survival capacity of these marine invertebrates based on diets consisting mainly of algal debris of fishmeal, two available, economical, and sustainable resources.

A total of 42 holothurians and 24 sea urchins were collected from Stidia-West (Mostaganem, Algeria) and monitored daily for water physicochemical parameters. Two experimental tank trials were carried out and compared: (1) a monoculture of holothurians fed with fishmeal (2% of total weight, incorporated into the sediment), and (2) a polyculture of holothurians-sea urchins fed with algal debris in cages. Biological performance was assessed through mortality rate (TM), survival rate (TS), and specific growth rate (SGR).

The results show that the fishmeal diet led to total mortality of holothurians (TM = 100%, TS = 0%). In contrast, the polyculture with algal debris yielded better outcomes (TM = 11.4%, TS = 88.6%, holothurian SGR =  $-0.114\% \text{ d}^{-1}$ ), despite a slight weight loss in sea urchins. Water physicochemical parameters remained within aquaculture standards. These observations suggest that holothurian-sea urchin integration, combined with algal biomass, promising pathway for the sustainable development of holothuriculture in Algeria.

**Keywords:** holothurians, sea urchins, algal debris, IMTA, polyculture, Mostaganem.

## المخلص

تُعدّ تربية الأحياء المائية متعددة التغذية المتكاملة (AMTI) مقارنة مبتكرة ومرنة لإقامة أنظمة إنتاج مائية مستدامة، قادرة على تحسين الجودة البيئية للأنظمة المائية. يهدف هذا العمل إلى تقديم أولى المعطيات حول جدوى تربية مشتركة بين قنafaذ البحر وخيار البحر.

ركزت الدراسة على قدرة بقاء هذه اللافقاريات البحرية اعتمادًا على تغذية أساسها بقايا الطحالب أو مسحوق السمك، وهما موردان متاحان، اقتصاديان ومستدامان.

تم جمع ما مجموعه 42 خيار بحر و24 قنفاذ بحر من منطقة ستيديا-غرب (مستغانم، الجزائر)، وخضعت لمتابعة يومية للمعايير الفيزيوكيميائية للمياه. تم إجراء تجربتين في أحواض للمقارنة: (1) تربية منفردة لخيار البحر مُغذى بمسحوق السمك (2% من الوزن الكلي، مدمج مع الرمل)، و(2) تربية مشتركة لخيار البحر-قنفاذ البحر مُغذاة بقايا الطحالب في أقفاص. تم تقييم الأداء البيولوجي من خلال معدل الوفيات (TM)، معدل البقاء (TS) ومعدل النمو النوعي (SGR).

أظهرت النتائج أن النظام الغذائي القائم على مسحوق السمك أدى إلى نفوق كامل لخيار البحر (TM = 100%، TS = 0%). في المقابل، أظهرت التربية المشتركة المعتمدة على بقايا الطحالب نتائج أفضل (TM = 11,4%، TS = 88,6%، SGR خيار البحر = 0,114 - % يوم<sup>-1</sup>)، رغم فقدان وزني طفيف لدى قنفاذ البحر. كما بقيت المعايير الفيزيوكيميائية للمياه ضمن حدود ملائمة للتربية. وتشير هذه الملاحظات إلى أن دمج خيار البحر-قنفاذ البحر المرتبط بكتلة حيوية من الطحالب يعزز بقاء واستقرار النظام. وعليه، تُعدّ تربية الأحياء المائية متعددة التغذية المتكاملة مسارًا واعدًا لتطوير استزراع خيار البحر بشكل مستدام في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: خيار البحر، قنفاذ البحر، بقايا الطحالب، AMTI، تربية مشتركة، مستغانم.

## **Remerciements**

*Au début, je remercie DIEU, le Tout-Puissant, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*J'adresse mes respectueux remerciements aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de ce travail :*

*Tout d'abord, je remercie Dr. BENZAIT H., chef de département des sciences de la mer et de l'aquaculture, qui a fait l'honneur de présider le jury de mon mémoire malgré ces nombreuses occupations.*

*Je remercie le professeur MEZALI Karim pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa confiance, ses encouragements et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Mes sincères remerciements vont également au Dr BELBACHIR N. pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.*

*Je tiens à remercier Mme BOUTALEB A. d'avoir suivi ce travail au laboratoire, pour sa disponibilité, son aide et ses orientations.*

*Je tiens aussi tout particulièrement à remercier Mme ZERROUAL H. pour son aide précieuse.*

*Mes remerciements s'adressent également à tous mes enseignants durant mes années d'études au département des sciences de la mer et de l'aquaculture et à tous les étudiants de Master II promotion 2025.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma personne préférée au monde, ma chère maman, source de courage, pour son amour infini, ses prières et ses sacrifices.*

*À mes deux adorables sœurs et à mon cher frère, je remercie tendrement leur soutien constant et leur présence réconfortante. Toute ma famille mérite également ma reconnaissance pour ses encouragements et leur affection sincère : ma grand-mère, mes tantes, mes oncles et mes chers cousins.*

*Un hommage particulier revient à la mémoire de mon grand-père Mokhtar et de ma tante Fatima El Zohra, dont les valeurs, l'amour et le souvenir m'accompagnent à chaque étape de ma vie. Leur mémoire reste une source d'inspiration et de force qui éclaire mon chemin.*

*Je remercie du fond du cœur la personne qui m'est si chère, Wadie, pour son aide précieuse, son soutien et ses encouragements constants.*

## Remerciements

*Au début, je remercie DIEU, le Tout-Puissant, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*J'adresse mes respectueux remerciements aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de ce travail :*

*Tout d'abord, je remercie Dr. Benzait H., chef de département des sciences de la mer et de l'aquaculture, qui a fait l'honneur de présider le jury de mon mémoire malgré ces nombreuses occupations.*

*Je remercie le professeur MEZALI Karim pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa confiance, ses encouragements et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Mes sincères remerciements vont également au Dr Belbachir N. pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.*

*Je tiens à remercier Mme BOUTALEB A. d'avoir suivi ce travail au laboratoire, pour sa disponibilité, son aide et ses orientations.*

*Je tiens aussi tout particulièrement à remercier Mme ZERROUAL H. pour son aide précieuse.*

*Mes remerciements s'adressent également à tous mes enseignants durant mes années d'études au département des sciences de la mer et de l'aquaculture et à tous les étudiants de Master II promotion 2025.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma personne préférée au monde, ma chère maman, source de courage, pour son amour infini, ses prières et ses sacrifices.*

*À mes deux adorables sœurs et à mon cher frère, je remercie tendrement leur soutien constant et leur présence réconfortante. Toute ma famille mérite également ma reconnaissance pour ses encouragements et leur affection sincère : ma grand-mère, mes tantes, mes oncles et mes chers cousins.*

*Un hommage particulier revient à la mémoire de mon grand-père Mokhtar et de ma tante Fatima El Zohra, dont les valeurs, l'amour et le souvenir m'accompagnent à chaque étape de ma vie. Leur mémoire reste une source d'inspiration et de force qui éclaire mon chemin.*

*Je remercie du fond du cœur la personne qui m'est si chère, Wadie, pour son aide précieuse, son soutien et ses encouragements constants.*

## Liste des figures

Figure I. 1. Morphologie externe d'une Holothurie (Samyn et al. 2006).....	7
Figure I. 2. Morphologie interne d'une Holothurie (Samyn et al. 2006). ....	8
Figure I. 3. Schéma des interactions dans un élevage AMTI combinant des espèces nourries et des espèces extractives (Aubin 2018).....	14
.....	
Figure II. 1. Localisation de la zone d'échantillonnage Stidia Ouest (Lebouazda et al. 2022, modifiée).....	17
Figure II. 2. Echantillons collectés (A) holothuries et (B) oursins et débris d'algues. ....	18
Figure II. 3. Bacs de cultures expérimentales installés au laboratoire. ....	19
Figure II. 4. Pesage de farine de poisson. ....	20
Figure II. 5. Bac de polyculture : les holothuries avec les oursins en cages nourries avec les débris d'algues. ....	21
Figure II. 6. Renouvellement d'eau par un siphonage.....	22
Figure II. 7. Pesage du poids total des individus (holothuries, oursins).....	22
.....	
Figure III. 1. Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer au cours de l'expérimentation.....	24
Figure III. 2. Variation du poids total des holothuries selon le type d'aliment. ....	25
Figure III. 3. Variation du poids total des oursins.....	26
Figure III. 4. Variations de taux de mortalité (TM %) et taux de survie (TS %) d'holothuries selon les expériences réalisées. ....	27

## Liste des tableaux

Tableau I. 1. Taxonomie des holothuries du genre <i>Holothuria</i> (WoRMS 2025).....	4
Tableau I. 2. Espèces de concombres de mer observées sur la côte algérienne : morphologie, habitat et distribution géographique.....	6
.....	
Tableau III. 1. Comparaison des taux de croissance (SGR%), taux de mortalité (TM %) et taux de survie (TS%) des holothuries dans les deux bacs expérimentaux.....	26

## Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre I : Partie bibliographique .....	3
1. Généralités sur les holothuries .....	3
1.1. Classification zoologique et diversité des espèces .....	3
1.1.1. Taxonomie du genre Holothuria .....	4
1.1.1.1. Position systématique.....	4
1.1.1.2. Distribution géographique.....	5
1.2. Anatomie et physiologie .....	7
1.2.1. Anatomie externe .....	7
1.2.2. Anatomie interne .....	7
1.3. Importance écologique des holothuries.....	9
1.4. Intérêt économique et valorisation industrielle .....	10
1.4.1. Intérêt culinaire .....	10
1.4.2. Rôle dans la bioremédiation des fonds marins .....	11
1.4.3. Utilisation pharmaceutique .....	11
1.4.4. Utilisation en cosmétique .....	11
1.5. Régime alimentaire et comportement trophique .....	11
1.6. Reproduction chez les holothuries.....	12
1.6.1. Modalités de reproduction chez les holothuries.....	12
1.6.2. Conditions environnementales influençant la reproduction .....	12
2. Holothuriculture .....	13
3. Intégration des holothuries dans l’Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI).....	13
3.1. Rôle des holothuries dans les systèmes intégrés .....	14
3.2. Exemples de réussite des systèmes d’Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI)....	14
3.3. Espèces associées dans les systèmes d’Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI)..	15
3.3.1. Les concombres de mer .....	15
3.3.2. Les bivalves .....	15
3.3.3. Les poissons .....	15
3.3.4. Les oursins .....	16
3.3.5. Les crevettes.....	16
3.3.6. Les macroalgues.....	16

Chapitre II : Matériel et méthodes.....	17
1. Zone d'étude .....	17
2. Échantillonnage.....	17
3. Installation des bacs de culture .....	18
4. Système d'intégration multitrophique.....	19
4.1. Premier essai : Holothuries alimentée par la farine de poisson (Monoculture) .....	19
4.2. Deuxième essai : Holothuries et oursins nourries avec les débris d'algues (Polyculture). .....	20
5. Suivi et évaluation.....	21
5.1. Suivi journalier .....	21
5.2. Suivi de la croissance des holothuries et des oursins.....	22
6. Paramètres évalués .....	23
6.1. Paramètres physico-chimiques .....	23
6.2. Taux de croissance.....	23
6.3. Taux de mortalité (TM).....	23
6.4. Taux de survie .....	23
Chapitre III : Résultats et discussion .....	24
1. Evaluation des essais de mono et polyculture.....	24
2. Suivi mensuel des paramètres physico-chimiques .....	24
3. Évolution du poids des holothuries et des oursins selon le type d'aliment .....	25
3.1. Evolution du poids des holothuries.....	25
3.2. Evolution du poids des oursins .....	25
4. Performance zootechnique selon les conditions expérimentales .....	26
Discussion.....	27
Contraintes rencontrées .....	28
Conclusion .....	29
Références bibliographiques.....	30

## Introduction

En réponse à la demande croissante de produits de la mer, principalement due à l'accroissement de la population mondiale et à l'évolution des régimes alimentaires, les consommateurs diversifient leur consommation en privilégiant des aliments riches en protéines, reconnus pour leurs bienfaits sur la santé (Costello et al. 2020). Face à cette augmentation, la dépendance aux ressources alimentaires naturelles s'est révélée insuffisante, rendant nécessaire le développement de l'aquaculture contrôlée (FAO 2022).

L'Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI) offre une solution puissante et innovante à ces problématiques. Il s'agit d'une approche écosystémique visant à créer des relations durables et synergiques entre plusieurs espèces marines, appartenant à plusieurs niveaux trophiques (Troell et al. 2009). Ce système consiste à associer des poissons, des algues et des invertébrés, comme les concombres de mer, dans un même cycle de production. Les algues jouent le rôle de producteurs et de séquestreurs de carbone, tandis que les concombres de mer, généralement exploités en monoculture, peuvent être intégrés pour valoriser les déchets organiques et améliorer la santé du substrat marin (Troell et al. 2003). Dans cette perspective, les espèces du genre *Holothuria*, en particulier, occupent une place stratégique, à la fois écologique, économique et fonctionnelle (Conand et al. 2004). Ces échinodermes benthiques jouent un rôle essentiel dans la biorémediation des sédiments, en réduisant la charge organique dans les fonds marins (Purcell et al. 2016).

En filtrant les débris organiques issus des déchets, les concombres de mer contribuent à améliorer la qualité du substrat. De plus, leur chair est fortement demandée sur les marchés asiatiques, notamment sous forme de bêche de mer (ou trévang), ce qui leur confère une forte valeur économique (Purcell 2014). L'intégration des holothuries dans les systèmes d'AMTI constitue donc une opportunité précieuse de recycler les déchets organiques tout en élargissant la gamme de produits de l'élevage. Ce modèle favorise une approche circulaire de l'aquaculture en optimisant l'utilisation des ressources, tout en contribuant à l'atteinte des Objectifs de Développement Durable (ODD) définis par les Nations Unies (Costello et al. 2020).

Dans les zones côtières comme Mostaganem, en Algérie, où les ressources marines sont peu exploitées, cette approche innovante pourrait promouvoir le développement d'une économie bleue durable et ouvrir de nouvelles perspectives socio-économiques, notamment pour les jeunes professionnels et les populations littorales.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la faisabilité d'un système d'Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI) en intégrant les concombres de mer et les oursins, en utilisant les débris d'algues afin d'optimiser la valorisation de la biomasse algale non utilisée, de réduire et d'améliorer la durabilité des systèmes aquacoles.

L'ambition de l'étude est de démontrer qu'une association entre ces deux espèces benthiques peut participer à la fermeture des cycles de nutriments dans le cadre d'une production écologiquement viable et économiquement intéressante.

## *Chapitre I : Partie bibliographique*

## **1. Généralités sur les holothuries**

Les holothuries, connues sous le nom de « concombre de mer », sont un ensemble d'animaux marins mous, variés et abondants, faisant partie de la classe des Holothuroidea (Pierrat et al. 2021). Dans les environnements récifaux, les holothuries sont des maillons indispensables des chaînes alimentaires à plusieurs niveaux trophiques, en tant que psammivores et détritivores notamment (Uthicke 1999).

Elles sont couramment considérées comme le groupe des détritivores le plus important de la faune récifale. Leur exceptionnelle capacité à régénérer tous les organes internes suite à l'éviscération, un mécanisme de défense entraîné par un stress chimique ou physique, témoigne de leur étonnante plasticité biologique (García-Arrarás et Greenberg 2001).

Concernant leur morphologie, les holothuries sont généralement cylindriques, parfois avec une forme plus étroite aux deux extrémités, et sont de taille variable, pouvant aller de quelques centimètres à plus d'un mètre à l'état de décontraction. Elles présentent une organisation pentamérique à symétrie radiaire, avec une face ventrale dite « trivium » qui porte les podia ambulacraires et une face dorsale convexe ou « bivium », habituellement sans pieds ambulacraires. Le nombre et la disposition du podia et des papilles sont variables selon les taxons (Samyn et al. 2006). Contrairement aux autres échinodermes, elles possèdent un endosquelette rudimentaire fait de spicules ou sclérites largement dissociés dans la partie dermique du corps, et une couronne péripharyngienne calcaire. Un système ambulacraire est présent, dont le circuit interne est formé de conduits internes reliés à des prolongements externes, pour le déplacement et pour la nutrition.

### **1.1. Classification zoologique et diversité des espèces**

Les holothuries, comprennent à l'heure actuelle plus de 1700 espèces dans le monde mais constituent également un groupe très ancien dans le temps car les concombres de mer modernes sont issus d'une longue évolution qui perdure déjà depuis presque 400 millions d'années (Lambert 1997). La classe Holothuroidea est aujourd'hui divisée en deux sous-classes : Actinopoda et Paractinipoda (WoRMS 2025) (Tab. I.1).

Il existe 7 ordres taxonomiques d'holothuries, la majorité des espèces commerciales appartiennent à l'ordre Holothuriida (Tab. I.1) et certains aux Dendrochirotida (Conand 2006).

Sur les quelques 1700 espèces de concombres de mer recensées dans le monde, seules huit ont été signalées jusqu'à présent dans les eaux algériennes. Parmi elles, on retrouve la synaptide: *Oestergrenia digitata* (Montagu 1815) ainsi que six espèces du genre *Holothuria* : *Holothuria tubulosa* (Gmelin 1791), *Holothuria stellati* (Delle Chiaje 1824), *Holothuria (Panningothuria) sanctori* (Delle Chiaje 1823), *Holothuria (Panningothuria) forskali* (Delle Chiaje 1823), *Holothuria (Roweothuria) poli* (Delle Chiaje 1824), signalée notamment par (Mezali 1998 ; Mezali et Francour 2012), et *Holothuria (Roweothuria) arguinensis* (Koehler et Vaney 1906 ; Mezali et Thandar 2014). À cette liste s'ajoute l'espèce commerciale *Parastichopus regalis* (Cuvier 1817), citée par Benzait et al. (2020).

Des inventaires plus récents ont permis de compléter cette liste par la mention de *Paraleptoptentacta tergistina* et *Ocnus planci*, élargissant ainsi le spectre des holothuries présentes en Algérie (Mezali et al. 2021). Ces études confirment que la biodiversité en holothuries reste encore sous-évaluée et nécessite des recherches complémentaires pour mieux caractériser leur répartition et leur statut écologique local.

**Tableau I. 1.** Taxonomie des holothuries du genre *Holothuria* (WoRMS 2025).

Règne	Animalia
Embranchement	Echinodermata
Sous-embranchement	Echinozoa
Classe	Holothuroidea
Sous-classe	Actinopoda
Ordre	Holothuriida
Famille	Holothuriidae, Mesothuriidae
Ordre	Dendrochirotida
Famille	Cucumariidae, Phyllophoridae, Psolidae, Paracucumidae, Rhopalodinidae, Thyonellidae, Ypsilothuriidae, Vaneyellidae, Sclerodactylidae, Placothuriidae, Heterothyonidae

### 1.1.1. Taxonomie du genre *Holothuria*

#### 1.1.1.1. Position systématique

Le genre *Holothuria* constitue le genre le plus important et le plus diversifié de la classe *Holothuroidea*, avec plus de 160 espèces, réparties en plusieurs sous-genres (WoRMS 2025). Il est inclus dans l'ordre *Holothuriida* (anciennement appelé *Aspidochirotida* à la suite d'une révision taxonomique basée sur des données moléculaires récentes), la sous-classe *Aspidochirotea*, la famille *Holothuriidae*.

#### **1.1.1.2. Distribution géographique**

Les holothuries se trouvent dans de nombreux biotopes marins à toutes les latitudes, des zones intertidales aux plus grandes profondeurs. Bien que certaines espèces se trouvent sur les substrats durs (roches, anfractuosités, récifs coralliens), elles sont surtout caractéristiques des fonds meubles, pouvant vivre soit à leur surface, soit, de manière temporaire ou permanente, dans le sédiment, n'exposent que leurs tentacules (Purcell et al. 2016). La répartition géographique des différents groupes occupant les zones littorales est marquée par la prédominance de l'ordre Holothuriida dans les zones intertropicales et celle des Dendrochirotes aux latitudes tempérées. Leur diversité est maximale dans les zones littorales tropicales (Lovatelli et al. 1998). Leur abondance varie en fonction des régions et substrats. En particulier, le littoral algérien accueille plusieurs espèces (Tab. III.2), dont *Holothuria tubulosa* et *Holothuria poli*, qui sont les plus fréquentes et abondantes (Mezali et al. 2021). Dans une moindre mesure, on peut y retrouver d'autres espèces, telles que *Holothuria arguinensis* et *Holothuria sanctori*.

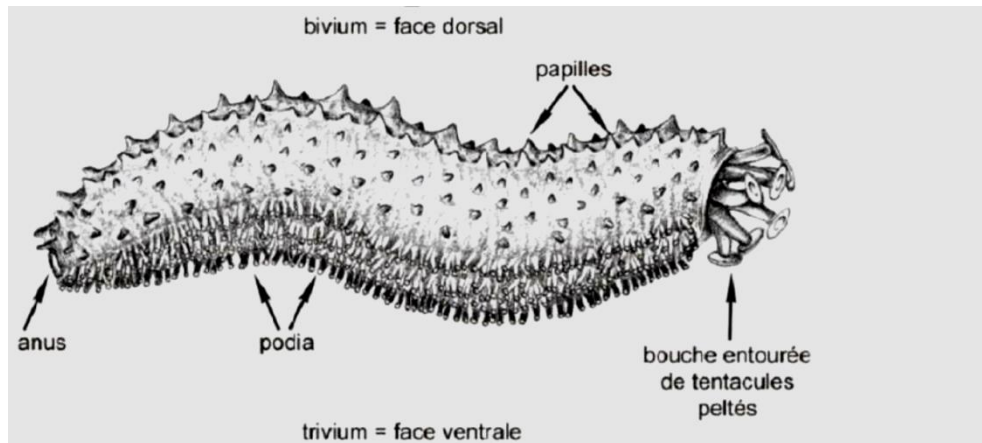
**Tableau I. 2.** Espèces de concombres de mer observées sur la côte algérienne : morphologie, habitat et distribution géographique.

Espèce	Taille (longueur)	Couleur & traits distinctifs	Habitat & profondeur	Répartition en Algérie
<i>Holothuria tubulosa</i>	Jusqu'à ~50 cm	Corps cylindrique brun, papilles visibles	Herbier, fonds sableux ou rocheux, 0–50 m	Ouest : Oran (Kristel, Cap Falcon, Port d'Oran) (Mecheta et al. 2020). Mostaganem : Stidia, Salamandre (Belbachir et al. 2019). Centre : Sidi-Fredj (Alger) (Mezali et al. 2021). Est : Figuier-Plage, Ouillis (Skikda) (Mezali et al. 2021).
<i>Holothuria poli</i>	Jusqu'à 25 cm	Peau sombre ou olive à taches, sécrétion de mucus	Sable ou herbiers, 0–50 m	Ouest : Oran (Kristel, Cap Falcon, Port d'Oran) (Mecheta et al. 2020). Mostaganem : Stidia, Salamandre (Belbachir et al. 2019). Est : Figuier-Plage (Skikda) (Mezali et al. 2021).
<i>Holothuria sanctori</i>	Jusqu'à 30 cm	Tégument rêche, cercles jaunâtres à la base des papilles	Rochers, 0–30 m	Confirmée à Mostaganem (Stidia, Salamandre) (Belbachir et al. 2019).
<i>Holothuria forskali</i>	Jusqu'à 30 cm	Noire avec points blancs, émet des tubes de Cuvier en cas de menace	Rochers, 0–50 m	Signalée à Mostaganem (Stidia, Salamandre) (Belbachir et al. 2019).
<i>Holothuria arguinensis</i>	Jusqu'à 40 cm	Brun ou olive, souvent associée à <i>H. tubulosa</i> .	Sable ou herbier, 0–40 m	Première mention : Tamentefoust, baie d'Alger (4,5 m) (Mezali et al. 2014). Ouest : Oran (Kristel, Cap Falcon, Port d'Oran) (Mecheta et al. 2020). Mostaganem : Salamandre (Mezali et al. 2020).
<i>Holothuria algeriensis</i> (espèce décrite d'Algérie)	20–30 cm	Proche de <i>H. tubulosa</i> , ossicules distincts	Rochers ou herbiers, 0–10 m	Décrite à Figuier-Plage (Skikda, localité-type) (Mezali et al. 2021). Aussi signalée à Sidi-Fredj (Alger), Stidia (Mostaganem), Ouillis (Skikda) (Mezali et al. 2021).

## 1.2. Anatomie et physiologie

### 1.2.1. Anatomie externe

Les holothuries sont des invertébrés benthiques qui ont une forme plus ou moins cylindrique. La bouche est située à l'extrémité antérieure et est pourvue d'un tentacule buccal court difficilement discernable à l'état de contraction (Fig. I.1). La peau est d'un brun clair tirant parfois vers le rouge ou le violacé (Bay-Nouailhat 2006–2025).

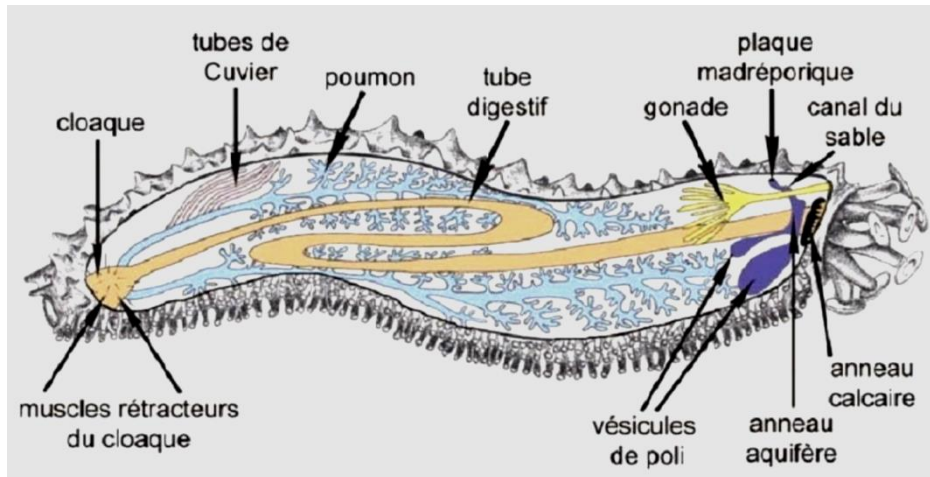


**Figure I. 1.** Morphologie externe d'une Holothurie (Samyn et al. 2006).

### 1.2.2. Anatomie interne

La cavité cœlomique est riche en liquides, sa composition est proche de celle de l'eau de mer, elle abrite des cellules spécialisées appelées cœlomocytes, composant le cœlome des holothuries (Fig. I.2). C'est dans cette cavité que baigne la majeure partie des organes de l'animal, à commencer par son tube digestif (Xing et al. 2008). On retrouve les arbres respiratoires qui forment deux organes ramifiés et gorgés d'eau permettant l'oxygénation de l'animal grâce à l'interaction avec le système circulatoire nommé système hémal. Ce système hémal va entre autres participer à l'absorption des nutriments, à l'excrétion des déchets métaboliques (Purcell et al. 2016). Dans la cavité cœlomique sont aussi visibles les gonades, en touffes ramifiées de tubules qui peuvent avoir une couleur différente selon l'espèce et l'état physiologique de l'holothurie. En outre, la plupart des holothuries sont gonochoriques, c'est-à-dire qu'il existe des individus mâles et d'autres femelles dans une même population. En revanche, certaines espèces peuvent être hermaphrodites, produisant, selon les conditions environnementales ou la densité de population, des gamètes mâles ou femelles (Hamel et Mercier 2011). Ces gamètes sont généralement logés dans la région dorsale interambulacraire, où les gonades communiquent à l'extérieur par le gonopore, situé dorsalement, juste en arrière des tentacules buccaux (Ruppert et al. 2004). La gonade des holothuries présente donc une taille et un développement

morphologique qui peuvent être très variables selon la période et leur stade de maturation, reflétant les cycles de reproduction saisonniers de l'espèce (Hamel et Mercier 2011).



**Figure I. 2.** Morphologie interne d'une Holothurie (Samyn et al. 2006).

### 1.2.2.1. Système aquifère

Un réseau aquifère, aussi désigné comme étant hydro-vacuolaire ou hydro-vasculaire, est spécifique aux échinodermes. Dans le cas des holothuries, il assure le contrôle de la locomotion, de l'adhérence au substrat et d'un certain nombre de fonctions physiologiques (Liu et Chen 2023).

Le système aquifère se compose notamment de la madréporite qui permet à l'holothurie de puiser l'eau par le biais de son canal pierreux puis par son canal annulaire qui encercle la bouche. On compte cinq canaux radiaires prenant leur origine en suivant les zones ambulacraires, et, pouvant alors alimenter les pieds ambulacraires. D'ailleurs, les pieds ambulacraires sont en rapport avec des ampoules contractiles qui, grâce à la pression hydraulique interne, vont permettre un déplacement lent par extension ou rétraction des pieds ambulacraires (Liu et Chen 2023). Chez certaines espèces, le rôle du système aquifère peut également comprendre le transport des nutriments et la respiration. Cette organisation hydraulique est déterminante pour la vie benthique et les fonctions vitales de ces animaux (Ruppert et al. 2004).

### 1.2.2.2. Système digestif

Le système digestif des holothuries se compose d'un long tube intestinal spiralé dans le sens des aiguilles d'une montre. Il réalise à la fois la digestion et l'absorption des matières organiques (Mary Bai 1994). L'ouverture buccale est plus ou moins arrondie et se situe au centre du péristome ou disque oral et l'extrémité du tube fait soit cloaque soit anus terminal ou dorsal selon les espèces (Grassé 1948; Féral et Cherbonnier 1982).

L'intestin varie considérablement d'une espèce à l'autre. La plupart du temps, il est compartimenté en 3 parties dont chacune peut être droite ou très convolutive. Les portions antérieures et postérieures du tube digestif, liées à la paroi du corps par des mésentères et des organes suspendus, contribuent à la stabilité du corps lors du mouvement en maintenant le tractus intestinal (Mary Bai 1994). Le tractus digestif peut avoir des fonctions autres que la digestion et l'absorption. En effet, il accumule les lipides et les protéines et est considéré de ce fait comme un organe de stockage, le matériel stocké va être utilisé durant l'hiver ou lors de l'activité reproductive (Massin et Jangoux 1976).

### **1.2.2.3. Système de défense**

Les holothuries ont développé plusieurs dispositifs de défense pour se protéger des attaques des prédateurs. L'un des plus connus est l'expulsion des organes de Cuvier par l'anus. Ce sont des filaments blancs, collants et toxiques qui servent à faire fuir un agresseur. Ce phénomène, qui s'apparente à l'éviscération, peut être associé à l'émission de certains organes internes qui seront restaurés ultérieurement (Brusca 1990). D'autre part, les holothuries présentent un comportement cryptique ; elles se confondent avec le substrat grâce à leur coloration, et se cachent sous des roches ou dans les sédiments. De plus, leur tégument est renforcé par des spicules calcaires microscopiques qui, par une protection mécanique, sont un atout supplémentaire (Bakus 1968). Il est à noter que certaines espèces produisent également des substances toxiques, notamment des saponines triterpéniques qui représentent des métabolites secondaires impliqués dans la défense chimique. Ces composés varient selon les espèces. Des saponines ont été identifiées chez les *Holothuria sanctori* et *Holothuria arguinensis*, traduisant une variabilité interspécifique importante (Conand 1998 ; Khodja et al. 2024). Ces différentes stratégies sont des garanties pour leur survie en milieu où la pression de prédation est forte.

### **1.3. Importance écologique des holothuries**

Le concombre de mer est considéré comme un ingénieur écologique des écosystèmes benthiques. En ingérant et digérant des sédiments organiques, il favorise la bioturbation, ce qui améliore l'oxygénation des sédiments, il facilite aussi le recyclage des nutriments en réduisant la concentration en matière organique, et limite donc le risque d'eutrophisation des zones côtières (MacTavish et al. 2012).

Sur le plan trophique, les concombres de mer sont principalement dépositivores et se nourrissent de particules organiques présentes à différentes profondeurs dans les sédiments. Cela participe donc à la stabilité et à la qualité écologique des habitats benthiques (Uthicke 1999).

Par leur activité de nettoyage et dépouillement, les concombres de mer ont un rôle d'amélioration de la qualité de l'eau et du bon fonctionnement des écosystèmes marins, ce qui en fait des partenaires privilégiés des systèmes d'Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI), où cohabitent plusieurs espèces simultanément dans un milieu commun, de façon à maximiser les ressources utilisées et à diminuer les incidences environnementales (Purcell et al. 2016).

#### **1.4.Intérêt économique et valorisation industrielle**

De nos jours, le commerce international des concombres de mer est particulièrement dynamique, parfois difficilement égalé par la valorisation d'une autre ressource marine en aquaculture (Purcell et al. 2014).

Il est également très important d'évaluer l'impact économique des concombres de mer. Dans de nombreuses régions du monde, ces animaux marins sont en effet des produits de luxe utilisés dans plusieurs domaines (culinaires, nutraceutiques et en médecine) (Purcell et al. 2012).

##### **1.4.1. Intérêt culinaire**

Les concombres de mer peuvent être consommés soit frais, soit transformés en bêche-de-mer. Dans ce second cas, l'opération consiste en une éviscération, une cuisson, un salage et enfin un séchage (Belkacem et al. 2022). De manière générale, les produits transformés, tels que ceux résultant de certaines espèces du genre *Holothuria*, sont utilisés dans la préparation de plats raffinés, notamment dans les pays asiatiques, et, au-delà de l'intérêt culinaire qu'on leur porte, ils sont aussi valorisés dans la médecine traditionnelle (Atanassova et al. 2019).

La bêche-de-mer sert traditionnellement à confectionner des soupes, des salades et plus généralement des plats mijotés en Asie. Son goût est reconnu comme fin et délicat, et sa texture est décrite comme fondante. Sa composition est caractérisée par une faible teneur en lipides, et une richesse en protéines et sels minéraux, ce qui en fait un aliment de choix sur le plan nutritionnel (Fabinyi et al. 2012 ; Mecheta et Mezali 2019).

Le produit séché est principalement exporté vers des pays comme la Chine, le Japon et la Corée, qui représentent tous de grands marchés de consommation, en particulier pendant les célébrations ou lors d'événements spécifiques (Bordbar et al. 2011). En effet, sur le marché international, le prix de la bêche-de-mer peut atteindre plusieurs centaines de dollars par kilogramme. Son prix, parfois conséquent, en fait donc une ressource économique stratégique à exploiter judicieusement par les pays producteurs pouvant leur permettre d'en tirer des gains considérables (Purcell et al. 2012).

#### **1.4.2. Rôle dans la bioremédiation des fonds marins**

En ingérant de grandes quantités de sédiments et en les excréant après digestion, les holothuries exercent un effet de bioturbation. Cela :

- Aère les sédiments.
- Accélère le recyclage de la matière organique.
- Mobilise des nutriments comme l'azote et le phosphore disponibles pour les algues benthiques (Uthicke 1999).

#### **1.4.3. Utilisation pharmaceutique**

Les concombres de mer constituent, dans le domaine pharmaceutique, une ressource fondamentale de composés bioactifs (Bahrami et al. 2015 ; Khodja 2025).

Parmi lesquels, on retrouve : les triterpènes, les saponines, les peptides antimicrobiens ou les glucosides triphosphates qui présentent un intérêt pour la santé et sont efficaces dans le traitement des inflammations ou des anomalies cardiovasculaires (Bordbar et al. 2011 ; Mena-Bueno et al. 2016).

D'après certaines études, les extraits de concombres de mer ont des propriétés anticancéreuses, d'où cette attention croissante des industriels pour les molécules marines, à la recherche de nouveaux médicaments (Ridhowati et al. 2015).

#### **1.4.4. Utilisation en cosmétique**

Des extraits issus de la peau des holothuries, dont le collagène et les acides aminés (éléments nécessaires à l'hydratation et à la régénération cellulaire) sont très recherchés, sont en train d'émerger pour des crèmes et sérums sur un marché très haut de gamme où ces éléments sont utilisés pour leurs effets anti-âges ou régénérants (Bordbar et al. 2011). Utilisés dans un cadre de recherche de cosmétiques naturels par la clientèle, ils pourraient donc constituer une alternative prometteuse en cosmétologie (Siahaan et al. 2017).

### **1.5. Régime alimentaire et comportement trophique**

Les concombres de mer sont principalement détritivores ou suspensivores :

Détritivores benthiques : La majorité des espèces, comme *Holothuria atra* ou *Apostichopus japonicus*, ingèrent des sédiments superficiels à l'aide de leurs tentacules buccaux. Ils digèrent la matière organique « micro-organismes (bactéries, diatomées, protozoaires), algues, matières fécales, etc... » et rejettent les particules inorganiques (Uthicke et Karez 1999). Les suspensivores qui se développent en milieu turbulent comme *Cucumaria frondosa* par exemple,

retiennent dans des ectodermes spécialisés des particules en suspension dans l'eau grâce à des tentacules branchés (Hamel et al. 2011).

Ce choix leur permet de consommer la fraction la plus fine des sédiments, plus riches en carbone organique et en azote, qui ont une importance cruciale pour leur métabolisme (Uthicke et Karez 1999).

Par exemple, *Holothuria poli* se nourrit essentiellement de sédiments de surface riches en matières organiques (Belbachir 2012). Elle ingère de grandes quantités de substrat et y sélectionne surtout les particules fines qui sont riches en carbone organique et en azote, deux éléments indispensables à son métabolisme (Uthicke 1999).

### **1.6.Reproduction chez les holothuries**

La reproduction est majoritairement sexuée, elle s'effectue par l'émission externe et synchronisée des gamètes ; ce procédé permet d'augmenter les probabilités de fécondation en pleine eau (Avila-Proveda et al. 2022).

La maturation gonadique, quant à elle, est fortement influencée par des facteurs environnementaux tels que la température de l'eau, la photopériode et la disponibilité en nourriture. En effet, ces éléments jouent un rôle déclencheur ou synchronisateur du cycle reproductif chez plusieurs espèces (Ramofafia et al. 2000).

#### **1.6.1. Modalités de reproduction chez les holothuries**

Après fécondation, le développement embryonnaire aboutit à la formation d'une larve planctonique, appelée auricularia, qui se transforme successivement en doliolaria puis en pentactula, avant de se fixer au substrat pour donner une juvénile benthique (Hamel et Mercier 2011). Ce cycle larvaire, dit cycle larvaire typique des échinodermes, peut s'étendre sur plusieurs semaines selon les facteurs environnementaux : la température et la quantité de ressources alimentaires disponibles (Conand 1993). Par ailleurs, l'holothurie peut avoir une reproduction asexuée par division binaire (Dolmatov 2014).

#### **1.6.2. Conditions environnementales influençant la reproduction**

La reproduction des holothuries est soumise à des paramètres environnementaux, comme la température de l'eau, la photopériode, la salinité, la disponibilité alimentaire et certains cycles lunaires (Marquet et al. 2017).

Parmi ces facteurs, la température est un paramètre clé car elle détermine tout d'abord le moment de maturation des gonades, puis celui du déclenchement de la ponte, qui coïncide en général avec les saisons les plus chaudes (Balatsou et al. 2025). La photopériode est également un puissant signal biologique et la nutrition constitue une étape importante pour la mise à disposition de

l'énergie pour la gamétogenèse (Hamel et Mercier 2011). La synchronisation dans certaines régions tropicales et tempérées des émissions de gamètes avec les phases lunaires ou les marées favorise l'accouplement et la fécondation externe dans la colonne d'eau (Hamel et Mercier 2011). Ces différents paramètres seront à prendre en compte pour la gestion des populations naturelles et pour la reproduction en captivité (Ramofafia et al. 2020).

## **2. Holothuriculture**

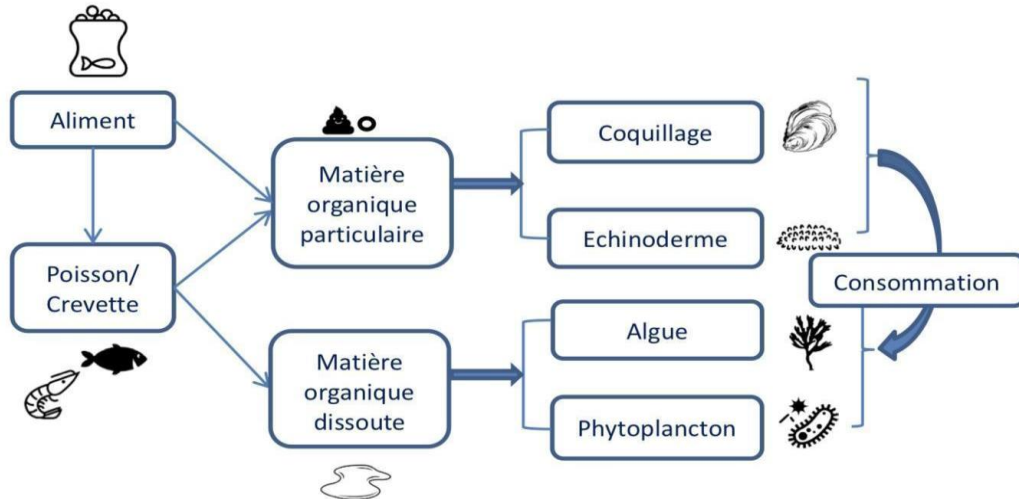
L'holothuriculture, qui est un type d'aquaculture, désigne l'élevage de concombres de mer (Holothuroidea) en milieu contrôlé et/ou semi-contrôlé avec des objectifs alimentaires, sanitaires et environnementaux.

Cette discipline scientifique cherche à satisfaire la demande très importante du marché asiatique, et à contribuer à la durabilité des écosystèmes marins en soutenant la restauration des populations naturelles surexploitées (Purcell et al. 2012).

Dans le domaine de l'holothuriculture, le succès de l'élevage repose sur deux principes : la maîtrise des techniques de reproduction *in vitro* et l'utilisation de paramètres de croissance optimaux.

## **3. Intégration des holothuries dans l'Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI)**

L'Aquaculture Multitrophique Intégrée (AMTI) repose sur l'élevage simultané de différentes espèces correspondant à des niveaux trophiques différents, permettant de tirer parti des déchets organiques et des ressources naturelles, par l'association des espèces autotrophes (algues) utilisant les nutriments inorganiques et des espèces hétérotrophes (poissons, crustacés, holothuries) (Fig. I.3) qui tirent leur nourriture de matières organiques ou de particules en suspension. Ce modèle d'élevage repose sur un écosystème aquacole plus équilibré où les sous-produits et déchets d'une espèce peuvent être des ressources pour un autre (Troell 2009 ; Granada et al. 2015 ; Neori et al. 2017). Les objectifs principaux de l'Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI) sont de réduire la pollution et d'accroître la productivité. En effet, l'AMTI optimise l'efficacité écologique en réduisant l'eutrophisation des eaux, ce qui diminue l'impact environnemental. Et, sur le plan économique, elle permet aux producteurs de diversifier leurs revenus et potentiellement d'augmenter sa rentabilité grâce à une utilisation plus rationnelle des espaces et des ressources (Troell et al. 2009 ; Chopin et al. 2012).



**Figure I. 3.** Schéma des interactions dans un élevage AMTI combinant des espèces nourries et des espèces extractives (Aubin 2018).

### 3.1. Rôle des holothuries dans les systèmes intégrés

Les holothuries assurent, dans les systèmes d'Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI), la valorisation de déchets organiques résultant de la culture des autres espèces d'intérêt économique (Molnar et al. 2013). En s'alimentant de particules organiques qui se trouvent dans l'environnement aquatique, sous forme de particules en suspension qu'elles récupèrent dans leur activité de filtration, et de sédiments au sein desquels elles contribuent à dégrader la matière organique, les holothuries participent au processus de bioremédiation des effluents aquacoles, ce qui contribue à améliorer la qualité de l'eau et limiter la pollution locale (Besoña et al. 2024). La bioturbation qu'elles entraînent participe à la circulation des nutriments, ainsi qu'à l'aération des sédiments, ce qui amène à augmenter la productivité globale du système (Ennas et al. 2023). Par ailleurs, l'élevage des holothuries en AMTI permet une valorisation des zones et des ressources, diversifiant l'économie locale, tout en répondant à la demande croissante d'une aquaculture qui serait durable pour l'environnement des installations aquacoles. Ceci est d'autant plus pertinent dans les zones côtières où l'on surveille l'impact écologique des fermes marines intensives (Chopin et al. 2012).

### 3.2. Exemples de réussite des systèmes d'Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI)

1. Chine (Shandong) : dans les fermes maritimes multi-espèces avec huîtres et palourdes, *Apostichopus japonicus* a été introduit. Les travaux de recherche indiquent que les sédiments organiques y sont réduits de 50 % et que la rentabilité a crû (Halwart et al. 2009 ; Watanabe 2017).

2. Canada (Nouveau-Brunswick) : saumons, moules, algues *Saccharina latissima* et concombres de mer (*Cucumaria frondosa*) sont intégrés dans un système AMTI côtier. Pour les résultats : impacts benthiques réduits et revenus supplémentaires pour les aquaculteurs (Chopin 2015).

3. Vietnam : *Holothuria scabra* est élevée avec les crevettes *Penaeus monodon* en élevage dans des bassins. Les concombres consomment les déchets des crevettes et réduisent les pathogènes dans les sédiments (Nguyen et al. 2024).

### **3.3.Espèces associées dans les systèmes d’Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI)**

Plusieurs espèces peuvent être intégrées avec les concombres de mer dans les AMTI, selon leurs interactions trophiques et le cycle de la matière. La présente étude vise à tester l’efficacité de plusieurs systèmes expérimentaux. Nous décrivons ci-dessous des généralités sur ces espèces et leurs rôles dans les systèmes AMTI :

#### **3.3.1. Les concombres de mer**

Les holothuries appartiennent à l’embranchement des échinodermes (classe Holothuroidea). Elles sont des organismes détritivores benthiques qui jouent un rôle clé dans le recyclage de la matière organique (Mezali et al. 2012). En ingérant les sédiments riches en particules organiques, ils améliorent la qualité du substrat et contribuent à réduire l’eutrophisation. Leur intégration dans les systèmes d’aquaculture multi-trophique constitue une approche durable pour valoriser les déchets organiques issus de la pisciculture (Domínguez-Godino et al. 2015).

#### **3.3.2. Les bivalves**

Les bivalves, tels que la moule méditerranéenne (*Mytilus galloprovincialis*) et l’huître creuse (*Crassostrea gigas*), appartiennent à l’embranchement des mollusques (classe Bivalvia). Ce sont des organismes filtreurs qui se nourrissent de particules en suspension, incluant le phytoplancton et les débris organiques. Leur intégration dans les systèmes AMTI améliore la qualité de l’eau tout en réduisant les rejets organiques. En coculture avec les holothuries, ils assurent une complémentarité fonctionnelle entre filtration de la colonne d’eau et recyclage du sédiment (Hannah et al. 2013 ; Domínguez-Godino et al. 2019).

#### **3.3.3. Les poissons**

Le bar européen (*Dicentrarchus labrax*), appartenant à la classe des Actinopterygii et à la famille des Moronidae, ainsi que le saumon atlantique (*Salmo salar*), appartenant à la famille des Salmonidae, sont souvent utilisés dans les systèmes d’aquaculture intégrée. Ces poissons

produisent des fèces et des rejets alimentaires riches en matière organique, qui représentent une ressource nutritive essentielle pour les concombres de mer. L'intégration des holothuries dans les élevages de bars ou de saumons permet de valoriser efficacement ces déchets organiques et de réduire leur accumulation, contribuant ainsi à limiter les impacts environnementaux et à améliorer la durabilité du système aquacole (Domínguez-Godino et al. 2015 ; Neori & Shpigel 2020).

#### **3.3.4. Les oursins**

L'oursin comestible (*Paracentrotus lividus*), appartenant à la classe des Echinoidea, est un herbivore qui consomme principalement des algues. Dans les systèmes AMTI, il permet de valoriser les débris algaux souvent disponibles en abondance. Sa compatibilité avec les concombres de mer dans des systèmes de polyculture a montré des résultats encourageants en termes de survie et de résilience écologique (Fernández-Boo et al. 2017).

#### **3.3.5. Les crevettes**

Les crevettes, telles que *Litopenaeus vannamei*, appartiennent à l'embranchement des arthropodes (classe Crustacea, ordre Decapoda). Leur élevage en polyculture avec les holothuries permet une meilleure utilisation des rejets organiques, notamment les fèces et les restes alimentaires. Les holothuries transforment ces déchets en biomasse exploitable, ce qui améliore à la fois la survie et le taux de croissance dans le système (Slater et Carton 2007).

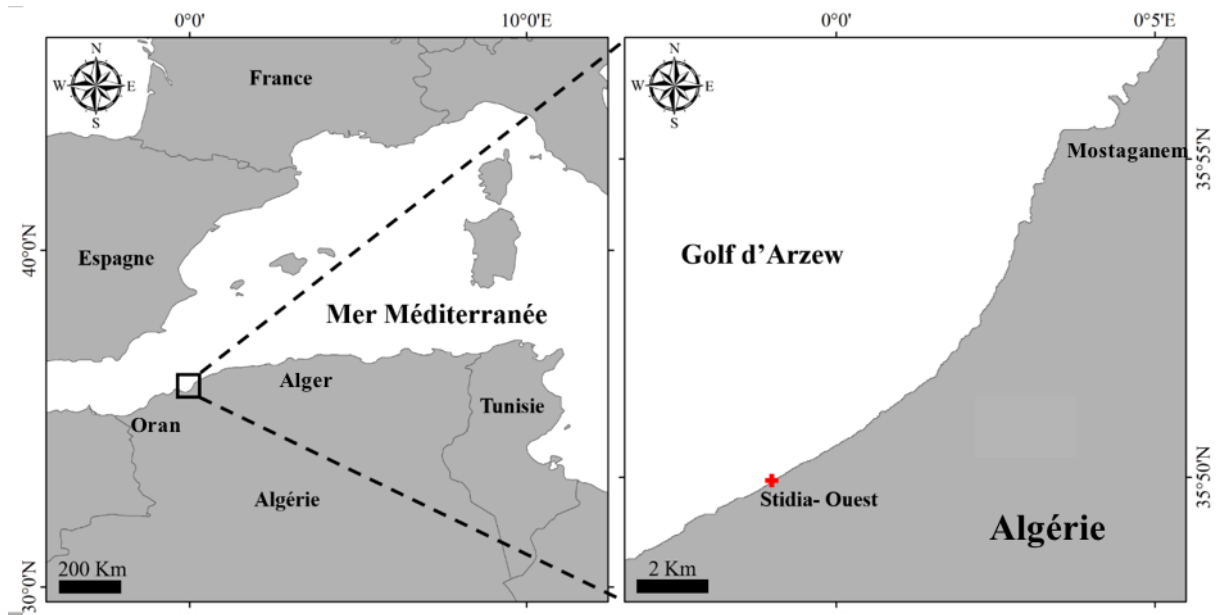
#### **3.3.6. Les macroalgues**

Les macroalgues, comme *Ulva spp.* (Chlorophyta) et *Gracilaria spp.* (Rhodophyta), Ils jouent un rôle central en tant que biofiltres naturels. Elles absorbent les nutriments excédentaires (azote, phosphore) présents dans l'eau, limitant ainsi les risques d'eutrophisation. De plus, elles constituent une ressource alimentaire pour les oursins et, indirectement, pour les holothuries par la production de débris algaux. Leur intégration dans l'AMTI permet de renforcer la durabilité et l'équilibre écologique du système aquacole (Neori et Shpigel, 2020).

## ***Chapitre II : Matériel et méthodes***

### 1. Zone d'étude

Nous avons collecté les échantillons (concombres, oursins et algues), sédiments et l'eau de mer à partir de l'Ouest du site de Stidia. Cette station est localisée au sud-ouest de la ville de Mostaganem (Fig. II.1). Le substrat y est essentiellement rocheux, parfois sableux, et entrecoupé par de petits cours d'eau. Située à mi-chemin entre les ports de Mostaganem et d'Arzew, la zone est soumise à des risques de pollution (Belbachir 2012). Le fond marin est constitué d'une mosaïque de substrats rocheux, graveleux et sableux abritant un herbier de *Posidonia oceanica* à partir d'une profondeur de -1,5 mètre (Belbachir et Mezali 2018). Cet habitat est un lieu de vie privilégié pour de nombreux échinodermes, notamment les oursins (*Paracentrotus lividus*, *Arbacia lixula*) et les holothuries (*Holothuria tubulosa*, *H. poli*, *H. forskali*, *H. sanctori*) (Belbachir et Mezali 2018). Cependant, cette région est actuellement soumise à une pression anthropique, due au développement urbain et industriel qui a entraîné le rejet d'eaux usées ou industrielles non traitées dans les milieux aquatiques côtiers (Taleb et al. 2015). De plus, des investigations récentes ont mis en exergue la présence de microparticules plastiques sur la plage de Stidia (Bentaallah et al. 2024).



**Figure II. 1.** Localisation de la zone d'échantillonnage Stidia Ouest (Lebouazda et al. 2022, modifiée).

### 2. Échantillonnage

La collecte des échantillons a été réalisée le 1er mai 2025. Après un retard considérable dû à des conditions météorologiques défavorables, mettant hors d'accès le site pendant plusieurs semaines. La température à la surface de l'eau de mer était de 24 °C. Lors de cette sortie, nous avons collecté 42 spécimens d'holothuries (*Holothuria tubulosa*) (Fig. II.2. A) par plongée sous-marine à des

profondeurs comprises entre 7 et 11 mètres. Ainsi que, 24 individus d'oursins (*Paracentrotus lividus*) (Fig. II.2. B) ont été prélevés manuellement dans des zones rocheuses caractérisées par la présence de végétation algale. La récolte des débris d'algues a été également réalisée à pied et manuellement au niveau de la zone intertidale (*Ulva lactuca*, *Dictyota Gracilaria* et *Ceramium* ainsi que des feuilles mortes de *Posidonia oceanica*).

Le transport des échantillons a été réalisé dans de l'eau de mer pour réduire le stress et assurer leur viabilité.



**Figure II. 2.** Échantillons collectés (A) holothuries et (B) oursins et débris d'algues.

### 3. Installation des bacs de culture

Pour la culture, un dispositif d'élevage installé dans le laboratoire de recherche LPVRMSM (Protection, Valorisation des Ressources Marines Littorales et de Systématique Moléculaire) à une capacité de 130 à 140 litres, conforme aux besoins de déplacements des espèces et à leur biomasse (Agudo 2007). Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau ont été contrôlées dans des valeurs normales pour l'eau de mer : température de 24 à 28 °C, salinité de 32 ‰, pH de 7,8 à 8, oxygène dissous au minimum de 6 mg/L (Agudo 2007). Pour les expérimentations réalisées avec le sédiment a été déposé au fond des bacs (Fig. II.4) (Zamora et Jeffs 2011), afin de recréer les conditions naturelles des substrats où vivent les holothuries et les oursins, favorisant ainsi leur

comportement de fouissement et leur alimentation (Uthicke 2001 ; Michio et al. 2003 ; Mezali et al. 2013).



**Figure II. 3.** Bacs de cultures expérimentales installés au laboratoire.

#### **4. Système d'intégration multitrophique**

Le concept de l'AMTI s'est imposé en tant que méthode d'exploitation en aquaculture, intégrant différentes espèces aquatiques, de niveaux trophiques différents, permettant ainsi le recyclage des nutriments excédentaires produits par les espèces nourries et limitant ainsi les impacts environnementaux de l'aquaculture « classique » (Troell et al. 2009). Cette démarche permet ainsi une valorisation optimisée des nutriments, mais aussi une vraie durabilité des systèmes aquacoles.

Le système AMTI de la présente étude est composé d'oursins et de concombres de mer par bac (Agudo 2007). Les oursins vont assurer l'ingestion des matières grasses en suspension et le contrôle indirect des algues indésirables ; les concombres de mer sont des espèces extractives qui ingèrent les sédiments chargés en matière organique (Grosso et al. 2021).

L'association de différentes espèces favorise ainsi une valorisation optimale des nutriments, réduit les risques de pollution et permet d'améliorer la productivité globale du système aquacole. L'approche s'inscrit dans une démarche de durabilité environnementale et de diversification des productions aquacoles (Troell et al. 2009 ; Chopin 2018).

##### **4.1.Premier essai : Holothuries alimentée par la farine de poisson (Monoculture)**

Un premier essai de monoculture d'holothurie a été établi dans le bac, dont l'alimentation farine de poisson qui est constituée de 2% de poids total (Fig. II.4) incorporée à une fraction de sédiment prélevé (Zamora et al. 2012 ; Gamboa-Delgado et al. 2021). L'ajout de farine de poisson au

substrat sédimentaire est également choisi pour accroître la biodisponibilité des nutriments, ainsi qu'une meilleure répartition des aliments perdus dans la colonne d'eau au profit d'une stabilisation du milieu de culture (Seo et al. 2011).



**Figure II. 4.** Pesage de farine de poisson.

#### **4.2. Deuxième essai : Holothuries et oursins nourries avec les débris d'algues (Polyculture)**

Pour le deuxième essai, un système polyculture avec sédiment a été mis en place combinant les holothuries et les oursins avec des débris d'algues déposés dans des cages (Fig. II.5). Les oursins captant des particules algales plus grossières, consolident la complémentarité trophique (Zamora et al. 2016 ; Grosso et al. 2020). Cette configuration vise à tester une approche intégrée s'inspirant de l'aquaculture multitrophique, où chaque compartiment biologique contribue à l'équilibre de l'ensemble et à l'épuration de l'eau de mer (Choudhary et al. 2022).



**Figure II. 5.** Bac de polyculture : les holothuries avec les oursins en cages nourries avec les débris d'algues.

## 5. Suivi et évaluation

### 5.1. Suivi journalier

Un suivi quotidien a été instauré afin de suivre l'évolution du milieu et documenter les conditions d'élevage (Boyd 1998) :

- Renouvellement de l'eau de mer des bacs (Fig. II.6) par siphonage puis pompage d'une nouvelle eau de mer filtrée pour améliorer la qualité du milieu (Timmons et Ebeling 2012).

- Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau : le pH, salinité et température et oxygène dissous afin de vérifier la stabilité du système et de tenir compte des conditions d'élevage (Boyd 2015 ; Barbier 2022 ; Lindholm-Lehto 2023).

- Comptage et pesage des individus morts (oursins et concombres de mer) à chaque fois à l'aide d'une balance pour obtenir les valeurs pour calculer et évaluer les résultats (Lovatelli et al. 2004).

- Alimentation : les 2 bacs étaient alimentés d'une façon quotidienne avec 2% de leur poids total de : 1) soit la farine de poisson de débris d'algues (Tacon et Metian 2008 ; Slater et Carton 2009).



**Figure II. 6.** Renouvellement d'eau par un siphonage.

### 5.2. Suivi de la croissance des holothuries et des oursins

Un suivi de croissance a été effectué tous les 15 jours par pesée des individus présents dans chaque bac (holothuries et oursins) à l'aide d'une balance d'une précision ( $10^{-3}$ ) (Fig. II.7), afin d'assurer le suivi de la biomasse et la performance de chacun des dispositifs expérimentaux (Barbier 2022). Les manipulations ont été réalisées avec précaution afin de limiter le stress des organismes et préserver la stabilité du système.



**Figure II. 7.** Pesage du poids total des individus (holothuries, oursins).

## 6. Paramètres évalués

Afin d'évaluer les résultats de ces essais, nous avons calculé et analysé les paramètres suivants :

### 6.1. Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques de l'eau : température, salinité, pH et oxygène dissous ont été suivis quotidiennement. Pour chacun de ces paramètres, la moyenne, l'écart-type, ont été calculés dans le but de caractériser le milieu d'élevage. Ces mesures sont essentielles pour permettre l'interprétation des performances biologiques observées (Boyd 2015 ; Barbier 2022 ; Lindholm-Lehto 2023).

### 6.2. Taux de croissance

Taux de croissance spécifique (SGR), un indicateur qui exprime la vitesse de croissance des individus (holothuries et oursins) par jour en pourcentage du poids initial, cette formule et couramment utilisée en aquaculture (Purcell et al 2010 ; Domínguez-Godino et al. 2018) :

$$SGR(\%) = \frac{\ln \ln (P_f) - \ln \ln (P_i)}{t} \times 100$$

Avec :  $P_i$  est le poids initial (en gramme),  $P_f$  : le poids final (en gramme) et  $t$  : la durée de l'expérience.

### 6.3. Taux de mortalité (TM)

C'est le pourcentage des espèces mortes pendant l'expérience par rapport au poids initial (Purcell et al 2010 ; Domínguez-Godino et al. 2018) :

$$TM(\%) = \frac{MT}{P_i} \times 100$$

Où MT est la mortalité totale (g) et  $P_i$  le poids initial (g) des holothuries.

### 6.4. Taux de survie

C'est le pourcentage de poids d'individus restés vivants à la fin de l'expérience par rapport au poids initial (Purcell et al 2010 ; Domínguez-Godino et al. 2018) :

$$TS(\%) = \frac{P_f}{P_i} \times 100$$

Où le  $P_f$  est le poids final des survivants et le  $P_i$  est le poids initial total

## ***Chapitre III : Résultats et discussion***

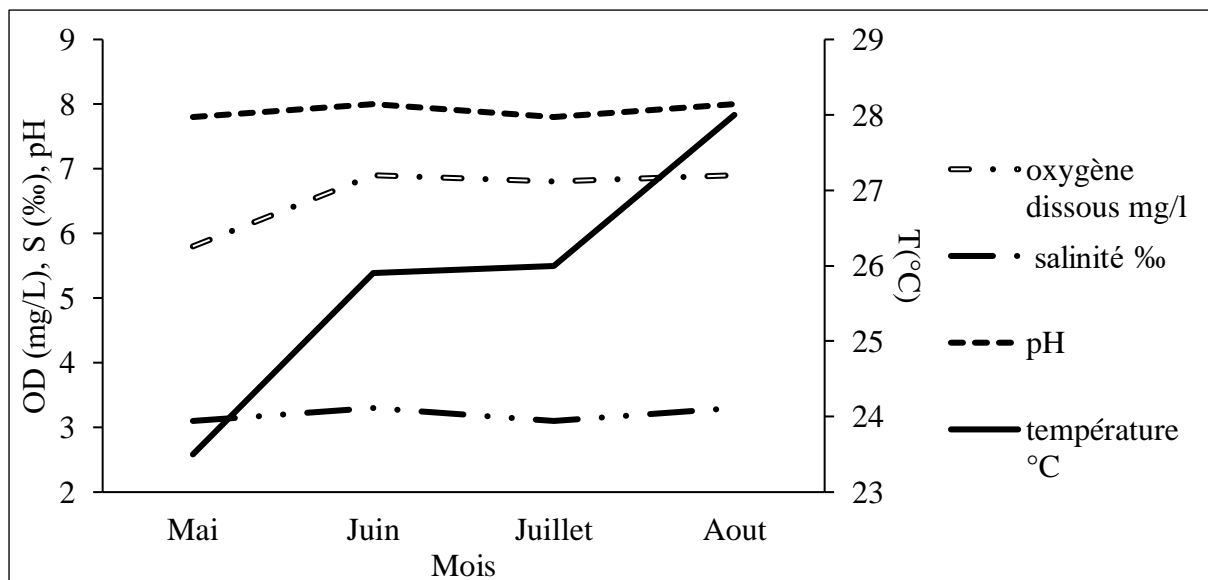
### 1. Evaluation des essais de mono et polyculture

Nous avons réalisé deux essais. Le premier contient un bac contenant des individus d'holothuries dont le poids était de 544,35 grammes. Leur alimentation consiste en 11 grammes par jour de farine de poisson.

Pour le deuxième essai, nous avons placé une polyculture composée des individus d'holothuries avec un poids total de 728 grammes et des oursins avec un poids total de 247,87 grammes dans des cages dans le même bac des holothuries.

### 2. Suivi mensuel des paramètres physico-chimiques

Le suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer au cours de l'expérimentation (Fig. III.1), de mai à août 2025, a permis d'évaluer la stabilité et la qualité du milieu d'élevage d'holothurie. La température a montré une variation marquée entre la période relativement froide (mai-juin), avec une moyenne de 24,5°C, et la période chaude (juillet-août), dont la moyenne était de 27°C. La salinité est restée relativement stable, traduisant un bon contrôle du système et une faible influence des apports extérieurs, autour de 3,2 ‰, traduisant un bon contrôle du système. Le pH s'est maintenu dans une plage neutre à légèrement alcaline ( $\approx 7,8$ ), compatible avec les conditions optimales de survie des échinodermes. Quant à l'oxygène dissous, ses valeurs se sont maintenues dans des niveaux favorables, avec une moyenne d'environ 6,85 mg/L.

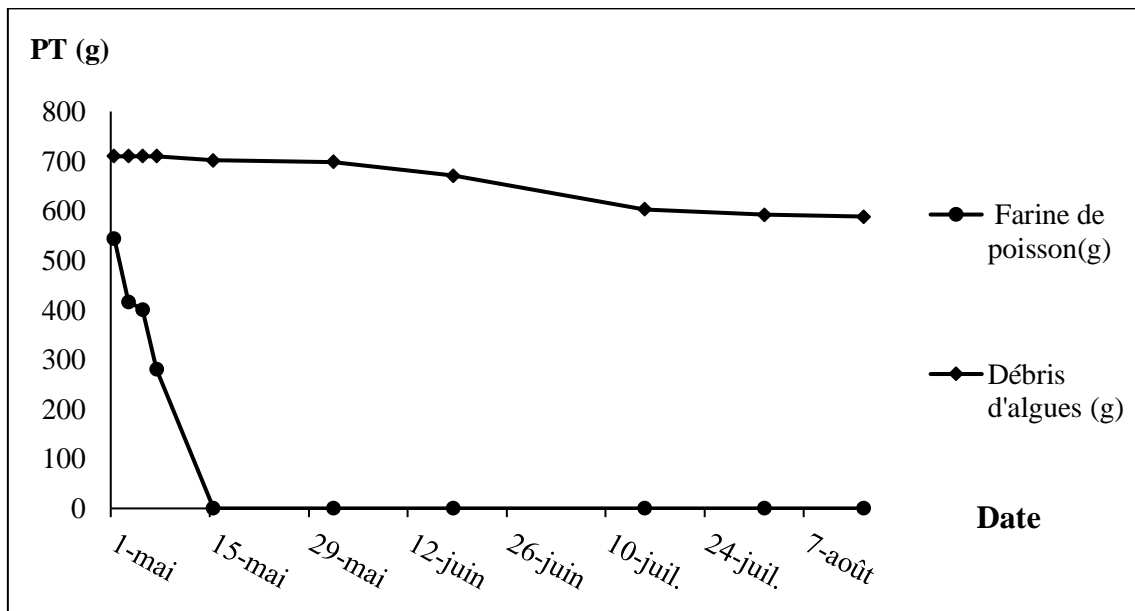


**Figure III. 1.** Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer au cours de l'expérimentation.

### 3. Évolution du poids des holothuries et des oursins selon le type d'aliment

#### 3.1. Evolution du poids des holothuries

La variation des poids totaux des individus des holothuries au cours de la période expérimentale de la monoculture met en évidence l'influence du type d'aliment distribué dans les bacs (Fig. III.2). Les résultats montrent une tendance plus favorable à la stabilité avec des fluctuations modérées autour de la valeur initiale qui est traduite par un maintien du poids. Dans le premier bac, les holothuries sont alimentées de la farine de poisson, la courbe présente une diminution progressive du poids remarquable dès les premiers jours de l'expérimentation, atteignant une perte totale des individus. Pour le deuxième bac, où les holothuries recevaient des débris d'algues fraîches, il révèle des variations intermédiaires avec parfois des phases de perte ou de stabilisation, indiquant une variabilité plus marquée par rapport au premier bac.



**Figure III. 2.** Variation du poids total des holothuries selon le type d'aliment.

#### 3.2. Evolution du poids des oursins

La figure (III.3) illustre l'évolution du poids total des oursins nourris avec les débris d'algues. Elle montre une diminution plus nette. Le poids total initial proche de 360 grammes diminue légèrement au fil du temps pour se maintenir au-dessus de 300 grammes à la fin de la période de l'expérimentation.

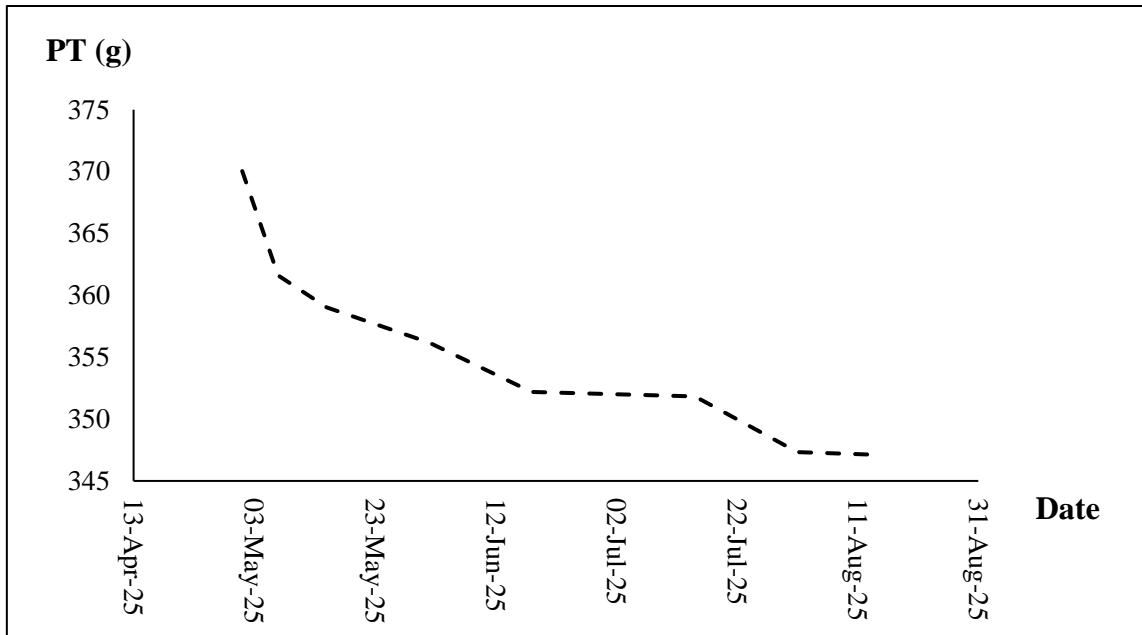


Figure III. 3. Variation du poids total des oursins.

#### 4. Performance zootechnique selon les conditions expérimentales

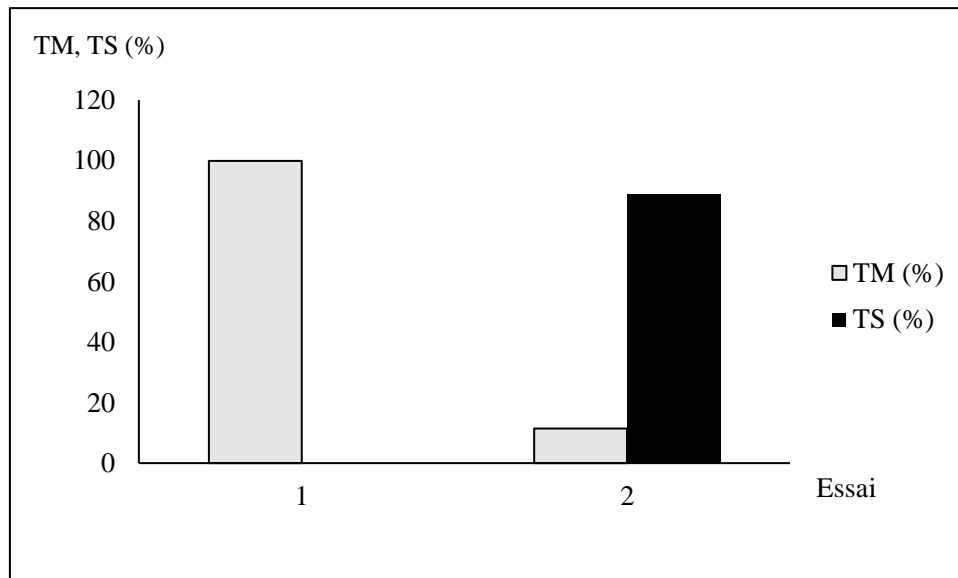
Le tableau (III.1) présente les valeurs du taux de croissance (SGR), du taux de mortalité (TM) et du taux de survie (TS) d’holothuries dans les deux essais avec les différentes conditions expérimentales. Dans le bac de la monoculture avec aliment à base animal (farine de poisson), les résultats, montrent une mortalité totale (100 %) empêchant le calcul de SGR. Pour le bac de polycultures, (holothuries + oursins avec sédiments et débris d’algues) se distingue par les meilleurs résultats, avec une mortalité limitée à 11,4 %, une survie maximale de 88,6 % et un SGR moins négatif de  $-0,114$  %/j.

Tableau III. 1. Comparaison des taux de croissance (SGR%), taux de mortalité (TM %) et taux de survie (TS%) des holothuries dans les deux bacs expérimentaux

Bac	Régime alimentaire / Condition	SGR (%/j)	TM (%)	TS (%)
1	Farine de poisson (monoculture)	–	100,0	0,0
2	Holothuries + oursins avec sédiments et débris d’algue	-0,114	11,4	88,6

La figure (III.4) met en évidence la répartition des taux de mortalité (TM) et le taux de survie (TS) des individus d’holothuries par bac selon les conditions expérimentales. Le bac en monoculture à base de farine de poisson enregistre une mortalité totale (100 %) et une survie nulle (0 %), confirmant la disparition complète des individus dans ces conditions. Par contre,

le Bac 2 (polyculture) présente les performances les plus favorables avec une survie élevée de 88,6 % et une mortalité limitée à 11,4 %.



**Figure III. 4.** Variations de taux de mortalité (TM %) et taux de survie (TS %) d’holothuries selon les expériences réalisées.

### Discussion

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude et ces essais mettent en évidence l’importance de plusieurs facteurs déterminants pour la réussite de l’élevage d’holothurie en conditions contrôlées. Tout d’abord, le type d’aliments a montré une influence directe sur la survie et le maintien du poids des individus. L’alimentation d’origine végétale surtout algale (débris d’algues) a permis d’assurer une survie notable, supérieure à 75 %, malgré des taux de croissance spécifiques restant toujours négatifs. À l’inverse, le régime à base de farine de poisson a conduit à une mortalité totale au bout de quelques jours, confirmant l’inadéquation d’une alimentation strictement carnée pour cette espèce détritivore benthique, dont le métabolisme est mieux adapté à l’ingestion de matières organiques d’origine végétale et microbienne (Purcell et al. 2012).

L’association avec d’autres espèces, notamment *Paracentrotus lividus*, a donné des résultats contrastés. Dans certaines conditions (Bac 2), la polyculture a permis d’obtenir les performances les plus favorables, avec un taux de survie élevé et une mortalité réduite, traduisant une certaine complémentarité écologique entre les espèces (Grosso et al. 2020).

L'effet des paramètres environnementaux, en particulier la température, a été déterminante. Les meilleures performances ont été enregistrées durant la période expérimentale : mai à juin (23,5–25,9 °C) et juillet à août (26–28 °C) se sont traduites par une augmentation des pertes pondérales. Cette tendance confirme que les holothuries sont sensibles aux variations thermiques, où les températures modérées favorisent l'ingestion et la digestion des aliments alors que les températures élevées sont sources de stress physiologique et affectent la croissance (Agudo 2007 ; Barbier 2022).

Dans l'ensemble, les résultats de cette recherche ont permis de conclure que l'élevage d'holothurie en Algérie nécessite la combinaison de plusieurs facteurs pour être viable : une alimentation à base végétale (algue), ainsi qu'une gestion adaptée aux conditions thermiques. L'intégration raisonnée en polyculture, notamment avec des oursins et des algues, apparaît comme une piste prometteuse, à condition d'optimiser les associations d'espèces et les régimes alimentaires afin de limiter les pertes pondérales et de maximiser la survie et de contribuer à la création d'un système écologique fermé.

### **Contraintes rencontrées**

Cette étude, qui repose sur une série d'expériences a été soumise à plusieurs contraintes et difficultés méthodologiques et logistiques qui ont pu influencer sur les résultats obtenus

#### 1. Contraintes climatiques et calendrier d'échantillonnage

L'instabilité et les fluctuations saisonnières des températures ont entraîné des retards dans la collecte des spécimens et dans l'échantillonnage. Ces délais ont pu modifier les conditions initiales de l'expérimentation et raccourcir la durée du travail, notamment en affectant la température de l'eau ou la composition du sédiment, ce qui peut perturber le métabolisme des holothuries et des oursins.

#### 2. Courte durée de l'expérimentation

L'ensemble de ces essais est déroulé sur une période limitée (mai-août), ce qui limite l'observation et l'évolution comme la croissance. Une durée courte peut exagérer les effets transitoires (stress, adaptation) sans permettre de voir la possibilité de certaines pertes se stabiliser ou s'inverser.

## **Conclusion**

Le présent mémoire a permis d'explorer le potentiel de l'holothuriculture en Algérie, en comparant spécifiquement les croissances de concombre de mer dans différents systèmes d'Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI). En effet, cette espèce largement répandue sur les côtes méditerranéennes pourrait s'imposer comme un acteur fondamental de la durabilité aquacole, grâce, notamment, à sa capacité à recycler la matière organique (Uthicke 2001 ; Purcell et al. 2016).

De plus, les essais comparatifs entre une alimentation à base de farine de poisson et de débris d'algues ont révélé la supériorité de cette dernière en termes de durabilité et d'acceptabilité pour les holothuries. Les débris d'algues permettent en effet d'une part de profiter d'une ressource végétale de proximité, peu coûteuse et à faible empreinte écologique, de réduire d'autre part la dépendance envers les protéines animales qui accentuent la pression sur les ressources halieutiques (Chopin et Tacon 2020 ; Xia et al. 2022).

L'intégration de concombre de mer avec d'autres organismes tels que les algues et les oursins a illustré les avantages et limites de l'AMTI. En effet, la mortalité rapide des oursins face à l'accumulation de matière organique a démontré leur grande sensibilité aux variations de la qualité du milieu, tandis que le concombre de mer a montré une meilleure résilience mais sans croissance significative. Ces résultats rejoignent les constats de Troell et al. (2009) sur la complexité de concevoir des systèmes AMTI stables.

Du point de vue économique et stratégique, l'holothuriculture constitue une opportunité pour l'Algérie dans le cadre du développement de l'économie bleue (Purcell 2014 ; Eriksson et Clarke 2015). En effet, l'intégration d'une filière structurée au sein de l'aquaculture nationale est susceptible de promouvoir la diversification de la production aquacole, de permettre la création d'emplois et la génération de revenus d'exportation tout en garantissant la valorisation des ressources locales de façon durable.

### **Perspectives :**

- Élaborer des systèmes AMTI pilotes combinant concombre de mer, macroalgues, et oursins, en vue d'optimiser l'efficacité écologique ;
- Approfondir les essais physiologiques et nutritionnels de concombre de mer pour proposer des régimes alimentaires adaptés.

## Références bibliographiques

### «A»

- Agudo, N. (2007). Sandfish hatchery techniques. Nouméa, New Caledonia: Secretariat of the Pacific Community (SPC), Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) & WorldFish Center.
- Atanassova, M., Dimitrova, V., & Ivanov, S. (2019). Utilisation alimentaire et médicinale des concombres de mer. *Journal of Ethnobiology*, 45(2), 223–238.
- Avila-Poveda, O. H., Benítez-Villalobos, F., Parker, G. A., Cancino-Guzman, H., & Ramos-Ramirez, E. (2022). Maximum gonad investment of the sexes of the broadcast-spawning sea cucumber *Holothuria (Halodeima) inornata* (Echinodermata: Holothuroidea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 102(1–2), 99–111.

### «B»

- Bakus, G. J. (1968). Defensive mechanisms and ecology of some tropical holothurians. *Marine Biology*, 2, 23–32.
- Bay-Nouailhat, A., & Bay-Nouailhat, J.-L. (2006–2025). DORIS – Données d’Observations pour la Reconnaissance et l’Identification de la faune et de la flore subaquatiques. Société Française d’Ichtyologie.
- Belbachir, N. D. (2012). Rôle des holothuries dans le fonctionnement du réseau trophique de l’écosystème à *Posidonia oceanica* (L Delile) (1813) de la frange côtière de Mostaganem. (Mémoire de magister). Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem.
- Belbachir, N., & Mezali, K. (2018). Food preferences of four aspidochirotid holothurian species inhabiting the *Posidonia oceanica* meadow of Mostaganem area (Algeria). *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 38, 55–60.
- Belbachir, N., & Mezali, K. (2020). Seasonal variation in food intake of *Holothuria (Roweothuria) poli* of *Stidia* in Mostaganem, Algeria. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 40, 27–32.
- Belkacem, H., & Mezali, K. (2022). Culinary valorisation of sea cucumbers from the Algerian west coast. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 42, 73–77.
- Belkacem, H., Mezali, K. & Khodja, I. (2024). Nutritional value and culinary valorization of sea cucumbers from the Mostaganem region (Algerian west coast). *Cahiers de Biologie Marine*, 65: 279-285 Doi: 10.21411/CBM.A.4A2A1DCC
- Bentaallah, M. E. A., Baghdadi, D., Gündoğdu, S., Megharbi, A., Taibi, N.-E., & Büyükdeveci, F. (2024). Assessment of microplastic abundance and impact on recreational beaches along the western Algerian coastline. *Marine Pollution Bulletin*, 199, 116007.

- Bordbar, S., Anwar, F., & Saari, N. (2011). High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods—A review. *Marine Drugs*, 9, 1761–1805.
- Boyd, C. E. (2015). *Water quality: An introduction* (3rd ed.). Springer.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). *Pond aquaculture water quality management*. New York, NY: Springer.
- Brooks, W. K. (1996). *The oyster: A popular summary of a scientific study* (Rev. ed.). Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press. (Travail original publié en 1891)

«C»

- Chatzivasileiou, D., Dimitriou, P. D., Theodorou, J., Kalantzi, I., Magiopoulos, I., Papageorgiou, N., Pitta, P., Tsapakis, M., & Karakassis, I. (2022). An IMTA in Greece: Co-culture of fish, bivalves, and holothurians. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(6), 776.
- Choudhary, B., Deb, S., Chouhan, N., Azmeera, S., & Choudhary, V. (2022). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) for wastewater treatment and resource recovery: A sustainable approach. In *Wastewater Treatment and Resource Recovery: Novel Approaches* (Chap. 5, pp. 77–96). IWA Publishing.
- Chopin, T. (2015). Marine aquaculture in Canada: Well-established monocultures of finfish and shellfish and an emerging integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) approach including seaweeds, other invertebrates, and microbial communities. *Fisheries*, 40(1), 28–31.
- Chopin, T., Cooper, J., Reid, G., Cross, S., & Moore, C. (2012). Open-water integrated multi-trophic aquaculture: Environmental biomitigation and economic diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 4(4), 209–220.
- Chopin, T., & Tacon, A. G. J. (2020). Importance of seaweeds and extractive species in global aquaculture production. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(2), 139–148.
- Conand, C. (1993). Reproductive biology of holothurians. *Bulletin of Marine Science*, 52, 970–981.
- Conand, C., Purcell, S., Uthicke, S., Hamel, J.-F., & Mercier, A. (2004). Advances in sea cucumber aquaculture and management. In A. Lovatelli (Ed.), *FAO Fisheries Technical Paper* (No. 463, pp. 339–353). Rome: FAO.
- Costello, C., Cao, L., Gelcich, S., Cisneros-Montemayor, A. M., Free, C. M., Froehlich, H. E., Golden, C. D., Ishimura, G., Maier, J., Macadam-Somer, I., Mangin, T., Melnychuk, M. C., Miyahara, M., Oyinlola, M. A., Poloczanska, E. S., Thilsted, S. H., Lubchenco, J., & Owashi, B. (2020). The future of food from the sea. *Nature*, 588(7836), 95–100.

«D»

Direction de l'Environnement de la wilaya de Mostaganem (D.E.M.). (2011). Rapport sur le littoral de la wilaya de Mostaganem (58 p.).

Dolmatov, I. Y. (2014). Asexual reproduction in holothurians. *The Scientific World Journal*, 2014, 527234.

Domínguez-Godino, J. A., Slater, M. J., Hannon, C., & Kawabe, R. (2015). Effects of the sea cucumber *Holothuria forskali* on aquaculture waste in integrated multitrophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 7(3), 179–190. <https://doi.org/10.3354/aei00147>

Domínguez-Godino, J. A., González-Wangüemert, M., & Vergara, A. M. (2019). Potential of holothurians in integrated multitrophic aquaculture systems. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 564–584. <https://doi.org/10.1111/raq.12248>

#### «E»

Ebeling, J., & Timmons, M. (2012). Aquaculture production systems. In *Encyclopedia/Handbook chapter* (Chap. 11).

Ennas, C., Pasquini, V., Abyaba, H., Addis, P., Sarà, G., & Pusceddu, A. (2023). Sea cucumbers bioturbation potential outcomes on marine benthic trophic status under different temperature regimes. *Scientific Reports*, 13, Article 38543.

Eriksson, H., & Clarke, S. (2015). Chinese market responses to overexploitation of sharks and sea cucumbers. *Biological Conservation*, 184, 163–173.

#### «F»

FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Féral, J.-P., & Charbonnier, G. (1986). *Les Holothurides*. Paris : ORSTOM.

#### «G»

Gamboa-Delgado, J., Nates, S. F., Cruz-Suárez, L. E., & Tapia-Salazar, M. (2022). Recent advances and future perspectives in formulated feeds for sea cucumber aquaculture. *Aquaculture Nutrition*, 28(1), 45–60.

García-Arrarás, J. E., Greenberg, M. J., & Martínez, J. (2001). Visceral regeneration in holothurians. *Microscopy Research and Technique*, 55(6), 452–465.

Granada, L., Sousa, N., Lopes, S., & Lemos, M. F. L. (2015). Is integrated multitrophic aquaculture the solution to the sector's major challenges? A review. *Reviews in Aquaculture*, 6, 1–18.

Grassé, P.-P. (1948). *Traité de zoologie : Échinodermes*. Paris : Masson.

Grosso, L., Rakaj, A., & Fianchini, A. (2021). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) system combining the sea urchin *Paracentrotus lividus*, as primary species, and the sea cucumber *Holothuria tubulosa* as extractive species. *Aquaculture*, 534, 736268.

Grosso, L., Rakaj, A., Fianchini, A., Morroni, L., Scarcella, G., & Angelini, R. (2020). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) system combining *Paracentrotus lividus* and *Holothuria tubulosa*. *Aquaculture International*, 29, 1–15.

#### «H»

Hamel, J.-F., & Mercier, A. (2011). Diet and feeding behaviour of the sea cucumber *Cucumaria frondosa* in the St. Lawrence estuary, eastern Canada. *Canadian Journal of Zoology*, 76, 1194–1198.

Hannah, L., Pearce, C. M., & Cross, S. F. (2013). Growth and survival of *Parastichopus californicus* co-cultured with suspended mussels (*Mytilus trossulus*). *Aquaculture*, 406–407, 68–78.

Halwart, M., Arthur, J. R., & Bartley, D. M. (Eds.). (2009). *Integrated mariculture: A global review* (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 529). Rome: FAO.

#### «K»

Khodja, I., Mezali, K., Savarino, P., Gerbaux, P., Flammang, P., & Caulier, G. (2024). Structural characterization and profiles of saponins from two Algerian sea cucumbers. *Marine Drugs*, 22(3), 145.

Khodja, I. (2025). *Étude éco-biologique et biochimique de quelques espèces d'échinodermes*. (Thèse de Doctorat). Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem.

#### «L»

Li, X., Wang, Y., Jiang, X., Li, H., Liu, T., Ji, L., & Sun, Y. (2022). Utilization of different seaweeds in the diets of *Apostichopus japonicus*. *Aquaculture Reports*, 23, 101061.

Lindholm-Lehto, P. (2023). Water quality monitoring in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 3, 113–131.

Lovatelli, A., Conand, C., Purcell, S., Uthicke, S., Hamel, J.-F., & Mercier, A. (Eds.). (2004). *Advances in sea cucumber aquaculture and management* (FAO Fisheries Technical Paper No. 463). Rome: FAO.

#### «M»

MacDonald, C. L. E., Stead, S. M., & Slater, M. J. (2013). Consumption and remediation of European seabass waste by *Holothuria forskali*. *Aquaculture International*, 21, 1279–1290.

- 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.
- Marquet, N., Conand, C., Power, D. M., Canário, A. V. M., & González-Wangüemert, M. (2017). *Holothuria arguinensis* and *H. mammata* from the southern Iberian Peninsula: Variation in reproductive activity between habitats. *Fisheries Research*, 191, 120–130.
- Massin, C., & Jangoux, M. (1976). Observations écologiques sur *Holothuria tubulosa*, *H. poli* et *H. forskali* (Echinodermata: Holothuroidea) et comportement alimentaire de *H. tubulosa*. *Cahiers de Biologie Marine*, 17, 45–62.
- Mary Bai, M. (1994). Studies on regeneration in *Holothuria* (*Metriatyla*) *scabra*. *Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute*, 46, 44–50.
- Mezali, K. (2008). Phylogénie, systématique, dynamique des populations et nutrition de quelques espèces d'holothuries aspidochiotes (Holothuroidea : Echinodermata) inféodées aux herbiers de posidonies de la côte algéroise (Thèse de doctorat d'État). Institut des Sciences Zoologiques, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, Algérie, 209 p.
- Mezali, K., & Francour, P. (2012). Les holothuries aspidochiotes de quelques sites des côtes algériennes: Révision systématique et relations phylogénétiques. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 137(1–4), 177–192.
- Mezali, K., & Soualili, D. L. (2013). The ability of holothurians to select sediment particles and organic matter. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 33, 38–43.

«N»

- Nelson, E. J., & MacDonald, B. A. (2012). The absorption efficiency of the suspension-feeding sea cucumber *Cucumaria frondosa* and its potential as an extractive IMTA species. *Aquaculture*, 370–371, 19–25.
- Neori, A., Shpigel, M., Guttman, L., & Israel, A. (2017). Development of polyculture and IMTA in Israel: A review. *Israeli Journal of Aquaculture*, 69, 1385.
- Neori, A., & Shpigel, M. (2020). Integrated multi-trophic aquaculture: Principles, practices, and future trends. *Aquaculture*, 529, 735678.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735678>
- Nguyen, T. N. A., Tran, N. H. N., Lam, M. L., Kurihara, A., & Tran, N. H. (2024). Polyculture of *Penaeus monodon*, *Scylla paramamosain* and *Gracilaria tenuistipitata* in improved extensive ponds in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture International*, 32, 1975–2003.

«P»

- Pierrat, J., Bédier, A., Eeckhaut, I., Magalon, H., & Patrick, F. (2021). Sophistication in a seemingly simple creature: A review of wild holothurian nutrition in marine ecosystems. *Biological Reviews*, 97, 273–298.
- Purcell, S. (2014). Value, market preferences and trade of bêche-de-mer from Pacific Island sea cucumbers. *PLOS ONE*, 9(4), e95075.
- Purcell, S., Lovatelli, A., Vasconcellos, M., & Ye, Y. (2010). *Managing sea cucumber fisheries with an ecosystem approach*. Rome: FAO.
- Purcell, S., Samyn, Y., & Conand, C. (2012). *Commercially important sea cucumbers of the world (FAO Species Catalogue for Fishery Purposes No. 6)*. Rome: FAO. 150 p.
- Purcell, S. W., Conand, C., Uthicke, S., & Byrne, M. (2016). Ecological roles of exploited sea cucumbers. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 54, 367–386.

«R»

- Ramofafia, C., Battaglene, S., & Bell, J., et al. (2000). Reproductive biology of the commercial sea cucumber *Holothuria fuscogilva* in the Solomon Islands. *Marine Biology*, 136, 1045–1056.
- Ruppert, E. E., Fox, R. S., & Barnes, R. D. (2004). *Invertebrate zoology: A functional evolutionary approach*. Belmont, CA: Brooks/Cole.

«S»

- Samyn, Y., Vandenspiegel, D., & Massin, C. (2006). Taxonomie des holothuries des récifs coralliens de l’océan Indien occidental. *Abc Taxa*, 3, 1–163.
- Seo, J. Y., Shin, Y. K., Park, K. I., & Yang, H. S. (2011). Effects of feed type on growth and survival of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Aquaculture Research*, 42(6), 815–820.
- Siahaan, E. A., Pangestuti, R., Munandar, H., & Kim, S.-K. (2017). Cosmeceuticals properties of sea cucumbers: Prospects and trends. *Cosmetics*, 4(3), 26.
- Slater, M. J., & Carton, A. G. (2007). Survivorship and growth of *Australostichopus mollis* in polyculture trials with green-lipped mussels. *Aquaculture*, 272(1–4), 389–398.
- Slater, M. J., Jeffs, A. G., & Carton, A. G. (2009). The use of the waste from green-lipped mussels as a food source for juvenile *Australostichopus mollis*. *Aquaculture*, 292(3–4), 219–224.

«T»

- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1–4), 146–158.

Taleb, M. K., Benaissa, N., & Mouffok, S. (2021). Impacts of urban discharges on the coastal environment and groundwater quality: Case of Stidia (West Mostaganem–Algeria). *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(8), 28–34.

Troell, M. (2009). Integrated marine and brackish water aquaculture in tropical regions: Research, implementation and prospects. In D. Soto (Ed.), *A global review of integrated marine aquaculture* (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 529). Rome: FAO.

Troell, M., Halling, C., Neori, A., Chopin, T., Buschmann, A. H., Kautsky, N., & Yarish, C. (2003). Integrated mariculture: Asking the right questions. *Aquaculture*, 226(1–4), 69–90.

Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A. H., & Fang, J.-G. (2009). Ecological engineering in aquaculture—Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*, 297(1–4), 1–9.

#### «U»

Uthicke, S. (1999). Sediment bioturbation and impact of feeding activity of *Holothuria* (*Halodeima*) *atra* and *Stichopus chloronotus* at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Bulletin of Marine Science*, 64(1), 129–141.

Uthicke, S. (2001). Interactions between sediment-feeders and microalgae on coral reefs: Grazing losses versus production enhancement. *Marine Ecology Progress Series*, 210, 125–138.

Uthicke, S. (2001). Nutrient regeneration by abundant coral reef holothurians. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 265, 153–170.

Uthicke, S., & Karez, R. (1999). Sediment patch selectivity in tropical sea cucumbers (*Holothuroidea: Aspidochirotida*) analysed with multiple-choice experiments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 236(1), 69–87.

#### «W»

Watanabe, S., Kodama, M., Sumbing, J. G., & Lebata-Ramos, M. J. H. (2017). Development of IMTA using sea cucumber. In K. Gruenthal, P. Olin, M. Rust, & E. Trentacoste (Eds.), *Genetics in Aquaculture: Proceedings of the 42nd U.S.–Japan Aquaculture Panel Symposium* (pp. 80–87). Silver Spring, MD: NOAA/NMFS.

WoRMS Editorial Board. (2025). *World Register of Marine Species (WoRMS)*.

#### «Z»

Zamora, L. N., & Jeffs, A. G. (2011). Feeding, selection, digestion and absorption of the organic matter from mussel waste by juveniles of *Australostichopus mollis*. *Aquaculture*, 317(1–4), 223–228.

Zamora, L. N., Yuan, X., Carton, A. G., & Slater, M. J. (2016). Role of deposit-feeding sea cucumbers in integrated multitrophic aquaculture: Progress, problems, potential and future challenges. *Reviews in Aquaculture*, 10(1), 57–74.