ANCOVA 17

Aquaculture Nouvelle de COncombre de mer,
de Ver tube et d'Algue rouge en Charente-Maritime

Performances de survie et de croissance d'holothuries en milieu conchylicole

Rapport technique

Rédaction : Barbier Pierrick
Collaboration : Hennache Cédric, Vasseur Laura, Bodin Paul, Oudot Gaël

Décembre 2024

CAPENA Expertise et Application

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

FRANCE RELANCE

FranceAgriMer

Barbier Pierrick, Hennache Cédric, Vasseur Laura, Bodin Paul, Oudot Gaël

ANCOVA 17

Centre pour l'Aquaculture, la Pêche et l'Environnement de Nouvelle-Aquitaine

Performances de survie et de croissance d'holothuries en milieu conchylicole

Rapport technique
22 pages

Décembre 2024

Barbier P., Hennache C., Vasseur L., Bodin P., Oudot G. (2024) Performances de survie et de croissance d'holothuries en milieu conchylicole. Projet ANCOVA 17. Rapport technique, CAPENA, 22 pages

RÉSUMÉ :

Le projet ANCOVA17 a pour objectif d'étudier les opportunités de développement de nouvelles filières d'aquacultures marines en Charente-Maritime. Un des axes de ce projet vise à évaluer l'intégration des holothuries (concombres de mer) *Holothuria forskali* et *Holothuria tubulosa* dans les systèmes d'élevage conchylicoles existants, dans une démarche d'Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI). L'étude a porté sur leurs performances de survie et de croissance dans deux milieux : les claires ostréicoles et les filières en eau profonde, en utilisant des structures d'élevage adaptées.

Avec des individus adultes prélevés dans le milieu naturel, les résultats montrent que *H. tubulosa* est particulièrement robuste, avec un taux de survie élevé de 97,2 % quelle que soit la modalité d'élevage. *H. forskali* affiche une survie globale de 78,6 %, avec des performances maximales en cages de fond sur filière (100 % de survie). La croissance pondérale des deux espèces a révélé une stabilité chez *H. tubulosa*, tandis que *H. forskali* a subi une perte initiale de poids, probablement due au stress lié aux transferts ou aux conditions environnementales des milieux d'élevage.

Les structures testées, incluant des cages ostréicoles modifiées et d'autres spécialement conçues pour les holothuries (enclos et cages circulaires), se sont révélées efficaces, simples à utiliser et adaptées aux pratiques existantes d'élevage de l'huître creuse. Ces résultats confirment le potentiel des holothuries pour diversifier les activités aquacoles dans les milieux déjà exploités par les activités conchylicoles.

Pour pérenniser cette filière, des travaux complémentaires sont nécessaires, notamment en utilisant des juvéniles issus d'écloserie pour standardiser les performances zootechniques et optimiser les modalités d'élevage. Ces avancées ouvrent des perspectives prometteuses pour l'aquaculture durable et la gestion intégrée des zones côtières en France.

Holothuries ; Co-culture ; AMTI ; Filières en eau profonde ; Claire ostréicoles ; *H. forskali ; H. tubulosa*

Table des matières

I. Introduction 1
1. Contexte général 1
2. Volet holothuries 2
3. Objectif 4
II. Matériels et méthodes 4
1. Matériel biologique 4
1.1. Holothuria forskali 4
1.2. Holothuria tubulosa 5
2. Plan expérimental 6
2.1. Sites expérimentaux 6
2.2. Elevage complet sur filière en eau profonde 6
2.3. Elevage complet en claire ostréicole 7
2.4. Elevage mixte sur filière et en claire 8
3. Protocole de mesure 9
3.1. Taux de survie 10
3.2. Croissance pondérale 10
3.3. Suivi température et salinité 10
4. Analyses de données 10
III. Résultats 11
1. Données environnementales 11
2. Taux de survie 12
2.1. Holothuria forskali 12
2.2. Holothuria tubulosa 12
3. Croissance pondérale 13
3.1. Holothuria forskali 14
3.2. Holothuria tubulosa 14
4. Observations 15
IV. Discussion 15
V. Conclusion 16
VI. Bibliographie 17

I. Introduction

1. Contexte général

Diversifier les filières aquacoles est un enjeu crucial pour soutenir le développement socio-économique des régions littorales tout en favorisant la résilience face aux pressions environnementales et climatiques. Au regard des changements globaux, il est nécessaire de concevoir de nouvelles filières aquacoles, apportant des services écosystémiques uniques et redondants, afin d'augmenter notre résilience face aux modifications climatiques. A l'instar de l'agriculture, l'aquaculture ne doit pas reproduire les mêmes erreurs (monoculture, pesticides, qualité/quantité) en intégrant impérativement la dimension écosystémique dans ses pratiques. Une des réponses à cet enjeu réside dans l'Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI), pour laquelle les biens et services écosystémiques fournis par plusieurs organismes sont bénéfiques à leur propre culture et à l'environnement dans lequel ils se trouvent. L'AMTI est une approche expérimentale de développement de systèmes de production d'origine aquatique responsables qui peut être adaptée aux particularités de différentes régions. Plutôt que de produire une seule espèce (monoculture) et de se concentrer principalement sur les besoins de cette espèce, l'AMTI imite un écosystème naturel en combinant l'élevage de diverses espèces complémentaires appartenant à différents niveaux trophiques. Cette pratique permet une gestion écosystémique équilibrée qui peut être avantageuse pour les producteurs, l'environnement et la société.
Ainsi, ce projet permet d'explorer de nouvelles pistes d'élevage pour des espèces adaptées au littoral français en vue de leur exploitation propre ou dans leur intégration pour une stratégie d'AMTI.
Par la nature de son littoral, le bon état écologique, chimique et sanitaire des eaux ainsi que son ensoleillement, la côte de Nouvelle-Aquitaine, et en particulier celle de Charente-Maritime présente un fort potentiel pour le développement de l'aquaculture. Ce territoire est déjà largement exploité pour la production d'huîtres et de moules, ce qui en fait le premier bassin ostréicole de France.
Dans un contexte zoosanitaire peu favorable, lié à une conchyliculture monospécifique, le développement de nouvelles aquacultures peut offrir une voie de diversification pour certains ostréiculteurs, qui font face depuis quelques années à des épisodes anormaux de mortalités d'huîtres et de moules. La culture ou l'élevage de nouvelles espèces pourrait également créer de nouveaux emplois dans le cadre d'une pleine activité d'exploitation, s'inscrivant directement dans les thématiques de la « croissance bleue », la gestion intégrée des zones côtières et des filières marines émergentes, la co-culture ou encore l'AMTI.

Le projet ANVOVA 17 propose de poursuivre les premiers travaux réalisés sur la faisabilité de culture ou d'élevage de 3 espèces, naturellement présentes sur les côtes de Charente-Maritime :

- L'algue rouge *Porphyra sp*. (ou nori) ;
- Le ver tube *Diopatra biscayensis* ;
- L'holothurie *Holothuria sp*. (ou concombre de mer).

Ce projet a pour objectif d'étudier la faisabilité de la mise en place de nouvelles filières aquacoles, indépendantes ou en association avec l'activité conchylicole, par l'utilisation d'espèces indigènes sous-exploitées proposant un grand potentiel pour le développement de l'AMTI sur les côtes françaises ou la diversification des activités maritimes. Les ambitions de ce projet résident dans l'apport des premiers éléments de réponses quant aux freins et leviers existants, aussi bien techniques (culture et élevage), environnementaux (bénéfices de la co-culture), économiques (valorisation et débouchés), que réglementaires.

Pour ce faire, trois axes de travail concerneront le développement technique de la culture de *Porphyra sp.*, de l'élevage de *Diopatra biscayensis* et d'*Holothuria sp*. Un quatrième axe de travail concernera la recherche de pistes de valorisation des molécules d'intérêts issues de ces trois organismes. Outre les intérêts connus pour l'alimentation humaine, animale et la bioremédiation de l'eau, la valorisation dans les voies bio-pharmaceutiques, cosmétiques et médicales seront explorées. Finalement, un dernier axe de travail concernera l'identification et la levée des freins réglementaires pour la mise en place de ces nouvelles filières.

2. Volet holothuries

Au regard des changements climatiques et démographiques actuels, l'évolution de l'aquaculture doit se faire de manière durable et raisonnée, en assurant le développement économique de filières locales adaptées aux écosystèmes littoraux. Ainsi, l'élevage d'holothuries (concombre de mer ou bêche-de-mer) peut être une voie de diversification pertinente pour l'aquaculture du littoral néo-aquitain. Les holothuries possèdent un potentiel de valorisation inexploité en Europe à ce jour. Elles sont d'intérêt pour l'alimentation humaine, la cosmétique, la bioremédiation (amélioration de la qualité d'un milieu par l'activité d'organismes vivants) et les biotechnologies. Ces organismes sont très convoités par le marché asiatique pour la consommation humaine. Les stocks sauvages ont été surexploités dans plusieurs zones tropicales, comme l'océan Indien, plaçant ainsi plusieurs espèces d'holothuries sur la liste rouge des espèces menacées de l'IUCN (FAO 2014). Cet engouement s'explique par un prix de vente très élevé, variant entre 10 et 350 $US par kilogramme de matière sèche (Purcell 2014 ; Purcell et al. 2018), pouvant aller jusqu'à 640 $US pour les espèces les plus prisées (Purcell et al. 2012). Par ailleurs, ces animaux ont des dispositions spécifiques avec un potentiel fort en matière de pharmacologie, cosmétique et dans le domaine des biomatériaux (Kamyab et al. 2020). Outre l'intérêt économique, les holothuries détritivores/psammivores (qui se nourrit de matière organique en décomposition par l'ingestion du sédiment de surface) jouent un rôle écologique majeur dans le fonctionnement des écosystèmes, notamment en termes d'amélioration de la qualité des eaux, grâce à leur contribution au recyclage de la matière organique et à la bioturbation du sédiment. En effet les pratiques de l'aquaculture semi-intensive et intensive se traduisent par une accumulation de matière organique dans les sédiments des bassins et autour des zones de rejets des effluents (Lemonnier et al. 2004 ; Molnar et al. 2013). Cette accumulation peut générer des crises d'hypoxie et favoriser l'apparition de molécules telles que l'hydrogène sulfuré et/ou l'ammoniaque qui sont, à certaines concentrations, toxiques pour les animaux. Certaines études ont d'ores et déjà montré que les holothuries participent significativement à la réduction des déchets organiques liés à l'élevage de poissons (bar et dorade) en cages (Macdonald et al. 2012 ; Neofitou et al. 2019) ou de bivalves (Paltzat et al. 2008 ; Zamora et al. 2011 ; Zhou et al. 2006). Ainsi, grâce à leur capacité de bioremédiation, les holothuries sont des modèles pertinents pour le développement de systèmes d'aquaculture multi-trophique intégrée performants et durables.

Le projet MEDIHOM, pour Mise en place d'un Élevage de *DIopatra* et d'*HOlothuria* en Marais ostréicole, porté par CAPENA, s'est déroulé sur l'année 2021. Il comportait 2 axes, le premier étant dédié à l'élevage d'un vers tubicole *Diopatra biscayensis* et dont le second concernait une étude pilote sur la faisabilité de développement d'une co-culture en claires ostréicoles entre des holothuries et des huîtres creuses (*Magallana gigas*). La culture de l'huître creuse en Charente-Maritime présente une grande valeur patrimoniale, dont le savoir-faire est reconnu dans tout le pays et à l'international, du fait des méthodes d'affinage en claire (ancien marais salant) spécifiques à la région (IGP Huîtres Marennes-Oléron et Label Rouge associés). Néanmoins, l'activité traditionnelle dans les marais demeure fragile et sous-exploitée, risquant de mettre en péril ce paysage patrimonial et les fonctions écosystémiques associées à ces

zones humides. Ainsi, la production en marais de nouvelles espèces, comme les holothuries, contribuerait à pérenniser les activités primaires littorales en proposant une solution de préservation des populations sauvages et une voie de diversification pour les conchyliculteurs tout en améliorant la qualité environnementale des zones littorales anthropisées. Un système d'AMTI en marais, associant l'huître creuse et l'holothurie serait bénéfique pour les deux espèces, à l'instar de celui de l'huître creuse et de la crevette impériale (*Penaeus japonicus*), puisque : 1. Les huîtres, se nourrissant de la production primaire microalguale des claires, génèrent des pseudo-fèces et fèces qui sédimentent sur le fond ; 2. Les holothuries se nourrissent de cette matière organique sur le fond et remettent en suspension le sédiment de surface, permettent la mobilisation du microphytobenthos dans la colonne d'eau et son accessibilité pour les huîtres. De plus, les facultés de remédiation des holothuries permettraient de diminuer la turbidité de l'eau des claires. En effet, étant donné leur mode d'alimentation, ces organismes limitent l'accumulation de la matière détritique sur le sédiment en l'assimilant et en concentrant les particules sédimentaires dans leurs fèces (Chatzivasileiou et al. 2024). L'objectif principal de cette étude était de mesurer le taux de survie des holothuries élevées en claires ostréicoles pendant l'été. La survie des holothuries lors des périodes chaudes demeure la première limite associée à ce système d'élevage, puisque la température en claire peut varier entre -1 et +36°C au cours de l'année et les valeurs de salinité s'étendent de 15 à 40‰. Ainsi, deux espèces d'holothuries dominantes des cotes métropolitaines, ont été utilisées dans le projet MEDIHOM : *Holothuria forskali* (Holothurie noire) et *Holothuria tubulosa* (Holothurie tubuleuse).

Ces deux espèces ont été choisis car elles sont largement représentées sur l'ensemble des côtes françaises. L'aire de répartition d'*H. forskali* s'étend de la Manche au Pays basque et sur les côtes méditerranéennes (GBIF Backbone Taxonomy. 2019a ; Tuwo et Conand. 1992 ; Southward et Campbell. 2006). *H. tubulosa* est plus largement retrouvée en Méditerranée, mais elle aussi présente dans le golfe de Gascogne jusqu'en Bretagne (GBIF Backbone Taxonomy. 2019b ; Hansson. 2001 ; Despalatović et al. 2004). Cette espèce est susceptible de mieux résister aux températures élevées des claires en été. Elle est capable de se reproduire à des températures comprises entre 22 et 27°C (Tuwo et Conand. 1992), mais certains individus mâtures ont également été observés en hiver (Kazanidis et al. 2014). Concernant, *H. forskali*, étant donné son aire de répartition, les préférendums thermiques de cette espèce devraient varier en fonction de la population échantillonnée, se traduisant notamment par des dynamiques de reproduction différentes en fonction des zones géographiques (Despalatović et al. 2003).
A l'issue de ces tests, le taux de survie de *H. forskali* est suffisamment élevé pour envisager cette espèce dans un système d'élevage aquacole, encourageant puisque 27% des individus ont survécu sans aucune adaptation de la méthode d'élevage. Néanmoins, les résultats de croissance obtenus sur cette espèce sont à considérer avec précaution (Barbier et al. 2022). Néanmoins, il est probable qu'en plus de conditions de température et de salinité défavorables, la ressource trophique à disposition pour les individus de cette espèce n'était pas propice à leur grossissement.
Concernant *H. tubulosa*, leur capacité de survie est remarquable dans l'environnement des claires au cours de l'été 2021. Avec plus de 80% de survie, cette espèce semblerait plus adaptée aux caractéristiques des marais charentais que *H. forskali*, d'autant plus qu'une partie des animaux a été mise à l'eau dans un état de stress, se traduisant par l'éjection de leurs organes internes, et à la présence de parasites. La tendance à la prise de poids de ces organismes et l'observation récurrente de fèces au cours de l'expérimentation semble refléter des conditions trophiques favorables à leur croissance somatique (Barbier et al. 2022). De nombreuses voies d'optimisation zootechniques restent à développer, que ce soit du point de vue des densités, de l'approvisionnement en juvéniles standardisés et des milieux d'élevage afin d'envisager le développement d'une filière d'holothuriculture.

3. Objectif

L'objectif principal de ce projet est de continuer l'investigation de nouvelles pistes zootechniques pour l'élevage d'holothuries dans les milieux d'élevage conchylicoles en Charente-Maritime. Au regard de l'environnement naturel des deux espèces d'holothuries précédemment étudiées (*H. forskali* et *H. tubulosa*) et fort du savoir-faire du CAPENA sur le développement de la conchyliculture en eau profonde (Mille et al. 2003 ; Mille et al. 2008 ; Carpentier 2015), l'élevage en eau profonde sur des filières en haute mer semble l'une des solutions propices pour le développement de l'holothuriculture en France.
Ainsi, ce projet a pour but de comparer les performances d'élevages d'holothuries (survie et croissance) selon plusieurs zootechnies combinant différents milieux : les claires ostréicoles et la filière en eau profonde, et des structures d'élevages.
Sur le long terme, les résultats apporteront les premiers éléments pour amorcer des projets d'AMTI d'envergure en milieu marin, et plus particulièrement dans les zones déjà exploitées par la conchyliculture.

II. Matériels et méthodes

1. Matériel biologique

Les individus des deux espèces d'holothuries utilisés dans cette expérimentation, sont des animaux sauvages obtenus grâce à l'European Marine Biological Resource Centre (EMBRC ; https://www.embrc-france.fr/fr) par l'intermédiaire des stations marines de Roscoff et de Villefranche-sur-Mer, cotutelle de Sorbonne Université et du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). Au démarrage du projet, l'accès à des holothuries au stade juvéniles n'était pas encore possible, les travaux de recherche et développement menés en France étant en cours pour maitriser et standardiser la reproduction de ces deux espèces en écloserie.

1.1. Holothuria forskali

Le 31 mai 2023, 30 individus d'*Holothuria forskali* (HF) ont été réceptionnés sur le site de CAPENA à Oléron. Une période d'acclimatation et de stabulation de 13 jours a été effectuée en micro-nurserie (à l'extérieur, alimentée par l'eau du marais). A la fin de cette période, 14 individus vivants ont été retrouvés et étaient disponibles pour les expérimentations, avec un poids moyen individuel de 180,7g (écart type ± 46,8g). Au cours de cette période, 10 systèmes digestifs et reproducteurs expulsés ont été observés (et retirés) dans les bacs de micro-nurserie le soir du jour de réception, puis 3 autres le 01 juin et de nouveau 3 le 02 juin 2023 (Figure 1). Ces observations ont été suivies à quelques jours d'intervalle par l'extraction du même nombre d'individus morts.

Figure 1 : Holothuria forskali *réceptionnés le 31 mai 2023. La flèche blanche indique des organes expulsés.*

1.2. Holothuria tubulosa

Les individus de l'espèce *Holothuria tubulosa* (HT) ont été reçus le 25 mai 2023, au nombre de 36. Au moment de la réception, 9 systèmes digestifs/reproducteurs étaient présents dans les sacs de transport. Jusqu'à la fin de la période de stabulation, le 13 juin 2023, aucun organe expulsé ou d'individus mort n'a été retrouvé dans les bacs de la micro-nurserie (Figure 2). Ainsi, 36 individus de cette espèce ont été disponibles pour les expérimentations, avec un poids moyen individuel de 144,4g (écart type ± 61,0g).

Figure 2 : Holothuria tubulosa *réceptionnés le 25 mai 2023. a. en acclimatation dans un bac de micro-nurserie, b. individus dans un tamis. La flèche noire désigne des organes expulsés.*

2. Plan expérimental

2.1. Sites expérimentaux

Les expérimentations ont été conduites dans deux milieux complémentaires de Charente-Maritime : une filière en eau profonde, caractérisée par des conditions environnementales plus stables, et un marais ostréicole, exposé à des variations saisonnières marquées (Figure 3).

Figure 3 : Localisation des sites expérimentaux du projet ANCOVA17.

2.2. Elevage complet sur filière en eau profonde

Le 13 juin 2023, 7 individus d'*H. forskali* et 9 *H. tubulosa* sont placés dans des cages d'élevage ostréicoles. Ces structures sont disposées sur la filière expérimentale de CAPENA dans l'anse de la Malconche sur la côte de l'Ile d'Oléron, à une profondeur variant de 11m à 18m en fonction de l'état de la marée. Les cages d'élevage ont été adaptées pour accueillir les concombres de mer, en créant un compartiment dédié à l'étage inférieur de la structure. Ce compartiment est réalisé à partir de maille carré de 9mm en polyéthylène haute densité. Les concombres *H. tubulosa* ont été disposés dans une cage conçue pour l'élevage sur le fond (Figure 4abc) et les *H. forskali* étaient disposés dans une cage initialement utilisée pour l'élevage en suspension (Figure 4def). Ces structures ont été installées sur une période d'un an le long de la filière, avec un espacement de 20m entre chaque structure, sur l'ensemble de la longueur (100 m ; Figure 6) avant d'être enlevées le 18 juin 2024 à la fin de l'expérimentation.

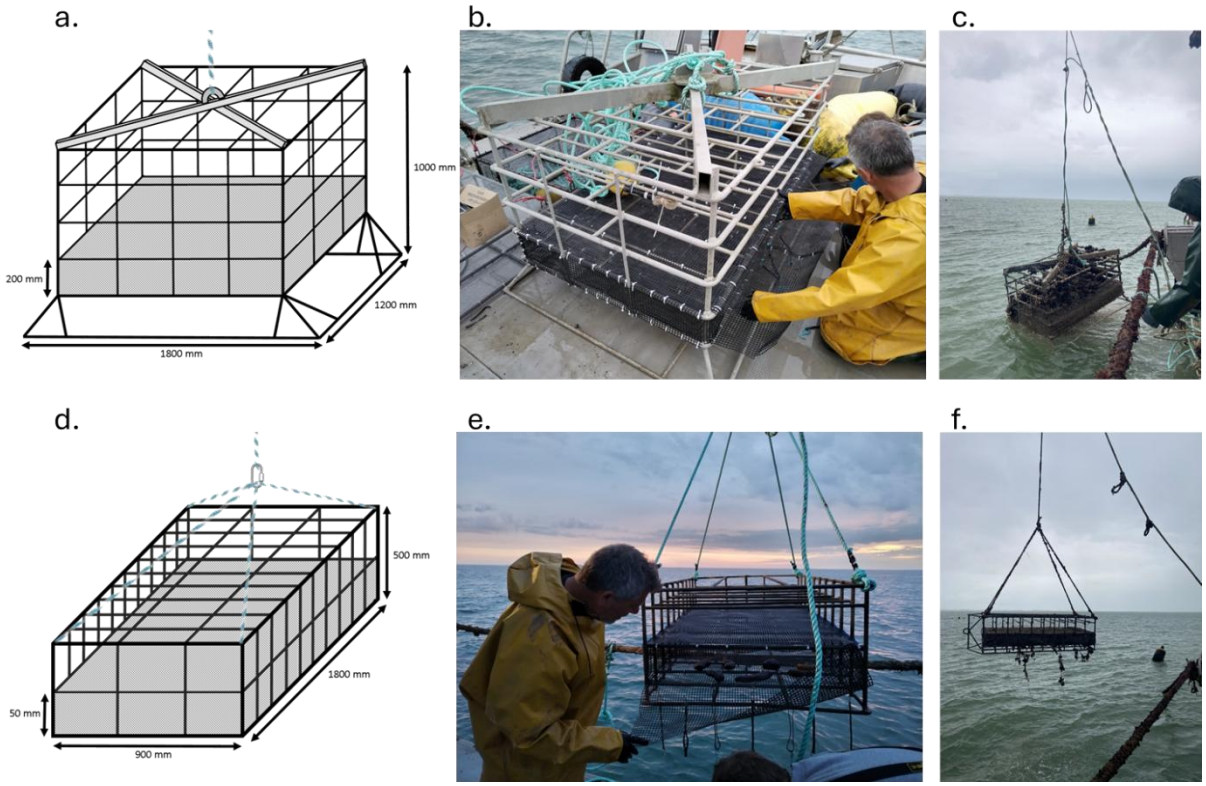


*Figure 4 : Structures d'élevage sur filière en eau profonde : abc. Cage de fond accueillant les 9 individus d'*H. tubulosa ; def. Cage suspendue utilisée sur le fond accueillant 7 individus d'H. forskali. *ad. Schéma ; be. Lors de la mise à l'eau ; cf. En septembre 2023 lors d'un échantillonnage.*

2.3. Elevage complet en claire ostréicole

Les individus de l'espèce *H. tubulosa* ont été disposés dans une claire ostréicole expérimentale de 676m² (hauteur d'eau moyenne de 0,7m) le 13 juin 2023 sur le site de CAPENA de l'ile d'Oléron. Deux structures d'élevage ont été utilisées, dans lesquelles 9 individus ont été placés :

- Enclos à holothurie : Cette structure a été créée spécifiquement pour cette expérimentation afin d'être utilisée en marais et sur filière en eau profonde. D'une surface au sol de 1m² il est composé d'une base carrée de longueur 1m et d'une hauteur de 0,3m. Le squelette de la structure sont des barres de fer à béton torsadé de diamètre 16mm et il est habillé de maille plastique de 9mm. Cet enclos est facilement réplicable et simple d'utilisation, il dispose d'une trappe sur sa face supérieure pour accéder à l'intérieur, ainsi que d'anneaux en métal aux 4 coins permettant son accroche à l'aussière de la filière (Figure 5abc).
- Cage circulaire : il s'agit d'une structure cylindrique conçue en barres de fer à béton torsadé 16 mm, d'une longueur de 1,5m et de diamètre de 0,5m. Des anneaux métalliques sont disposés à chaque extrémité à l'aide d'élastiques de poches ostréicoles pour fermer le cylindre. L'ensemble de la structure est recouvert par l'intérieur d'une maille plastique de diamètre 9mm (Figure 5def).

Ces structures sont restées en claire durant une année complète (Figure 6), jusqu'au 25 juin 2024 date de la fin de l'expérimentation.

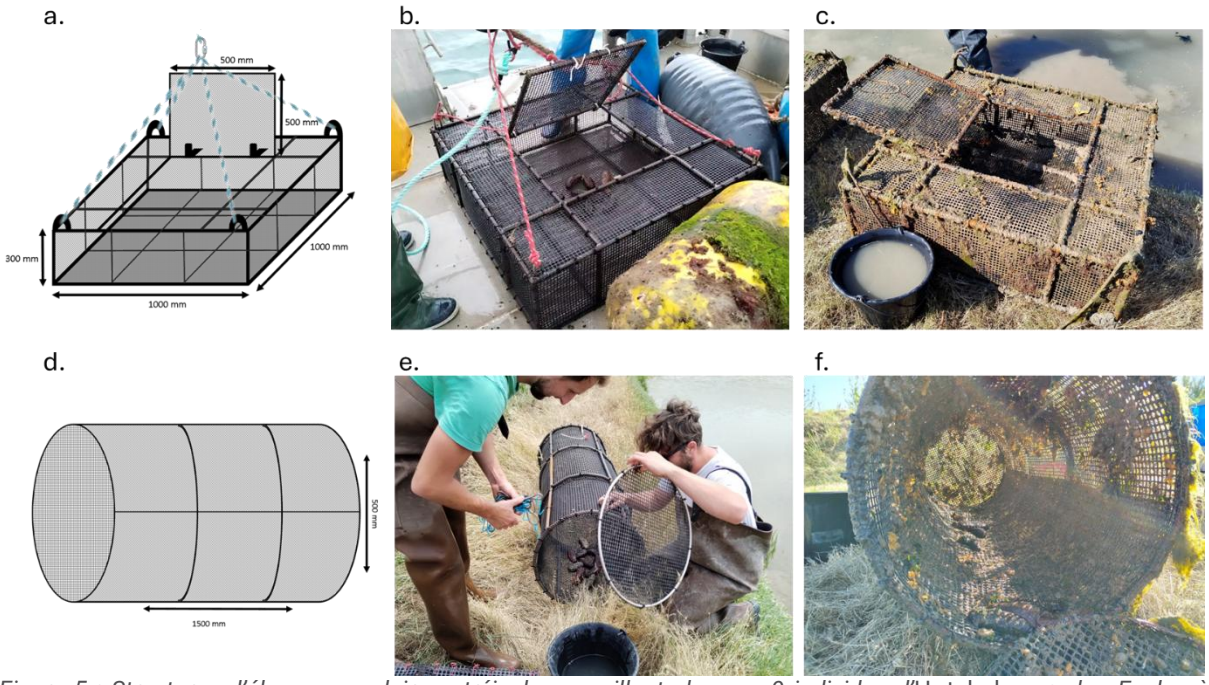
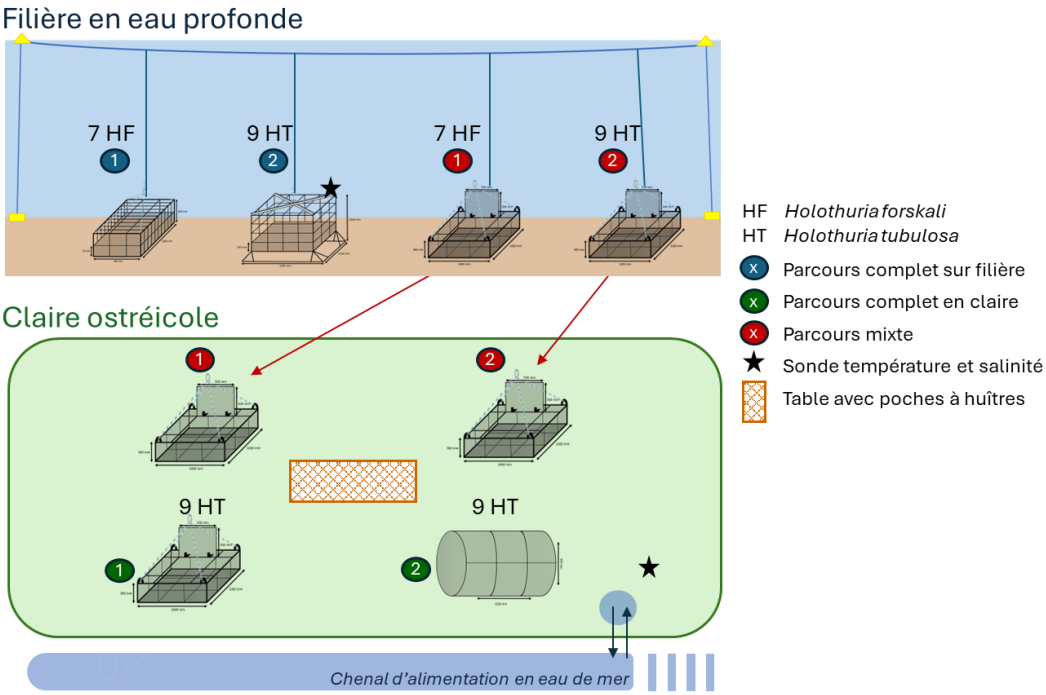


*Figure 5 : Structures d'élevage en claire ostréicole accueillant chacune 9 individus d'*H. tubulosa *: abc. Enclos à holothuries ; def. Cage circulaire. ad. Schéma ; be. Lors de la mise à l'eau ; cf. En juin 2024 lors d'un échantillonnage.*

2.4. Elevage mixte sur filière et en claire

Un parcours mixte a été mis en place dans l'hypothèse d'optimiser les conditions environnementales des différents milieux d'élevage pour les deux espèces d'holothuries. En période estivale, les conditions de température de l'eau de mer et de salinité dans les claires peuvent augmenter drastiquement, atteignant 36°C et 40‰ respectivement (données CAPENA), infligeant un stress pour certains organismes. A l'inverse, les conditions environnementales sous les filières (~14,5m de profondeur) sont plus stables pendant cette période. Lors de la période hivernale, les courants et le vent sont plus soutenus en mer (*i.e.* tempêtes hivernales) contrairement au marais. Certains ostréiculteurs évitent notamment de laisser des structures sur leurs filières en eau profonde pour éviter la perte de leur matériel. Ainsi, une période « chaude » a été définie de juin à novembre 2023, pendant laquelle 7 individus de *H. forskali* et 9 de *H. tubulosa* ont été placés dans des enclos à holothurie (Figure 5abc) au niveau de la filière expérimentale. A partir du mois de novembre 2023, ces enclos ont été remontés et disposés en claire ostréicole jusqu'au mois de juin 2024, correspondant à la période « froide » (Figure 6).

a.



b.

Espèces	Parcours	Périodes (Juin 23 – Nov. 23 – Juin 24)	Structures	Nombre initial d'individus
HF	Complet en filière		Cage suspendue modifiée	7
	Mixte		Enclos à holothuries	7
HT	Complet en filière		Cage de fonds	9
	Complet en claire		Cage circulaire	9
			Enclos à holothuries	9
	Mixte		Enclos à holothuries	9

Figure 6 : Résumé du plan expérimental décrivant a.la disposition des structures et b. le récapitulatif des lots.

3. Protocole de mesure

Au cours de l'année, 6 périodes d'échantillonnages ont été effectuées sur les différents lots mis en élevage :

- 13 au 15 juin 2023 (mises à l'eau),
- 13 juillet au 18 aout 2023,
- 15 septembre 2023,
- 07 novembre 2023 (changement de milieu pour le parcours mixte),
- 29 février au 24 avril 2024
- 18 au 25 juin 2024 (bilan final).

Lors de chaque échantillonnage, les structures sont sorties de l'eau une à une, les individus sont isolés dans des caisses remplies d'eau de mer, avant d'être dénombrés et pesés. Les structures sont nettoyées de leur biofouling (organismes colonisant la surface) et du sédiment (vase) accumulés. Les holothuries sont installées à nouveau dans les structures puis remises

à l'eau (Figure 7). La survie et la croissance des individus ont été évaluées à chaque échantillonnage.

Figure 7 : Procédure de mesure à chaque échantillonnage (exemple en filière).

3.1. Taux de survie

Le nombre d'individus vivants de chaque espèce a été dénombré dans chaque structure d'élevage. Le taux de survie finale (%) est calculée grâce au nombre d'individus vivants retrouvés lors du bilan final par rapport au nombre d'individus initialement mis à l'eau. Le taux de mortalité est calculé comme étant l'inverse du taux de survie. La perte des individus est principalement attribuée à de la mortalité biologique (mort naturelle ou prédation), car aucun problème sur les structures n'a été observé et associé à l'absence d'individus (un trou dans le maillage d'un enclos a été observé le 07 novembre 2023 mais tous les individus étaient présents par rapport à l'échantillonnage précédent).

3.2. Croissance pondérale

Le poids total individuel (g) des holothuries a été mesuré en plaçant les individus dans un seau rempli d'eau de mer. La pesée en eau est une méthode de mesure non-invasive qui permet d'estimer le poids total de l'individu dans des conditions d'absorption maximale d'eau de mer. La différence de poids entre deux dates correspond à la croissance pondérale individuelle au cours de la période de suivi. Les individus ont été pesés en eau pour limiter les variations de poids associées à l'expulsion ou à l'absorption d'eau par les organismes.

3.3. Suivi température et salinité

Dans la claire expérimentale ainsi qu'en filière fixée à une cage de fond, une sonde multiparamétrique TPS (NKE Instrumentation) a été immergée (Figure 6a). Pendant toute la durée de l'expérimentation, les données de température de l'eau (°C) et de salinité (‰) sont enregistrées en continu à une fréquence de 15 minutes. Au cours de l'expérimentation, les sondes ont été changées pour réaliser leur maintenance à chaque date d'échantillonnage. Les données brutes ont été traitées en supprimant les données aberrantes et celles relevant de la dérive des capteurs (notamment de salinité) liée au biofouling.

4. Analyses de données

L'ensemble des données est présenté sous forme de moyenne et d'écart type associé. Les tests de Khi² sont utilisés pour comparer les taux de survie. Des ANOVA simples suivies de tests post-hoc de Tukey HSD ont été utilisés lors des comparaisons de moyennes. Les

conditions d'application de ces tests paramétriques sont vérifiées par le test de Shapiro-Wilk (normalité) sur les résidus de l'ANOVA et le test de Bartlett (homoscédasticité). En cas de non-normalité ou d'hétéroscédasticité des données, le test non-paramétrique de comparaison de moyenne de Kruskall-Wallis est réalisé. Le seuil de significativité utilisé pour l'ensemble des tests statistiques est $\alpha < 0,05$. Les données sont traitées avec les logiciels R (Version 4.0.3) et RStudio© (Version 1.2.5033).

III. Résultats

1. Données environnementales

La température journalière moyenne de l'eau en claire ostréicole était de 17,3°C au cours des 12 mois de l'expérimentation, atteignant un minimum 2,8°C le 20 janvier 2024 et un maximum 28,7°C le 25 juin 2023. La température est restée relativement stable de juin à septembre 2023, variant de 25,1°C à 23,4°C, avant de diminuer progressivement jusqu'en janvier 2024. Par la suite, l'eau des claires s'est réchauffée de 10°C entre les mois de février et juin 2024, passant de 11,2°C à 21,0°C au cours de cette période (Figure 8a). La température de l'eau sous les filières à proximité du fond a montré une dynamique similaire à celle des claires mais elle présentait une plus grande stabilité au cours du suivi. La température journalière moyenne était de 15,6°C, elle a varié entre 9,0°C le 21 janvier 2024 et 23,7°C le 12 juin 2023. Les plus grands écarts de températures entre les deux milieux d'élevage ont été mesurés en juin 2023 (+6,3°C en claire) et 2024 (+5,0°C en claire ; Figure 8a).

En termes de salinité, et à l'instar de la température de l'eau, les variations journalières et mensuelles ont été beaucoup plus importantes dans la claire ostréicole qu'au fond de la colonne d'eau sous les filières. En effet, dans l'anse de la Malconche la salinité journalière moyenne était de 31,8‰, avec un minimum de 25,2‰ et un maximum de 34,7‰ atteint respectivement les 05 avril et 14 juillet 2024. D'un point de vue temporel, la salinité n'a cessé de diminuer progressivement de juin 2023 à mars 2024 avant d'augmenter jusqu'à la fin de l'expérimentation (Figure 8b). En claire, la salinité journalière moyenne a été de 30,2‰ au cours de l'expérimentation, atteignant un maximum de 38,0‰ le 28 aout 2023 et un minimum de 19,6‰ le 31 mars 2024. La salinité a été relativement stable entre juin et septembre 2023 (valeur mensuelle de 34,4 ‰ à 36,5‰), avant de diminuer jusqu'en décembre de la même année (27,4‰) puis de se stabiliser autour de 28,0‰ pendant deux mois. De mars à avril 2024, la salinité a chuté aux alentours de 25,0‰ avant de remonter à 27,0‰ en mai puis jusqu'à 31,2‰ en juin (Figure 8b).

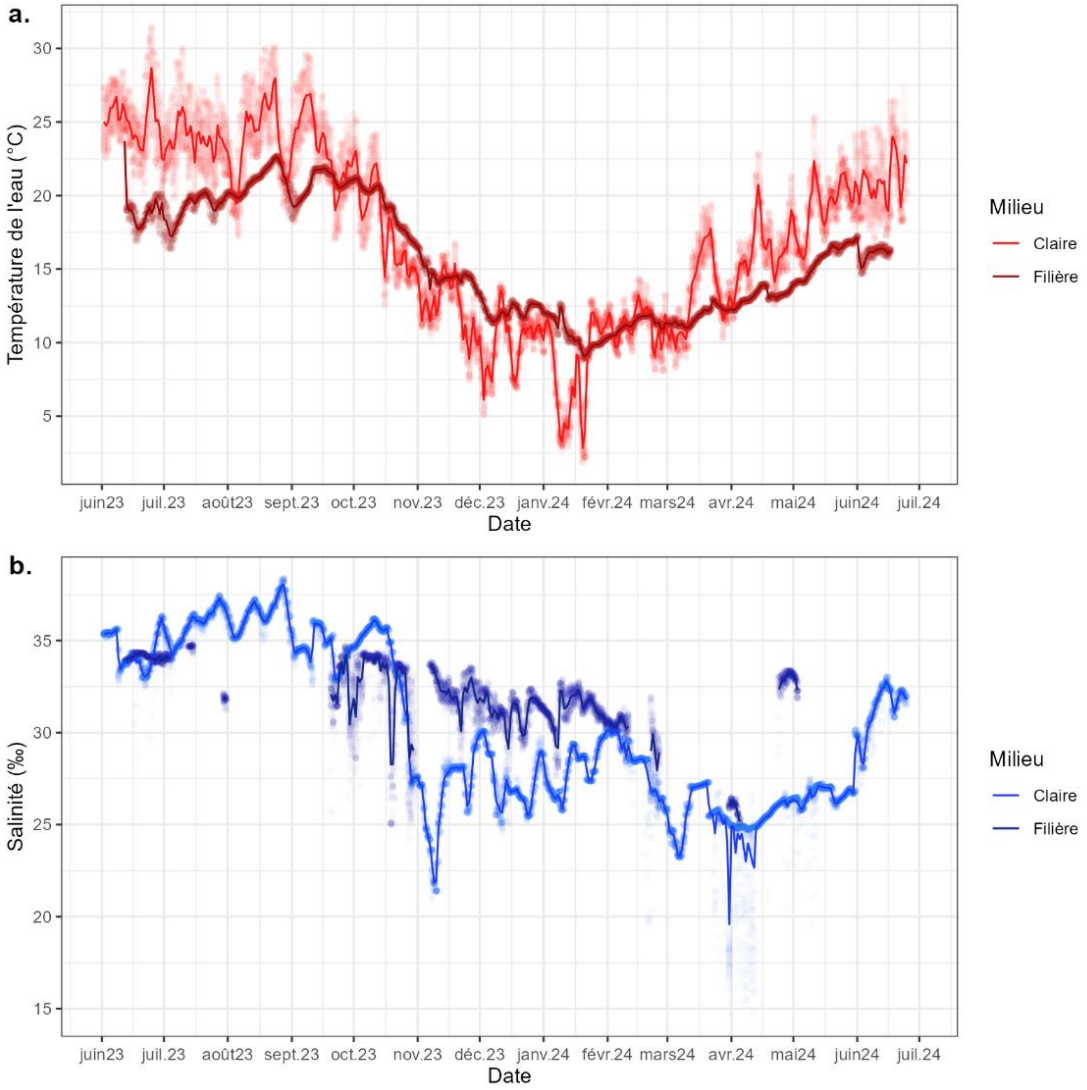


Figure 8 : a. Température (°C) et b. Salinité (‰) de l'eau mer dans la claire expérimentale (rouge et bleu clair) et sur le fond de la filière en eau profonde (rouge et bleu foncé) de juin 2023 à juin 2024.

2. Taux de survie

2.1. Holothuria forskali

Le taux de survie globale de l'espèce *H. forskali* s'élève à 78,6% à l'issue de l'année d'expérimentation (Figure 9a). Une différence significative apparait entre les deux zootechnies utilisées pour cette espèce. En effet, 100% des individus élevés sur filière en cage de fond ont survécu, comparativement à la recapture de 57,1% des individus du parcours mixte en enclos (Figure 9bc). La perte de ces individus s'est déroulée en deux temps : au cours du premier mois avec une perte de 28,6% recensée le 13 juillet 2023, puis après le passage en claire ostréicole, entre le 07 novembre 2023 et le 29 février 2024, où 14,3% des animaux sont morts (Figure 10).

2.2. Holothuria tubulosa

Près de la totalité des individus de l'espèce *H. tubulosa* a survécu (97,2%) aux différentes modalités zootechniques testées lors des 12 mois d'expérimentation (Figure 9a).

Seulement 1 individu a été perdu en marais dans un enclos à holothuries (Figure 9bc), au cours de l'hiver (le 07 novembre 2023 et le 29 février 2024 ; Figure 10). Pour cette modalité zootechnique, la survie mesurée s'élève à 88,9%.

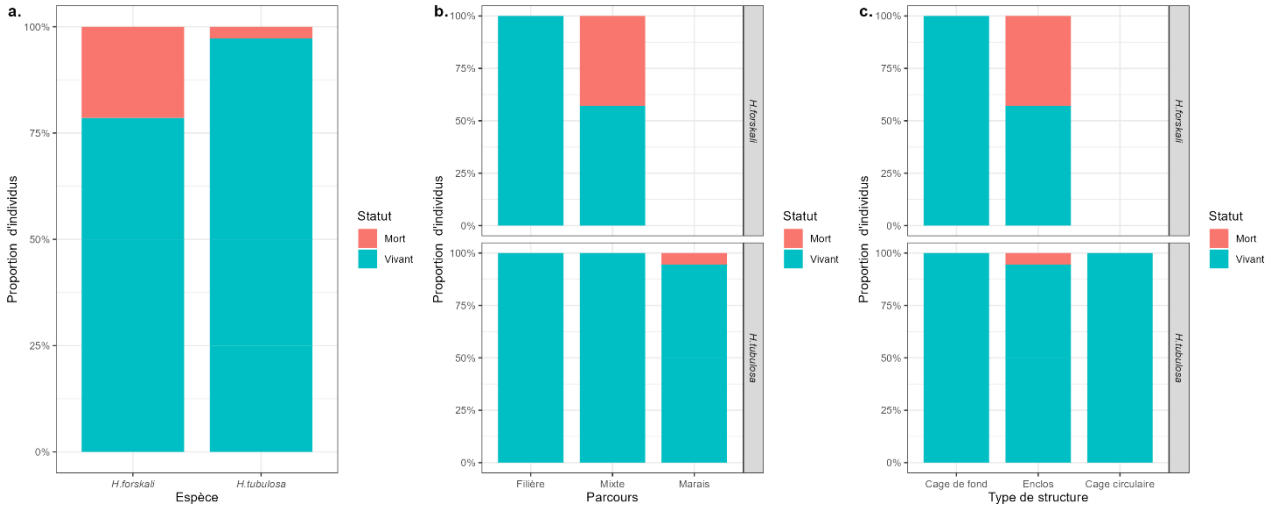


Figure 9 : Pourcentage de survie (%) à l'issue de l'expérimentation en fonction a. de l'espèce, b. du parcours d'élevage et c. de la structure utilisée.

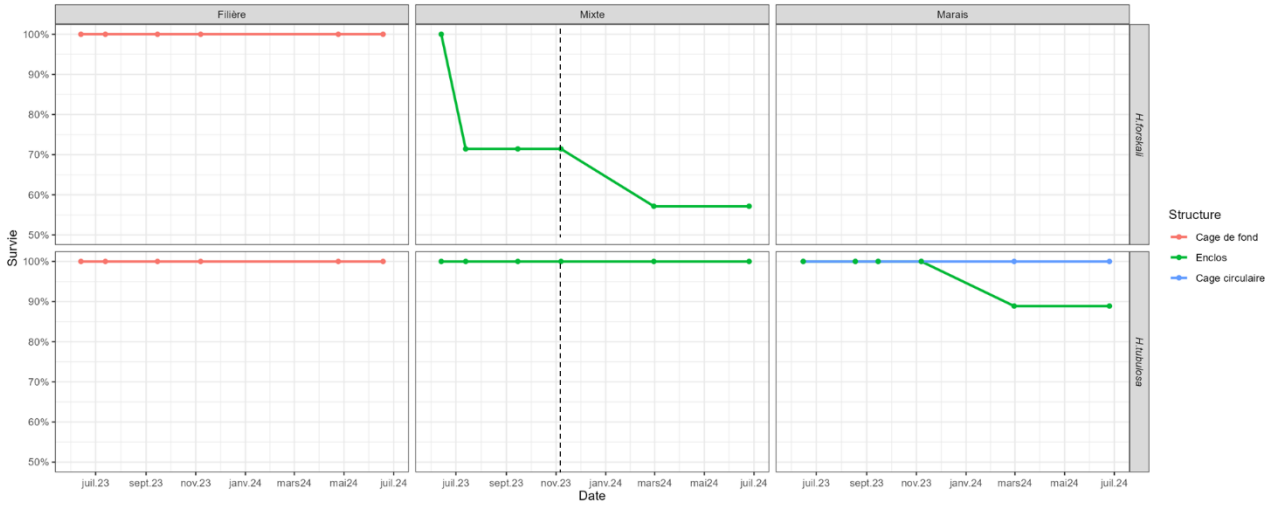


Figure 10 : Evolution temporelle de la survie (%) des deux espèces d'holothuries en fonction du parcours et de la structure d'élevage. La ligne verticale symbolise le passage du milieu « Filière » au milieu « Marais » pour le parcours « Mixte ».

3. Croissance pondérale

Au début de l'expérimentation, le poids individuel moyen des individus d'*H. forskali* était similaire entre les différentes modalités d'élevage, correspondant à 180,7g ± 48,6g. En juin 2023, les lots d'*H tubulosa* étaient composés d'individus d'un poids moyen de 144,4g ± 61,9g. A l'échelle de chaque espèce considérée, des animaux d'un poids moyen identique, entre les milieux et les structures d'élevage, ont été utilisés pour initier les expérimentations. Cette homogénéisation a été facilitée par la grande variabilité entre les individus reçus au début du projet. En effet, l'étendue des poids individuels mesurés initialement pour l'espèce *H. forskali* était de 180g (min = 105g ; max = 285g) et de 235g pour *H. tubulosa* (min = 75g ; max = 310g).

3.1. *Holothuria forskali*

Les animaux disposés dans des cages de fond sous la filières en mer ont conservé un poids similaire tout au long de l'année. Néanmoins une tendance à la perte de poids entre les mois de juin et de novembre 2023 semble apparaitre dans ce milieu, contrebalancée par la suite par une nouvelle tendance à l'augmentation du poids individuel de novembre 2023 à juin 2024 (Figure 11).
Concernant le parcours mixte, les animaux en filière (de juin à novembre 2023) ont montré le même comportement, à savoir une baisse de poids qui s'est avérée significative en passant de 204g ± 50g à 130g ± 16g (Figure 11). Il est à noter que cette observation est à interpréter avec précaution puisque cette fluctuation de poids individuel est associée à la perte de 2 individus (potentiellement les plus lourds) sur 7 au total. Suite au changement de milieu (passage en claire), le poids est resté stable jusqu'à la fin de l'expérimentation (Figure 11).

3.2. *Holothuria tubulosa*

La zootechnie en cage de fond sous la filière a montré des résultats identiques entre les deux espèces. Les individus d'*H. tubulosa* ont suivi la même dynamique que ceux de l'autre espèce, matérialisée par une tendance à la perte de poids sur la premiere période, suivie d'une augmentation du poids pour finir à un poids individuel en juin 2024 identique à celui de juin 2023 (Figure 11).
Les animaux en enclos du parcours mixte ont connu une perte de poids non significative entre juin et novembre 2023. Une fois en claire, la perte de poids a continué pour atteindre un poids individuel moyen de 93g ± 43g le 29 février 2024, significativement inférieur à leur valeur initale de 128g ± 54g. Par la suite, entre mars et juin 2024, le poids individuel à légèrement augmenté, pour retrouver un niveau similaire à celui au début de l'expérimentation (Figure 11).
Concernant le cycle complet en marais, le poids individuel des organismes disposés en enclos et en cage circulaire a connu quelques fluctuations mais aucune variation significative n'a été enregistrée tout au long de l'expérimentation. Ainsi, le poids individuel est resté constant jusqu'au mois de juin 2024, où il a été mesuré à 131g ± 56g, et identique entre les deux structures employées dans ce milieu (Figure 11).

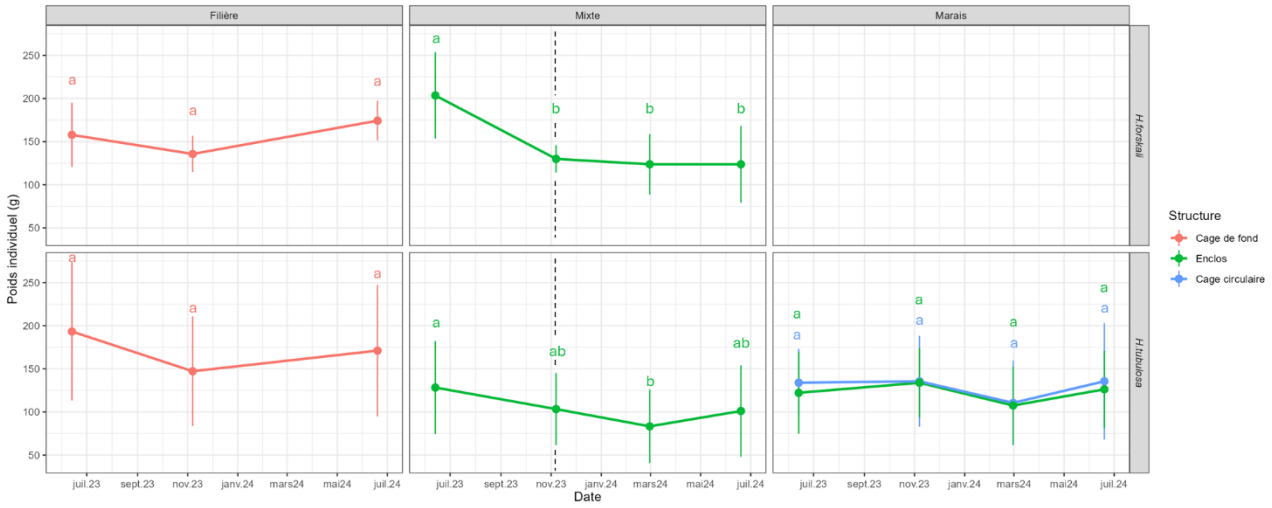


Figure 11 : Evolution temporelle du poids individuel moyen (g) des deux espèces d'holothuries en fonction du parcours et de la structure d'élevage. La ligne verticale symbolise le passage du milieu « Filière » au milieu « Marais » pour le parcours « Mixte ». Sur chaque graphique, les lettres représentent les groupes statistiquement différents entre deux dates pour une même modalité (Espèce/Parcours/Structure).

4. Observations

La mise en œuvre de ces structures d'élevage spécialement conçues, sur filière et en marais, a été simple et aucun problème technique majeur n'a été identifié. Ces structures semblent donc adaptées pour l'élevage d'holothuries, associées directement ou indirectement à l'élevage de bivalves.
Les enclos à concombres sont facilement déployables pour les deux milieux d'élevage. Ils sont relativement simples (minimum de technicité) à confectionner et correspondent, en l'état, à une structure standardisée et réplicable pour de futures études. Un point particulier est à mentionner concernant le type de maille utilisée pour fabriquer ces enclos (et les autres structures de manière générale). Un des enclos sur filière en mer avait été confectionné avec un maillage métallique. Lors d'une sortie de contrôle (15 septembre 2023), un trou dans le grillage a été observé et associé à d'autres points de corrosion (Figure 12). Malgré cette ouverture, aucun individu n'a été perdu et la maille a été remplacée par une maille en plastique identique à celle des autres modalités.
La cage circulaire conçu pour le parcours en marais montre un avantage dans la facilité de déplacement. En effet, il est possible de la faire rouler sur le fond et déplacer aisément les individus dans l'espace de la claire. Par ailleurs, aucune différence de croissance pondérale n'a été observée avec l'enclos, malgré un accès plus limité au sédiment (moins de surface de contact).

Figure 12 : Enclos à holothuries avec un maillage en métal pris en photo le 15 septembre 2023. La flèche blanche indique un trou dans la maille.

IV. Discussion

De manière générale, les résultats obtenus pour les deux espèces de concombre de mer confirment ceux acquis dans le cadre du projet MEDIHOM en 2021 (Barbier et al., 2022) : *H. tubulosa* et *H. forskali* sont deux espèces adaptées pour le développement de l'holothuriculture en Charente-Maritime.

En termes de survie, les résultats obtenus au cours des 12 mois d'expérimentation montrent une tolérance remarquable des deux espèces, aussi bien pour le milieu que pour la structure d'élevage utilisée. En particulier, *H. tubulosa* a été indemne selon toutes les modalités d'élevage, seulement 1 individu a été perdu sur les 36 utilisés. Cette perte est du même ordre de grandeur que celle mesurée lors de l'été 2021 en claire ostréicole, où la survie finale s'élevait à 84% pour cette espèce (Barbier et al., 2022).
La disparition de 43% des individus d'*H. forskali* lors du parcours mixte s'est effectuée en deux temps, d'abord sur filière en mer puis en claire. Comparativement, entre juin et novembre 2023, le lot d'*H. forskali* du parcours sur filière n'a subi aucune perte. La seule différence réside dans la structure d'élevage utilisée, laissant supposer que l'enclos à holothurie, de par sa proximité avec le fond vaseux, n'est peut-être pas optimisée pour cette espèce vivant préférentiellement sur des fonds rocheux ou sableux (Félix et al., 2024 ; David et al., 2024).

Concernant les variations de poids individuel des différents lots d'holothuries, elles semblent fortement dépendantes du milieu et/ou du stress appliqué au individus lors de leur mise à l'eau. Une diminution, tendancielle mais non significative dans la majorité des cas, du poids a été mesurée pour tous les lots installés en filière au début de l'expérimentation. Les individus des deux espèces ont été acclimatés et placés en stabulation dans la micro-nurserie de CAPENA pendant 2 à 3 semaines avant les différentes mises à l'eau. Cette structure est alimentée directement par l'eau du marais, supposant que le passage de la micro-nurserie à la filière a engendré un stress du fait que les conditions physico-chimiques étaient différentes entre ces deux milieux. A l'inverse les lot d'*H. tubulosa* réalisant l'ensemble de leur parcours en marais n'ont subi aucune variation de poids suite à sa mise à l'eau en claire au début d'expérimentation.

Finalement, les résultats de survie et de croissance obtenus lors de cette expérimentation sont à pondérer par le fait d'avoir utilisé des organismes sauvages, prélevés du milieu naturel, dont l'histoire de vie, l'âge et les conditions physiologiques initiales ne sont pas connus. Ainsi, il n'est pas à exclure que la perte d'un individu soit liée à une mort naturelle (sénescence) associée ou non aux conditions d'élevage. De même, l'observation d'un individu dont le poids n'augmente pas peut-être associée au fait qu'il a déjà atteint son poids maximal. De plus, lors de leur réception, une partie des animaux présentait des gonades développées qui ont été expulsées (en plus des tubes de cuvier pour l'espèce *H. forskali*). Cet état représente une source de stress supplémentaire qui s'est concrétisé par la perte de plusieurs individus avant les mises à l'eau.

V. Conclusion

En Charente-Maritime, les claires ostréicoles et les filières conchylicoles sont des milieux d'élevage qui semblent adaptés pour le développement de filière d'holothuries. Au regard des résultats obtenus dans le cadre des projets MEDIHOM et ANCOVA17, les conditions environnementales et les modalités d'élevage utilisées ont permis de garder en vie des individus adultes des deux espèces *H. forskali* et *H. tubulosa*. Les structures d'élevage conçues spécifiquement, déployées dans cette expérimentation, sont adaptées aux pratiques culturales déjà appliquées pour l'élevage des huîtres creuses, que ce soit en marais ou au niveau des filières en mer. Pour concrétiser le potentiel économique de l'holothuriculture, les prochaines étapes doivent inclure la standardisation des performances zootechniques via l'utilisation de juvéniles issus d'écloserie et l'évaluation économique d'une filière à plus grande échelle.

VI. Bibliographie

- Barbier P., Bodin P., Hennache C., Oudot G. (2022) Capacité de survie d'holothuries en claire ostréicole pendant la période estivale. Rapport d'expérimentation, Projet MEDIHOM, CAPENA, 19 p.
- Carpentier C. (2015) Evolution des systèmes d'élevage ostréicole traditionnels sur parcs : essais expérimentaux de systèmes d'élevage sur filière, dans le cadre d'une démarche participative des acteurs de la filière. Mémoire de fin d'études ingénieur agronome Vetagro Sup. CREAA, 56p
- Chatzivasileiou D., Dimitriou PD., Tsikopoulou I., Lampa M., Papageorgiou N., Tsapakis M., Karakassis I. (2024) Holothurians play an important role in mitigating the impacts of aquaculture on sediment conditions. Marine Pollution Bulletin, Volume 198-115856 ISSN 0025-326X, https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115856
- David F., Raymond G., Grys J., Ameziane N., Sadoul B. (2024) Survival, Growth, and Food Resources of Juvenile Sea Cucumbers *Holothuria forskali* (Echinodermata, Holothuroidea) in Co-Culture with Shellfish in Brittany (France), Aquaculture Nutrition, 7098440. https://doi.org/10.1155/2024/7098440
- Despalatović M, Grubelić I, Šimunović A, Antolić B and Žuljević A. 2004. Reproductive biology of the holothurian *Holothuria tubulosa* (Echinodermata) in the Adriatic Sea. J. Mar. Biol. Ass. U.K 84: 409-414
- Despalatović M, Grubelić I, Šimunović A, Antolić B. and Žuljević A. 2003. New data about reproduction of the *holothurian Holothuria* forskali (Echinodermata) living in geographically different places. Fresenius Environmental Bulletin, 12(11): 1345-1347
- FAO. (2014) Haute valeur et surexploitation : la nécessité d'une meilleure gestion des pêcheries du concombre de mer. Smart fiche 13
- Félix PM., Azevedo e Silva F., Simões T., Pombo A., Marques TA., Rocha C., Sousa J., Venâncio E., Brito AC. (2024) Modelling the habitat preferences of the NE-Atlantic Sea cucumber *Holothuria forskali*: Demographics and abundance. Ecological Informatics, 80 :102476, ISSN 1574-954. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102476
- GBIF Backbone Taxonomy. 2019a. Holothuria forskali Delle Chiaje, 1823 in GBIF Secretariat. Checklist dataset accessed via GBIF.org on 2020-02-26
- GBIF Backbone Taxonomy. 2019b. Holothuria tubulosa Gmelin, 1791 in GBIF Secretariat. Checklist dataset accessed via GBIF.org on 2020-02-26
- Hansson HG. (2001) Echinodermata, *in*: Costello, M.J. et al. (Ed.) (2001). European register of marine species: a check-list of the marine species in Europe and a bibliography of guides to their identification. Collection Patrimoines Naturels,. 50: pp. 336-351
- Kamyab E., Kellermann MY., Kunzmann A., Schupp PJ. (2020) Chemical Biodiversity and Bioactivities of Saponins in Echinodermata with an Emphasis on Sea Cucumbers (*Holothuroidea*). In: Jungblut S., Liebich V., Bode-Dalby M. (eds) YOUMARES 9 - The Oceans: Our Research, Our Future. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20389-4_7
- Kazanidis G, Lolas A and Vafidis D. 2014. Reproductive cycle of the traditionally exploited sea cucumber *Holothuria tubulosa* (Holothuroidea: Aspidochirotida) in Pagasitikos Gulf, western Aegean Sea, Greece. Turk. J. Zool. 38: 306-315
- Lemonnier H., Bernard E., Boglio E., Goarant C., Cochard J-C. (2004) Influence of sediment characteristics on shrimp physiology: pH as principal effect. Aquaculture, 240, 297-312

- MacDonald CLE., Stead SM., Slater MJ. (2013) Consumption and remediation of European Seabass (*Dicentrarchus labrax*) waste by the sea cucumber *Holothuria forskali*. Aquacult Int 21, 1279–1290. https://doi.org/10.1007/s10499-013-9629-6
- Mille D., Oudot G., Dubillot E., Geay A. (2008) Étude de faisabilité de l'élevage d'huîtres en eau Profonde dans la baie de La Malconche. CREAA, 96p
- Mille D. (2003) Culture d'huîtres creuses en eaux profondes dans le Pertuis d'Antioche Comparaisons avec les cultures sur estran du bassin de Marennes Oléron et de Fouras et les filières d'élevage des Saumonards. Période avril 2001 - février 2002. CREAA, 61p
- Molnar N., Welsh DT., Marchand C., Deborde J., Meziane T.. (2013) Impacts of shrimp farm effluent on water quality, benthic metabolism, and N-dynamics in a mangrove forest (New Caledonia), Estuarine, Coastal and Shelf Science, 117, 12-21
- Neofitou, N., Lolas, A., Ballios, I., Skordas, K., Tziantziou, L., Vafidis, D. (2019) Contribution of sea cucumber *Holothuria tubulosa* on organic load reduction from fish farming operation. Aquaculture 501, 97–103. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.071
- Paltzat DL., Pearce CM., Barnes PA., McKinley RS. (2008) Growth and production of California sea cucumbers (*Parastichopus californicus* Stimpson) co-cultured with suspended Pacific oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg). Aquaculture, 275, 124–137
- Purcell SW., Hair CA., Mills DJ. (2012). Sea cucumber culture, farming, and sea ranching in the tropics: Progress, problems and opportunities. Aquaculture, 368–369, 68–81
- Purcell SW., Williamson DH., Ngaluafe P. (2018) Chinese market prices of beche-de-mer: Implications for fisheries and aquaculture. Marine Policy 91: 58-65
- Purcell SW. (2014) Value, Market Preferences and Trade of Beche-De-Mer from Pacific Island Sea Cucumbers. PLoS ONE 9(4): e95075
- Southward EC., Campbell AC. (2006) Echinoderms: keys and notes for the identification of British species. Synopses of the British fauna (new series), 56. Field Studies Council: Shrewsbury, UK. ISBN 1-85153-269-2.
- Tuwo A, and Conand C. 1992. Reproductive biology of the holothurian *Holothuria forskali* (Echinodermata). J Mar Biol Assoc UK 72: 745-758
- Zamora LN., Jeffs AG. (2011) Feeding, selection, digestion, and absorption of the organic matter from mussel waste by juveniles of the deposit-feeding sea cucumber, *Australostichopus mollis*. Aquaculture, 317, 223–228
- Zhou Y., Yang H., Liu S., Yuan X., Mao Y., Liu Y., Xu X., Zhang F. (2006) Feeding and growth on bivalve biodeposits by the deposit feeder *Stichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: *Holothuroidea*) cocultured in lantern nets. Aquaculture, 256, 510–520

Pierrick Barbier
Référent scientifique aquaculture
p.barbier@cape-na.fr

CAPENA – Expertise et Application
Prise de Terdoux 17480 Le Château d'Oléron
T : 05 46 47 51 93
www.cape-na.fr