

Master 2 Gestion de l'environnement  
Parcours Gestion Intégrée du Littoral et Valorisation Halieutique

Promotion 2021/2022

Terahiti Faatauirā

---

# Maîtrise des paramètres fondamentaux de la culture libre de *Gracilaria parvispora* en cage lagonaire dans le lagon de Vairao (Polynésie française)



©Corentin Salvan

Encadrement

Moana Maamaatuauihutapu,  
Chargé des programmes de R&D et zootechnies nouvelles en aquaculture &  
Corentin Salvan, Ingénieur aquacole chargé des projets de diversification PROTEGE

Lieu : Direction des ressources marines  
Fare Ute – Immeuble Le caill – 2ème étage  
BP 20, 98 173 – Papeete – POLYNESIE FRANCAISE

## PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

La Direction des Ressources Marines (DRM) est un service public créé le 17 janvier 2019, par l'Arrêté 84 CM du 17 janvier 2019. Ce service s'occupe de la gestion et du développement des secteurs d'activité que sont la perliculture, la pêche et l'aquaculture en Polynésie française. La mission principale de la DRM est de garantir une exploitation responsable et durable des ressources marines. Pour le secteur de l'Aquaculture, la DRM assure la connectivité entre les professionnels (fermiers et écloseries) et les instituts de recherches tels que l'Institut Français pour la Recherche et l'Exploitation de la Mer (Ifremer), l'Université de la Polynésie française (UPF), l'Institut de Recherche et du Développement (IRD), l'Institut Louis Malardé (ILM) et le Centre de Recherche Insulaire et Observatoire de l'Environnement (CRIOBE). L'échelon décentralisé du service est organisé en quatre cellules : la Cellule Gestion et Préservation des ressources (CGP), la Cellule Contrôle de la Qualité de la Perle (CCQP), la cellule SANitaire (SAN) et enfin la Cellule Innovation et Valorisation (CIV).

Le siège administratif est situé à Papeete (capitale de l'île de Tahiti) mais une partie des agents de la CIV est située sur la presqu'île de Tahiti (Vairao) au Centre Ifremer du Pacifique (**Fig. 1**). La CIV effectue des recherches sur différentes espèces d'intérêts aquacoles et travaille avec l'Ifremer et la CAPF (Coopérative des Aquaculteurs de Polynésie française) afin de développer durablement les activités



Figure 1 : Photographie aérienne du Centre Ifremer du Pacifique

aquacoles du Pays. La CAPF gère pour le Pays les écloseries de production VAI'A de Vairao qui fournissent les juvéniles de poissons et de crevettes aux fermiers.

Ce rapport présente un travail de cinq mois de stage au sein du département Aquaculture de la CIV encadré par Moana Maamaatuaiahutapu, responsable des programmes en Aquaculture ainsi que Corentin Salvan, ingénieur aquacole en charge des projets de diversification du Projet Régional Océanien des Territoires pour la Gestion durable des Ecosystèmes (PROTEGE).

## REMERCIEMENTS

---

Au cours de mon stage, nombreuses sont les personnes qui m'ont accompagnées, tant sur le plan professionnel que personnel. Ainsi, je tiens à leur adresser mes remerciements les plus sincères et à leur témoigner toute ma reconnaissance pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'elles m'ont fait vivre durant ce stage.

Je remercie Monsieur Cédric Ponsonnet, directeur de la DRM de m'avoir permis de réaliser mon stage au sein de son service et pour la confiance qu'il accorde à mon travail.

Je remercie également Monsieur Moana Maamaatuaiahutapu, responsable du département Aquaculture de m'avoir permis de réaliser ce stage au sein de la Cellule Innovation et Valorisation de la DRM.

Merci à mon maître de stage Monsieur Corentin Salvan, ingénieur aquacole chargé des projets de diversification PROTEGE. Merci pour son accueil, son aide, son accompagnement et ses conseils. Il m'a partagé ses connaissances et expériences dans ce milieu, tout en m'accordant sa confiance et une large indépendance dans l'exécution de mes différentes missions.

Un merci également à toute l'équipe de la DRM à Vairao (agents permanents, CVD et tous les stagiaires) pour l'accueil chaleureux et la bonne ambiance de tous les jours, ne changez surtout pas vous êtes une équipe au top !

Mes remerciements s'étendent également à tous les enseignants durant ces deux années d'étude, à toutes les personnes qui m'ont aidé pour la rédaction de ce rapport ainsi que toutes celles qui m'ont soutenu pendant mon stage.

*Maururu (merci) à tous.*

## TABLE DES MATIERES

---

Présentation de la structure d'accueil .....	
Remerciements .....	
Introduction .....	1
1 Matériel et méthodes .....	3
1.1 Zone d'étude.....	3
1.2 Matériel végétal : <i>Gracilaria parvispora</i> , <i>Abbot</i> .....	3
1.3 Enrichissement en azote et en phosphore.....	4
1.4 Méthodes de culture .....	4
1.5 Conditions expérimentées .....	5
1.5.1 Ombrage et densité.....	5
1.5.2 Zone de culture, fertilisant et fréquence d'enrichissement.....	6
1.5.3 Vitalité de la souche d'algue .....	6
1.6 Facteurs environnementaux.....	7
1.7 Acquisition de données et traitement statistiques.....	7
2 Résultats .....	8
2.1 Paramètres environnementaux.....	8
2.2 Effet de l'ombrage et de la densité sur la croissance.....	9
2.3 Contrôle de la croissance en bassin terre et en lagon .....	11
2.4 Effet de la souche d'algue .....	11
2.5 Evaluation du type d'enrichissement par milieu de culture .....	12
2.6 Comparaison de la fréquence d'enrichissement .....	13
2.6.1 Enrichissement dans l'eau d'élevage de crevette .....	13
2.6.2 Enrichissement dans un engrais commercial.....	13
3 Discussion .....	15
3.1 Ombrage et densité.....	15
3.2 Limites des cagettes lagonaires .....	16
3.3 Bassin terre et lagon .....	17
Conclusion.....	18
Bibliographie.....	19
Table des sigles et des abréviations.....	22
Annexes.....	24
Résumé.....	30
Abstract .....	30

## INTRODUCTION

---

L'importance économique des **aquacultures** s'est accentuée au cours des années 70. Parmi les différentes filières aquacoles, l'algoculture a principalement été développée dans les années 1950, en Asie (Bodiguel, 1996). Les macroalgues marines constituent une ressource importante, à valeur commerciale, pour l'**alimentation** et les **produits chimiques** (Bird & Benson, 1987). Parmi les algues marines cultivées, le genre *Gracilaria* est l'un des plus important, en raison de ses rendements élevés et de ses extraits de valeur commerciale (Lapointe et Ryther, 1978 ; Orduña-Rojas et al., 2013). Depuis 2015, la production annuelle d'algues gracilaires avoisine les 3 millions de tonnes (*annexe 1*) (FAO, 2020). Largement répandue dans le monde, il y a environ **180 espèces** caractérisées par la diversité de leur habitat (Ksouri et Challougui, 2008). *Gracilaria* sp. est cultivée commercialement au Chili, en Chine, en Indonésie, au Vietnam et en Argentine et à Hawaii, en utilisant plusieurs techniques de culture telles que la méthode de culture en suspension, la culture sur le fond, la culture sur radeau, la culture sur corde et la culture en bassin (*annexe 2*) (Ksouri et Challougui, 2008, Veeragurunathan et al., 2015,).

L'apport en **nutriments** est un paramètre important dans la gestion des systèmes de culture d'algues marines. Essentiels pour la croissance des algues, l'azote et le phosphore sont disponibles à des concentrations limitantes dans le milieu de culture (Chebil-Ajjabi et Romdhane , 2005). Lapointe et al. (1985) ont démontré que chez *Gracilaria tikvahiae* l'azote limite potentiellement la croissance lorsque le seuil d'azote tissulaire de 2% est atteint. Un **enrichissement** est donc nécessaire afin de maintenir un taux d'azote tissulaire élevé et ne pas ralentir voire arrêter la croissance de l'algue. De plus, une des contraintes majeures et mondiales dans la culture des *Gracilaria* est la colonisation des thalles par les **épiphytes**. Le développement de ces derniers réduits considérablement la **croissance**, la **productivité** et la **rentabilité** (Fletcher ,1995). Wheeler et al. (1981) ont affirmé que le contrôle du développement des épiphytes et celui de l'apport en nutriments sont deux problèmes primordiaux pour les futurs fermiers. En effet, les épiphytes rentrent en compétition avec la *Gracilaria* pour les nutriments disponibles dans le milieu. Par exemple, *Ulva* sp répond bien aux **apports intermittents** d'azote, a des taux d'absorption rapides et des taux de croissance élevés. Par ailleurs, Hanisak et al. (1987) ont rapporté que *Gracilaria* peut absorber à un taux constant, de jour comme de nuit, l'azote dans l'eau. A contrario, le taux d'absorption d'*Enteromorpha* est nettement amélioré à la lumière. Il est possible de réduire la contamination en manipulant les conditions environnementales en faveur de l'espèce hôte, en particulier **l'irradiation photonique** (Fletcher ,1995). Plusieurs études ont signalé que

l'épiphytisme dans les cultures de *Gracilaria* est favorisé par des niveaux d'irradiation élevés. Une réduction artificielle de l'irradiation dans des cultures en bassin à l'aide de filet a été jugé utile (Wheeler et al., 1981). Aussi, l'étude de Ugarte & Santelices (1992) a démontré que le fait de recouvrir les bassins d'une bâche noire pendant 48 heures réduisait la contamination par *Enteromorpha* de **80%**. La qualité de la lumière s'est également avérée importante : Friedlander (1991, 1992) a rapporté qu'une **couverture verte** réduirait l'irradiation photonique disponible de manière plus prononcé pour les épiphytes verts que pour les algues rouges.

La Polynésie française est un pays d'outre-mer qui comprend plus d'un tiers des eaux marines françaises. Ce Pays est composé de 118 îles disséminées sur plus de 5 millions de km<sup>2</sup>. Le développement de l'exploitation des ressources marines est donc essentiel. L'aquaculture polynésienne est un domaine relativement récent et en plein essor, représentée en priorité par la perliculture. En dehors de celle-ci, les techniques, espèces et filières polynésiennes prioritaires actuelles sont : l'élevage de crevettes *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874), de poisson-lune *Platax orbicularis* (Forsskål, 1775), et l'aquaculture de bénitiers *Tridacna maxima* (Röding, 1798). Néanmoins, le secteur reste encore peu développé. Aujourd'hui, le pays souhaite diversifier ses filières aquacoles. Dans le cadre du projet **PROTEGE** (co-financé par le Pays et l'enveloppe régionale du 11<sup>ème</sup> Fonds Européen de Développement), un des axes de développement envisagé par la DRM est celui de la **culture de macroalgues marines**. L'objectif principal est de valoriser les macroalgues à l'échelle locale : soit en « **bioremédiation** » des effluents des productions aquacoles, soit en les valorisant sur le marché de la **consommation**, soit en les intégrant dans le régime alimentaire des espèces élevées sur le territoire. De manière générale, il s'agit de développer des nouvelles techniques de culture, comme l'Aquaculture Multitrophique Intégrée et la coculture. Pour ce faire, la maîtrise de la culture de l'algue concernée est un préalable évident.

L'algue étudiée est *G. parvispora*. La technique de culture retenue pour cet essai est la culture en cage flottante. Les objectifs ont été (1) de comprendre et maîtriser les paramètres fondamentaux de la culture libre de *G. parvispora* en cagette lagonaire, et (2) comparer différents modes de culture. Pour ces raisons, différentes méthodes de culture en cage lagonaire ont été évaluées : la première a consisté à tester une culture sous différents ombrages et à différentes densités, la seconde a permis de tester deux types d'enrichissement en éléments nutritifs et trois fréquences d'apport en fertilisant, et d'évaluer trois milieux de culture. Une zone à hydrodynamisme faible, modéré et fort. De plus, un essai de traitement curatif avec de l'acide chlorhydrique a été effectué, pour lutter contre les épiphytes. L'étude s'est déroulée au Centre Ifremer du Pacifique (CIP) dans le lagon de Vairao (île de Tahiti), dans les installations à la DRM. Ce rapport se divise en cinq

parties : introduction, présentation du matériel et des méthodes utilisées, présentation des résultats, discussion et conclusion.

# 1 MATERIEL ET METHODES

---

## 1.1 ZONE D'ETUDE

L'étude a été menée dans le lagon de Vairao sur la côte Ouest de l'île de Tahiti (île du vent) (LAT : 17°48'22.9"S et LON : 149°17'35.9"O). Le lagon de Vairao est à moitié isolé de l'océan par une barrière de corail, mais reste ouvert à l'océan par l'intermédiaire de la passe Tapuaeraha (*annexe 3*). Les échanges océan-lagon se caractérisent par des entrées d'eau via le récif et des sorties d'eau par la passe Tapuaeraha, et permettent un bon renouvellement de la masse d'eau du lagon. Les températures de l'eau oscillent tout au long de l'année entre 25°C (en saison fraîche, de mai à octobre) et 30°C (en saison chaude, de novembre à avril) (Bernagout, Bouisset et Liao, 2014). La salinité varie entre 34 ‰ et 36 ‰, et dépend fortement de l'eau douce apportée par les précipitations et de l'influence de la rivière Vavi (LAT : 17°49'11,6'' S et LON : 149°17'49,3'' O). Non loin de la zone d'étude se situe un émissaire qui rejette les eaux des bassins de production de microalgues de l'Ifremer. En conséquence, le milieu est riche en matière en suspension et a une forte productivité primaire. Le courant est modéré, le fond est sablo-vaseux et la profondeur moyenne est de 12 m. Des épisodes de forte houle, caractéristiques de l'hiver austral peuvent augmenter considérablement le courant dans la baie (Bernagout, Bouisset et Liao, 2014).

## 1.2 MATERIEL VEGETAL : *GRACILARIA PARVISPORA*, *ABBOT*

Des échantillons de *G. parvispora* ont été récoltés en octobre 2021 sur l'île de Moorea dans le fond de la baie de Cook (LAT : 17°29'47.2"S et LON : 149°49'18.6"O) et sur l'île de Tahiti à Punaauia dans un substrat sablo-vaseux (**Fig. 2**). Un total d'environ 10kg de thalle a été prélevé. Les algues ont été transportées en bassines ou en seaux remplis d'eau salée jusqu'au CIP. A l'arrivée, les thalles ont été rincés à l'eau de mer afin d'éliminer les particules de sédiments. Ils ont été mis en culture pendant trois mois dans 14 bacs hors-sol de 1000, 1500 et 1800 l (*annexe 4*). Les algues ont été cultivées selon un protocole identique : une culture en bullage libre avec 75% d'ombrage, un apport d'azote par un bain nocturne hebdomadaire de 18h dans 16



**Figure 2** : Photo de *Gracilaria parvispora* sauvage sur le site de récolte à Punaauia ©C. Salvan

mg/l d'azote, une eau brute pompée directement dans le lagon et renouvelée à 1200%/j. Chaque semaine les thalles épiphytes (*annexe 5*) ont été fragmentés pour enlever la partie contaminée afin d'avoir uniquement des thalles « sain ». Ce tri a été arrêté à la vue des résultats de la première expérimentation.

### 1.3 ENRICHISSEMENT EN AZOTE ET EN PHOSPHORE

La technique d'enrichissement en azote et en phosphore employée a été inspirée de la méthode hawaïenne en « pulses », elle-même basée sur des travaux réalisés dans les années 1990 en Floride (Lapointe, 1985) et en Israël (Friedlander et Levy 1995a). Elle est utilisée pour des systèmes de production en deux phases : un enrichissement en milieu **eutrophe** sombre et un grossissement en milieu **oligotrophe**. En production, cette technique présente deux avantages : permettre une grande variété de sites pour créer des fermes et surtout réduire la croissance des **épiphytes**, car l'essentiel de la croissance est réalisé en milieu oligotrophe. L'enrichissement a été conduit à l'obscurité afin que les algues rouges aient un avantage pour absorber quantitativement les nutriments (Hanisak, 1990). Contrairement aux algues rouges, les algues vertes (principaux épiphytes) stockent moins les nutriments azotés. Ici, eux engrais commerciaux ont été utilisés pour apporter de l'azote et du phosphore, le Kristalon Jaune et le chlorure d'ammonium. Le Kristalon Jaune, de formule NPK 13.40.13 de la marque YaraTera® est particulièrement riche en phosphore, tandis que le chlorure d'ammonium apporte essentiellement de l'azote.

### 1.4 METHODES DE CULTURE

La culture a été réalisée à l'aide de cage lagonaire de dimension 50x50x30cm (**Fig. 3**). Elles ont été confectionnées en maille PEHD rigide cousue de 16 mm. Un double fond en maille fine (polyamide) a permis de réduire l'échappement gravitaire des thalles les plus petits. Les cagettes ont été suspendues à des cordages en polyéthylène amarrés à une structure flottante en « jet float » (*annexe 3*). Au sein des cagettes les algues sont dites « libres », car les thalles sont circonscrits dans l'espace que délimite la cagette mais ne sont pas attachées.



**Figure 3** : Photo d'une cage lagonaire ensemencée avec *Gracilaria parvispora* ©C. Salvan

La veille du lancement de l'élevage, les algues ont été transférées dans un bassin béton de dimension 4x3x1.2 m (soit 15 m<sup>3</sup> de volume utile) afin d'y subir un enrichissement en azote et en phosphore. La technique d'enrichissement a consisté en un bain nocturne à 16 mg/l d'azote. Les concentrations d'azote et phosphore ont été choisies en se basant sur la méthode d'enrichissement hawaïenne (Glenn et al. 1998a). L'arrivée d'eau neuve est coupée pendant le bain et trois bulleurs sont placés dans le bassin afin d'homogénéiser la diffusion des sels nutritifs et éviter la stagnation des algues au fond du bassin, à un même endroit. À la vue des pertes en matériel végétal causées par la charge excessive d'algues à l'intérieur du bassin et un faible mouvement d'eau, les bains suivants ont été effectués dans trois bassins hors sols de 1500l avant d'être regroupés en un seul et même bac. Le jour de la mise en culture, les algues ont été essorées, pesée puis réparti aléatoirement (*annexe 6*). Chacune des cagettes ont été identifiées de manière à représenter une unité expérimentale.

La croissance des lots d'algues a été suivie par pesée au gramme près, de manière hebdomadaire. Le procédé de pesée a été similaire pour toutes les unités expérimentales. Les algues ont été sorties des cagettes et rincées à l'eau de mer propre, pour enlever les particules de sédiments présents sur les thalles. Elles ont été essorées, de manière standardisée, à l'essoreuse à salade afin d'éliminer l'excédent d'eau puis pesées. En parallèle, les cagettes ont été nettoyées avec un jet d'eau douce, pour enlever les différents dépôts de particules, et si nécessaire des réparations ont été effectuées sur les cagettes.

## **1.5 CONDITIONS EXPERIMENTEES**

### **1.5.1 Ombrage et densité**

Les algues vertes (principaux épiphytes) ont besoin davantage de lumière pour se développer contrairement à la *Gracilaria* (Hanisak, 1987). Le but de l'ombrage est de réduire la propension des épiphytes à coloniser les thalles de *Gracilaria*. Il s'agit de déterminer l'ombrage suffisant pour diminuer significativement le problème des épiphytes tout en impactant la croissance des *Gracilaria* le moins possible. Le suivi des épiphytes repose sur la construction d'un indicateur qui s'exprime en cm<sup>2</sup> d'épiphytes par gramme de *Gracilaria*. Quatre ombrages différents ont donc été évalués : 0%, 30%, 60% et « ombrage vert ». La cagette elle-même a produit un ombrage d'environ 10%. Ces ombrages ont été sélectionnés, car en leur ajoutant l'ombrage dû à la cagette, la valeur obtenue a été proche de celle des bacs hors-sols, soit 75%. L'ombrage 30% a été le seul non testé en production. Les ombrières utilisées sont achetées en boutique de jardinerie. « L'ombrage vert » a été matérialisé par un filtre qui ne laisse passer que de la lumière verte. Il est composé de deux

tôles en fibre de verre teintée, posées l'une sur l'autre. Ce filtre a pour but de supprimer l'essentiel du spectre absorbé par les algues vertes. Les pigments chlorophylliens ont un défaut d'absorption dans le vert qui est par contre absorbé par la phycoérythrine de *Gracilaria* (Nguyen et al. 2017). Un filtre vert pourrait ainsi donner un avantage compétitif aux *Gracilaria*. Trois densités initiales ont été évaluées : 1 kg/m<sup>2</sup>, 2 kg/m<sup>2</sup> et 4 kg/m<sup>2</sup>. Friedlander et Levy (1995b) affirment que le rendement maximal est obtenu à une densité de 2 à 4kg/m<sup>2</sup>, d'où l'intérêt de tester ces densités. Un apport d'azote et de phosphore par balnéation est réalisé hebdomadairement. Cet apport est supposé maintenir les algues dans un état nutritionnel non limitant (Hanisak, 1990). Par conséquent, nous espérons ainsi retirer la variable nutritionnelle de l'analyse. Néanmoins, le taux d'azote tissulaire n'a pas été vérifié, il est donc impossible d'affirmer que l'azote n'est pas limitant. Au total, 70 kg d'algues ont été réparties dans 96 unités expérimentales. En effet, 12 traitements différents ont été répliqués huit fois chacun. Cet essai a duré huit semaines.

### **1.5.2 Zone de culture, fertilisant et fréquence d'enrichissement**

Le milieu de culture a été évalué. Les cultures ont été réalisées dans une zone à hydrodynamisme fort et une zone à faible hydrodynamisme, appelée « lagon ». Un épisode de forte houle a entraîné la perte de matériel végétal dans la majorité des cagettes situées dans la zone à fort hydrodynamisme. Par conséquent, ce milieu de culture a été remplacé par un milieu à faible hydrodynamisme, nommé « bassin terre », pour vérifier l'influence du courant sur la croissance. En parallèle, deux types d'enrichissement ont été confrontés, l'enrichissement formulé avec deux engrais commerciaux et l'autre qui a consisté à utiliser l'eau d'élevage d'un bassin de crevette. Les 590 crevettes utilisées sont issues d'un élevage larvaire (cycle de mai 2021 de la CAPF) et d'un pré-grossissement. Elles ont été élevées de 1 à 26g de poids moyen en bassin intérieur, puis dans un bassin terre de la DRM de 440 m<sup>2</sup> (les paramètres de croissance sont récapitulés dans le tableau de l'*annexe 7*). Les fréquences d'enrichissement comparées sont les suivantes : aucun, hebdomadaire, bi-mensuel et mensuel. L'incident de la forte houle a limité le nombre d'unités expérimentales et les répétitions par traitement, deux cagettes par traitement ont été placées dans le bassin terre et une seule cagette en lagon. En conséquence, les traitements en lagon ne peuvent être comparés.

### **1.5.3 Vitalité de la souche d'algue**

Pour vérifier la perte de vitalité de la souche, une comparaison entre des algues dites « sauvages », récoltées au mois de mai et des algues dites « d'octobre » déjà utilisées pour les précédentes expérimentations, a été réalisée. La culture a été testée en lagon et en bassin terre. Les quatre traitements ont été répliqués trois fois. Au total, 12 unités expérimentales ont été utilisées.

## 1.6 FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

Bezerra et Marinho-Soriano (2010) ont révélé que la croissance de *Gracilaria sp.* est influencée par la qualité de l'eau. Ainsi, quotidiennement, la température (T°C), la salinité, la saturation en O<sub>2</sub>, l'oxygène dissous et le pH ont été mesurés à l'aide d'une sonde multi paramètres YSI. De plus, des prélèvements d'eau ont été réalisés chaque semaine, pour contrôler les teneurs en azote ammoniacal, nitrites et nitrates en utilisant un spectrophotomètre HI 83200-02 de la marque Hanna Instruments ®.

## 1.7 ACQUISITION DE DONNEES ET TRAITEMENT STATISTIQUES

Les données de croissance ont été prises sur chaque unité expérimentale. Le taux de croissance relatif moyen journalier (TCR, %/jour) a été calculé suivant l'équation d'Elia & Deboer (1978),  $TCR = 100 \times [\ln(\text{poids final}) - \ln(\text{poids initial})] / \text{phase de culture en jours}$ . Le rendement R des cages, exprimé en grammes de poids sec par mètre carré et par jour (g/m<sup>2</sup>/j), a été calculé par la relation suivante :  $R = (\text{poids final} - \text{poids initial}) / 0,25 / \text{phase de culture en jour}$ , avec 0,25 la surface en mètre carré de la cage.

Le traitement statistique a été effectué à l'aide du logiciel SPSS 23 et une *p-value* significative au seuil de 5 % d'erreur a été choisie pour l'ensemble des tests statistiques. La normalité et l'homogénéité des variances ont été vérifiées avec un test de Shapiro-Wilk et un test de Levene dans le cas de distribution normale, et un test de Fligner-Killen dans le cas de distributions non normales. En raison de variances inégales entre les différentes cages et de la normalité non respectée un test de Scheirer-Ray-Hare a été effectué, pour évaluer l'effet de l'ombrage, de la densité initiale et de la souche sur la croissance et la productivité. Une ANOVA à 2-facteurs a été utilisée pour étudier l'effet du type de fertilisant, de la fréquence d'enrichissement et de la période de culture sur les mesures individuelles des cages (TCR et R). L'effet du milieu de culture a été contrôlé par un test de Wilcoxon Mann-Whitney. Enfin, pour classer en groupe les différents facteurs étudiés selon les performances de croissance, le test de comparaison multiple de Dunnett a été appliqué lorsque l'analyse de variance montrait des différences significatives.

## 2 RESULTATS

### 2.1 PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

Le bilan des paramètres environnementaux est résumé dans le tableau suivant (**Tab. 1**).

**Tableau 1** : Tableau qui présente les moyennes, les minimums et le maximum obtenus pour les paramètres environnementaux et physico-chimiques au cours de l'étude. Avec Min = minimum et Max = maximum, N-(NH<sub>3</sub>-NH<sub>4</sub>) = azote ammoniacal total, N-NO<sub>2</sub> = nitrite et N-NO<sub>3</sub> = nitrate

Paramètre physico-chimiques	Bassin crevette			Lagon			Bassin terre		
	Moyenne	Min	Max	Moyenne	Min	Max	Moyenne	Min	Max
Température (°C)	26,5 ± 0,74	24,7	27,9	28,2 ± 0,36	27,3	28,9	28,9 ± 1,32	26,6	31,5
O <sub>2</sub> dissous (mg/l)	5,59 ± 0,8	2	7,21	5,92 ± 0,36	5,3	6,57	5,80 ± 20,25	4,2	7,32
Salinité (‰)	36,29 ± 0,5	34,78	36,84	36,33 ± 0,29	35,62	36,87	32,7 ± 1,56	29,81	38,7
pH	7,78 ± 0,19	7,4	8,16	8,27 ± 0,06	8,12	8,37	8,24 ± 1,56	7,57	8,62
N-(NH <sub>3</sub> -NH <sub>4</sub> ) (mg/l)	2,32 ± 1,35	1,24	7,2	0,45 ± 0,10	0,29	0,66	0,55 ± 0,12	0,28	0,78
N-NO <sub>2</sub> (mg/l)	2,85 ± 2,18	0,1	6	0,03 ± 0,01	0,02	0,04	0,02 ± 0,01	0	0,04
N-NO <sub>3</sub> (mg/l)	1,16 ± 2,38	0,01	7,7	2,14 ± 1,72	0	4,7	1,17 ± 1,72	1	4,7

Les températures moyennes du bassin de crevette, du lagon et du bassin terre sont de  $26.5 \pm 0.74$ ,  $28.2^{\circ}\text{C} \pm 0.36$  et  $28.9^{\circ}\text{C} \pm 1.32$ , respectivement. Il y a peu de variations de températures en lagon ( $T^{\circ} \text{min} = 27.3^{\circ}\text{C}$  et  $T^{\circ}\text{C max} = 28.9^{\circ}\text{C}$ ). De même, pour la température du bassin de crevette, alors qu'en bassin terre des fluctuations plus marquées sont à noter, avec une température minimum de  $26.6^{\circ}\text{C}$  et une température maximum de  $31.5^{\circ}\text{C}$ , respectivement. L'eau des trois milieux est bien oxygénée avec une concentration moyenne en O<sub>2</sub> de 5.59 mg/l dans le bassin crevette, 5.3 mg/l en lagon et 5.80 mg/l en bassin terre. Cependant, une faible concentration en O<sub>2</sub> est observable dans le bassin de crevette (O<sub>2</sub> min = 2 mg/l). Cela s'explique du fait d'une coupure d'air arrivée au cours de l'expérimentation. La salinité moyenne du bassin de crevette et du lagon est de 36.29 ‰ et 36.33 ‰, respectivement. Le bassin terre enregistre de fortes variations de salinité, le minimum est de 29.81 ‰ et le maximum de 38.7 ‰. La diminution de la salinité a été volontaire, car en parallèle à la culture d'algue le bassin terre accueille également des huîtres d'une autre étude et il a été question ici d'observer les réponses physiologiques des huîtres à la variation de salinité. Ces variations n'ont pas d'impact sur *G. parvispora*, car elle supporte relativement bien ces fluctuations. Globalement, le pH dans tous les milieux oscille entre 7 et 8, ce qui correspond au taux optimal pour la croissance du genre *Gracilaria* (Rejeki et al. 2018). Enfin, le bassin de crevette présente des variations importantes pour les paramètres physico-chimiques (azote ammoniacal total, nitrite et nitrate). Celui-ci présente la concentration moyenne la plus élevée en azote ammoniacal total, soit 2.32 mg/l alors que les deux autres milieux ont des

concentrations moyennes beaucoup plus faibles, 0.45 mg/l en lagon et 0.55 mg/l en bassin terre. La concentration moyenne d'azote ammoniacal total en lagon ne diffère pas significativement de celle en bassin terre (Wilcoxon Mann-Whitney,  $W = 37$ ,  $p\text{-value} = 0,01$ ).

## 2.2 EFFET DE L'OMBRAGE ET DE LA DENSITE SUR LA CROISSANCE

L'ombrage et la densité initiale ont affecté de manière significative la croissance de *G. parvispora* au cours de cette étude. De même, pour la période de culture (**Tab. 2**).

**Tableau 2** : Résultats du test de Sheirer Ray Hare testant l'effet de l'ombrage de la densité initiale et de la période de culture sur le taux de croissance relative de *G.parvispora*. df = degré de liberté, CM = moyenne au carré, H = H ratio, p = p-value

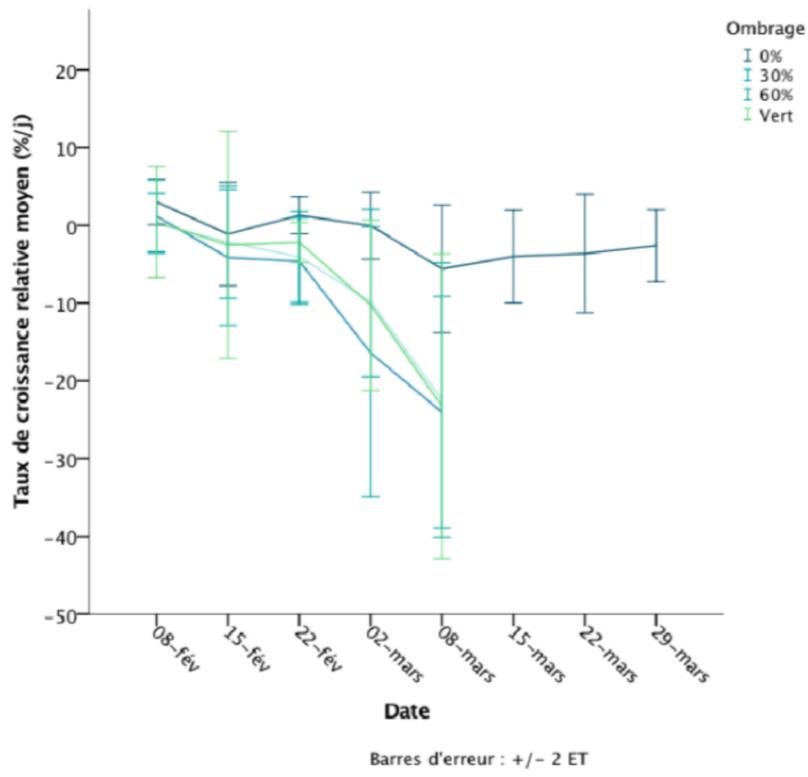
Facteur	df	CM	H	p
<b>Ombrage</b>	3	701	66,69	0,0000
<b>Densité initiale</b>	2	649	23,14	0,0004
<b>Période</b>	7	376	72,63	0,0001

La moyenne du taux de croissance relative et du rendement ont été calculés pour chaque ombrage et chaque densité initiale (**Tab. 3**). Les taux de croissance relative (TCR) moyens respectifs pour un ombrage à 0%, 30%, 60% et l'« ombrage vert » sont :  $-1.60 \pm 3.91$ ,  $-7.53 \pm 9.43$ ,  $-8.50 \pm 10.59$  et  $-7.31 \pm 8,99$  %/j. Les TCR respectifs pour une densité initiale de 1kg, 2kg et 4kg/m<sup>2</sup> sont :  $-3.98 \pm 8.66$ ,  $-5.56 \pm 9.10$  et  $-7.40 \pm 8.99$ . Des différences significatives sont observées parmi les différents traitements.

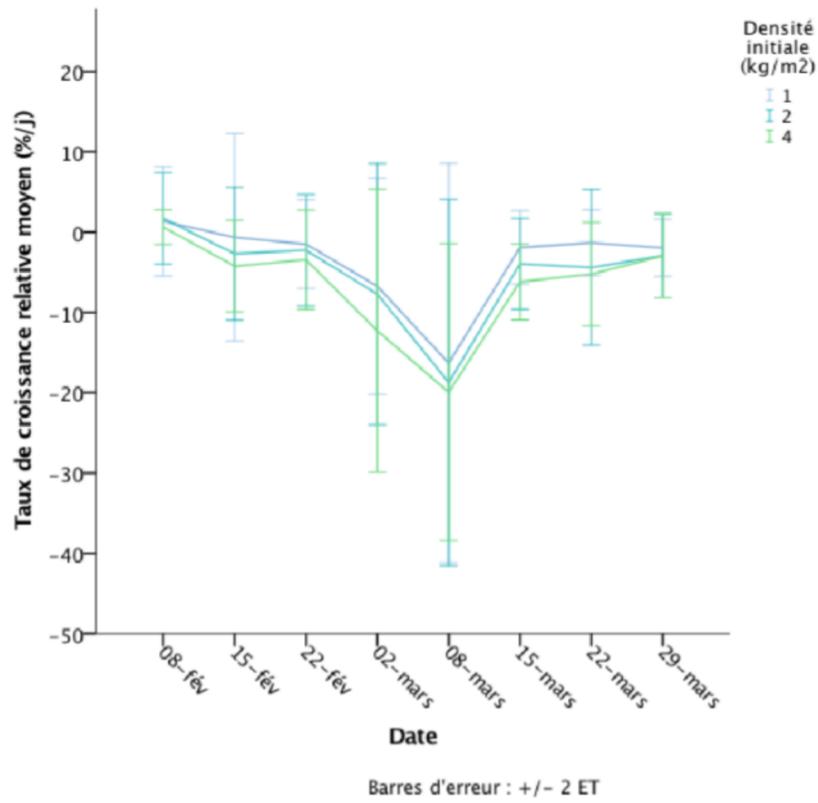
**Tableau 3** : Valeurs moyennes  $\pm$  écart type du taux de croissance relative pour chaque niveau d'ombrage et chaque densité testés sur toute l'étude. Les étoiles indiquent le niveau de significativité des résultats (\*\*\*) :  $p < 0,001$

Ombrage	0%	30%	60%	Filtre vert
<b>Taux de croissance relative moyen (%/j)</b>	$-1,60 \pm 3,91$	$-7,53 \pm 9,43^{***}$	$-8,50 \pm 10,59^{***}$	$-7,31 \pm 8,99^{***}$
<b>Densité initiale (kg/m<sup>2</sup>)</b>	1	2	4	
<b>Taux de croissance relative moyen (%/j)</b>	$-3,98 \pm 8,66$	$-5,56 \pm 9,10$	$-7,40 \pm 8,99^{***}$	

Tout au long de l'étude, le TCR a été négatif pour chaque traitement, excepté pour l'ombrage 0%, qui lui a permis un taux de croissance positif, deux semaines après la mise en lagon des cagettes (**Fig. 4(a)**). Au vu des résultats négatifs de chaque ombrage, il a été décidé d'arrêter les cultures sous un ombrage à 30%, 60% et l'ombrage « filtre vert » cinq semaines après le début de l'expérimentation, mais de continuer la culture sans ombrage. La tendance d'évolution du TCR de



(a)



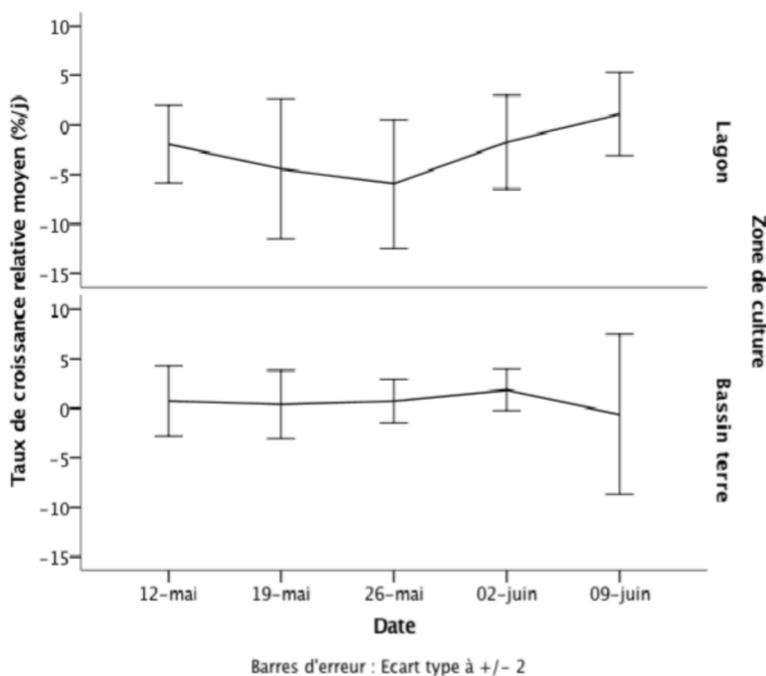
(b)

**Figure 4** : Evolution temporelle du taux de croissance relative moyen (%/j) en fonction de (a) l'ombrage ; (b) la densité initiale

chaque densité initiale est similaire sur toute la période de culture (**Fig. 4 (b)**). Enfin, les croissances obtenues n'étant pas intéressantes, l'indice d'épiphyte n'a pas été calculé.

### 2.3 CONTROLE DE LA CROISSANCE EN BASSIN TERRE ET EN LAGON

D'après les analyses statistiques, le taux de croissance relative en bassin est significativement plus élevé que celui en lagon durant les 35 jours de l'essai (Wilcoxon Mann-Whitney,  $W = 120$ ,  $p$ -value = 0,01). La croissance en bassin terre a été meilleure que celle en lagon (TCR moyen respectifs :  $0,61 \pm 0,28$  et  $-2,60 \pm 0,65\%$ ). En lagon, TCR était négatif les deux premières semaines de culture, puis il s'est légèrement amélioré. En bassin terre, la croissance était stable pendant un mois et à chuté la dernière semaine (**Fig. 5**).

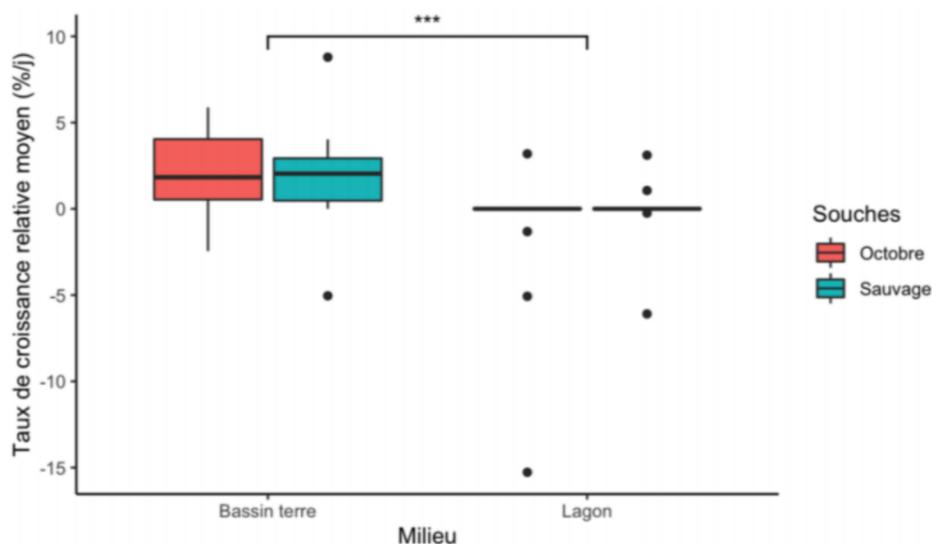


**Figure 5** : Evolution temporelle du taux de croissance relative moyen (%/j) en lagon et en bassin terre

### 2.4 EFFET DE LA SOUCHE D'ALGUE

Le test de Sheirer-Hay-Raye a révélé aucune différence significative entre le TCR de la souche d'octobre et de la souche sauvage (Sheirer-Hay-Raye,  $H = 0,029$ ,  $p$ -value = 0,0001). Par contre, l'analyse statistique a indiqué que le TCR en bassin terre est significativement supérieur à celui en lagon (Sheirer-Hay-Raye,  $H = 19,76$ ,  $p$ -value = 0,0001) (**Fig. 6**). Ces résultats rejoignent ceux

énoncés précédemment (cf. 3.3). Les conditions de culture du bassin terre permettent de meilleure croissance.



**Figure 6** : Boîte à moustache du taux de croissance relative moyen (%/j) en bassin terre et en lagon de la souche sauvage et la souche d'octobre. Les médianes sont représentées par le trait à l'intérieur de la boîte. Les limites inférieures et supérieures de la boîte correspondent au premier quartile et troisième quartile respectivement. Les moustaches correspondent aux valeurs minimales (pour la moustache du bas) et maximales (pour la moustache du haut). Les étoiles indiquent le niveau de significativité des résultats (\*\* :  $p < 0,01$  et \*\*\* :  $p < 0,001$ )

## 2.5 EVALUATION DU TYPE D'ENRICHISSEMENT PAR MILIEU DE CULTURE

Le type d'enrichissement n'affecte pas significativement le taux de croissance et le rendement d'une culture en bassin ou en lagon ( $p$ -value  $> 0,05$ ). Les valeurs moyennes du TCR et du R ont été calculées selon l'enrichissement appliqué et le milieu de culture (**Tab. 4**). Les TCR des *Gracilaria* cultivées en bassin sont supérieurs à ceux des *Gracilaria* cultivées en lagon, que ce soit pour un enrichissement dans l'eau d'élevage de crevettes et un enrichissement avec un engrais commercial. Les taux de croissance en bassin terre avec un enrichissement en bassin de crevettes et un enrichissement dans un engrais commercial est de  $1,17 \pm 1,81$  et  $1,47 \pm 1,07$  contre  $-3 \pm 3,58$  et  $-4,30 \pm 3,40$  dans le lagon. Enfin, les résultats montrent que lorsqu'il n'y a aucun apport en azote et en phosphore, il n'y a aucune croissance dans les deux milieux.

**Tableau 4** : Valeurs moyennes  $\pm$  écart type du taux de croissance relative pour chaque type d'enrichissement et chaque milieu de culture.

Fertilisant	Aucun		Bassin crevette		Engrais	
	Bassin terre	Lagon	Bassin terre	Lagon	Bassin terre	Lagon
<b>TCR</b>	$-5,58 \pm 0,77$	$-3,41 \pm 1,42$	$1,17 \pm 1,81$	$-3,00 \pm 3,58$	$1,47 \pm 1,07$	$-4,30 \pm 3,40$
<b>Rendement</b>	$-11,86 \pm 38,13$	$22,85 \pm 108,61$	$24,38 \pm 38,90$	$22 \pm 105,37$	$4,52 \pm 43,08$	$-31,68 \pm 59,11$

## 2.6 COMPARAISON DE LA FREQUENCE D'ENRICHISSEMENT

### 2.6.1 Enrichissement dans l'eau d'élevage de crevette

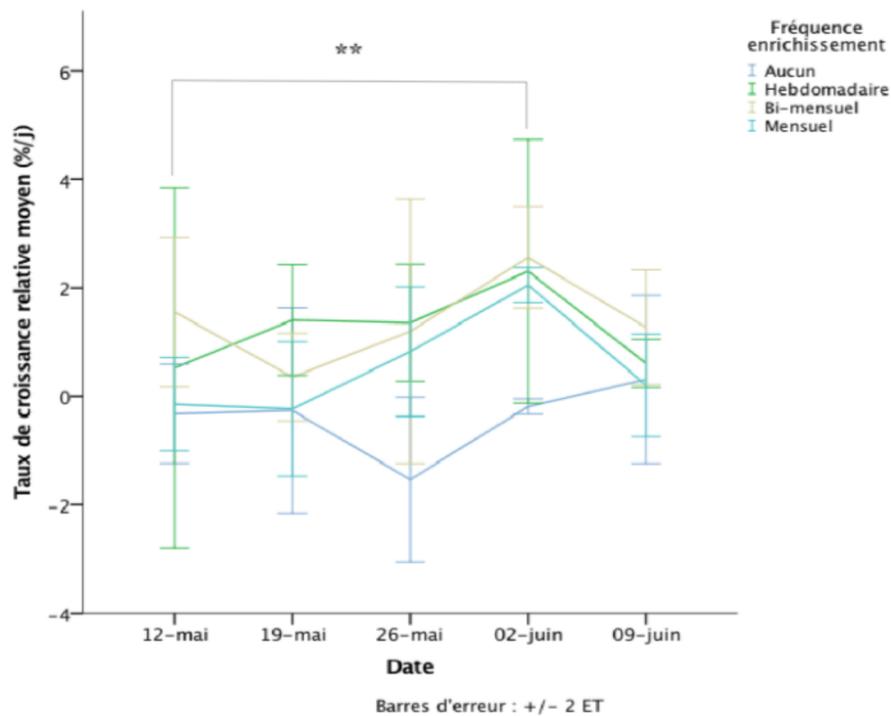
L'ANOVA à 2-facteurs a montré qu'il n'y avait pas d'effet significatif de la fréquence d'enrichissement et de la période de culture sur le taux de croissance relative et le rendement des *Gracilaria* cultivées en bassin terre et fertilisées dans l'eau d'élevage des crevettes (**Tab. 5**).

**Tableau 5** : Résultats de l'ANOVA à 2-facteurs testant l'effet de la fréquence d'enrichissement et de la période de culture sur le taux de croissance relative et le rendement des algues (*G. parvispora*) cultivées en bassin terre et fertilisées dans l'eau d'élevage du bassin de crevette. df = degré de liberté, CM = moyenne au carré, F = F ratio, p = *p-value*.

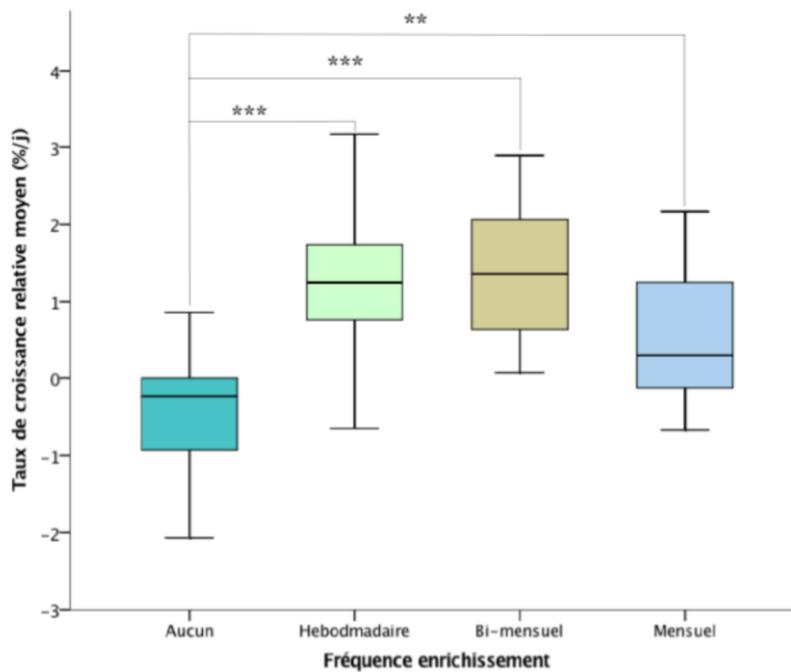
Facteur	Fréquence d'enrichissement				Période de culture			
	df	CM	F	p	df	CM	F	p
Variable dépendante								
TCR	3	10,223	2,429	0,095	4	10,8	5,566	0,070
Rendement	3	2589	0,759	0,53	4	4705	1,379	0,277

### 2.6.2 Enrichissement dans un engrais commercial

L'ANOVA à 2-facteurs a révélé que le taux de croissances relatives des algues fertilisées de manière hebdomadaire, bi-hebdomadaire et mensuel est significativement plus élevé que celui des algues qui n'ont reçu aucun enrichissement ( $p\text{-value} < 0,05$ ) (**Fig. 7**). L'analyse de la variance a également montré que la période de culture influe sur la croissance de *G. parvispora* ( $p\text{-value} < 0,05$ ). Pour chaque fréquence d'enrichissement, les TCR augmentent jusqu'à trois semaines de culture puis diminuent, excepté pour le traitement sans aucun apport (**Fig. 8**).



**Figure 7** : Boîte à moustache du taux de croissance relative moyen (%/j) des macroalgues (*G. parvispora*) cultivées en bassin terre et enrichies dans un engrais commercial. Les étoiles indiquent le niveau de significativité des résultats (\*\* :  $p < 0,01$  et \*\*\* :  $p < 0,001$ )



**Figure 8** : Evolution temporelle du taux de croissance relative moyen (%/j) selon la fréquence d'enrichissement

### 3 DISCUSSION

---

#### 3.1 OMBRAGE ET DENSITE

Dans cette étude, les différents ombrages combinés aux différentes densités n'ont pas permis d'obtenir de bonnes performances de croissance de *G. parvispora* en cage lagonaire. Ces résultats n'ont pas rendu possible la sélection d'un ombrage qui permettrait de réduire la propension d'épiphyte. Les résultats diffèrent de ceux obtenus pour *Gracilaria tikvahiae* en Floride, qui pouvait être cultivée en cage pendant plusieurs semaines dans une eau riche en nutriments ou jusqu'à huit mois dans une eau oligotrophe avant que les thalles ne se détériorent (Hanisak, 1987). Les taux de croissance obtenus sont nettement inférieurs au taux de croissance atteint à Hawaï (2,64%/j) pour la même technique de culture (Glenn et al. 1998a) et le taux de croissance de 3,32% obtenu en Inde (Kasim, Mustafa, et Munier, 2016). Après trois semaines de culture, la croissance a fortement diminué et a entraîné une mortalité massive dans les cagettes. Cette dernière s'est manifestée par un ramollissement des thalles (les branches étaient moins rigides et plus fragiles), une détérioration des apex (blanchiment) et une segmentation des thalles. La présence d'une pathologie dans l'eau est suspectée, puisque parallèlement à la culture en cage flottante, une production en bacs hors-sol était également suivie. Cette production a vu sa croissance diminuer entraînant également une mortalité. Une corrélation entre plusieurs facteurs pourrait être à l'origine de la mortalité observée. Le premier facteur est un stress causé par des mauvaises manipulations. Par exemple, la fragmentation des thalles pendant le tri préalable effectué, pour séparer la partie épiphytée des thalles aurait entraîné un stress chez *G. parvispora* la rendant plus vulnérable aux pathologies présentes dans l'eau. De plus, le fait d'avoir réuni toutes les algues, lors du bain d'enrichissement, a probablement favorisé la transmission horizontale des maladies, ce qui aurait conduit à une pathologie générale. Aussi, la circulation des thalles dans le bassin était limitée, car les thalles se sont entassés à différents endroits au fond du bassin. Le second facteur soupçonné est le courant. À chaque pesée hebdomadaire, les thalles étaient recouverts de dépôts de particules et de diatomées. La faiblesse du courant sur la période aurait favorisé ce dépôt sur les thalles, ce qui a sans doute réduit les échanges et favorisé l'apparition de la pathologie. Les pertes en matériel végétal étaient également non négligeables puisqu'à chaque sortie et remise en lagon des cagettes, des segments d'algues passaient au travers de la maille et se retrouvait hors de la cage. Le double fond en maille n'est pas suffisant pour limiter ces pertes d'algues anormalement fragmentées par la pathologie. Ces premiers résultats ont permis d'orienter les pistes d'investigations suivantes. Les expériences suivantes ont été réalisées sans aucun ombrage, la

fragmentation de déparasitage (la fragmentation est censée stimuler la croissance dans une certaine mesure) a été arrêtée afin d'avoir uniquement des thalles « sains », en acceptant un certain degré de contamination initiale au lancement de l'expérimentation et deux zones à hydrodynamismes différents (fort et modéré) ont alors été évalué.

### **3.2 LIMITES DES CAGETTES LAGONAIRES**

L'expérimentation menée dans les zones d'hydrodynamismes fort et modéré (lagon) a mis en évidence le point faible des cagettes utilisées. La configuration des cagettes est basée sur ce qui a été fait à Hawaï (Glenn et al, 1998). La taille de la maille des cagettes hawaïenne est supérieure à la nôtre (maille de forme carrée de 12mm, dont l'hypoténuse est égale à 16,8mm) et les croissances atteintes sont plus élevées. Des essais préliminaires d'une culture sans ombrage avaient déjà été effectués par la DRM, pour valider le protocole de culture en lagon. Pendant ces essais, l'échappement des algues par le bas de la cagette avait été constaté, d'où l'ajout du double fond en maille. Les résultats obtenus étaient prometteurs, puisque la biomasse avait doublé en seulement trois semaines. Cependant, dans notre cas, les résultats démontrent l'insuffisance de la double maille et la taille inadapté de la maille de 16mm lorsque le courant devient élevé. En effet, lors du premier essai, aucun épisode de forte houle n'avait été signalé. Pendant les investigations suivantes, plusieurs épisodes de forte houle ont été observés. La houle remplit le lagon avec une quantité d'eau inhabituel, ce qui engendre une courantologie anormalement élevée dans les chenaux. Dans la zone à fort hydrodynamisme, on pouvait voir les algues s'échapper facilement par la maille de 16mm. De plus, le courant plaquait les algues contre les côtés de la cage. Les herbivores tels que *Siganus argenteus* (Quoy & Gaimard, 1825) avaient donc accès aux algues et pouvait aisément venir consommer la *Gracilaria*. Des bancs de 20 à 50 individus ont été observés consommant les apex qui dépassaient des mailles. Actuellement, des tests de culture en lagon sont en cours avec des cagettes à maille carrées plus fine (5mm de côté), pour confirmer l'hypothèse d'une maille non adaptée. À première vue, les résultats sont prometteurs, il y a peu de pertes de matériel végétal possible et la croissance semble être améliorée. La taille de la maille paraît être un paramètre important dans l'itinéraire de culture. Les zones à fort hydrodynamisme présentent un intérêt à condition d'utiliser des mailles adaptées. Grâce à cette expérimentation, on a également remarqué que le dépôt de sédiments et la présence de diatomée sur les thalles de *Gracilaria* était plus faible lorsqu'il y avait du courant.

### 3.3 BASSIN TERRE ET LAGON

Les résultats précédents nous ont aiguillés vers l'essai d'une culture dans un milieu à hydrodynamisme faible (bassin terre) comparé à une culture en lagon (hydrodynamisme modéré). Les algues cultivées en bassin terre ont eu une croissance qui stagnait les premières semaines de culture, alors qu'en lagon, elle diminuait progressivement. Conjointement, à la culture en lagon dont les croissances ne s'amélioraient pas, une diminution du taux de croissance dans les bacs de production avait été observée. Nous nous sommes alors demandées si cette diminution n'était pas liée à une perte de vitalité de la souche cultivée. Hanisak (1987) et Glenn et al. (1998a) ont affirmé qu'en cage flottante les thalles libres ont tendance à se détériorer au fil du temps et les algues sont alors moins performantes. Les résultats actuels ne permettent pas de conclure quant à la perte de vitalité, il n'y a aucune différence significative entre la souche « sauvage » et la souche « d'octobre » et l'essai est toujours en cours. De plus, pour expliquer les meilleures croissances obtenues en bassin terre, on s'est intéressé aux nutriments disponibles dans le milieu de culture, en particulier l'azote ammoniacal total qui est plus facilement assimilé par la *Gracilaria* (Mensi, Ksouri, et Hammami, 2009). La teneur moyenne en éléments nutritifs du bassin terre était légèrement plus élevée, avec 0.45 mg/l contre 0.55 mg/l d'azote ammoniacal total en lagon. Cette piste a été écartée, car statistiquement, il n'y avait pas de différence significative notable.

## CONCLUSION

---

Cette étude a mis en évidence toute la complexité de la maîtrise des paramètres fondamentaux de la culture libre de *G. parvispora* en cage lagonaire. La technique de culture étudiée est réalisable, cependant plusieurs facteurs sont à considérer. L'expérimentation « ombrage/densité » n'a pas été concluante et n'a pas permis de choisir un ombrage apte à stopper le développement des épiphytes sur les thalles de *Gracilaria* sans impacter la croissance. En effet, les taux de croissance des algues ont chuté de manière progressive en début de test. L'ajout des différents ombrages s'est révélé être néfaste pour la croissance en cage lagonaire de *G. parvispora*. De plus, de mauvaises manipulations ont induit un stress, qui a fragilisé les thalles et à entraîner une mortalité massive (pathologie générale). Cette première expérimentation a suffi pour comprendre que *G. parvispora* est une algue fragile et délicate. Dans le futur, il faudrait répéter ce test, car les résultats ont été biaisés, en raison de la pathologie.

Les différences de croissance observées en fonction des trois milieux de culture orientent les futurs tests. Le mouvement de l'eau semble avoir un impact sur la croissance de *G. parvispora*. En fonction du milieu de culture, il est nécessaire d'avoir des cagettes adaptées pour éviter toute perte de biomasse. En ce qui concerne le type d'apport en éléments nutritifs, il n'y a pas de différence entre un apport artificiel et un apport naturel. Il serait judicieux de reproduire le test d'enrichissement naturel, cette fois, en baignant les algues dans des effluents de crevette comme ce qui a déjà été fait par Glenn et al (2001).

Enfin, les résultats du test sur les fréquences d'enrichissement ne permettent pas de valider une fréquence en particulier. Néanmoins, ce test appuie le fait qu'il faille apporter des nutriments en complément de ceux présent dans le milieu. Sans cet apport, les algues ne se développent pas, car la disponibilité en éléments nutritifs indispensables à leur croissance (azote et phosphore) est réduite en milieu oligotrophe. À l'avenir, il faudrait réitérer cette expérimentation en testant d'autres fréquences, par exemple un apport toutes les cinq semaines.

L'hydrodynamisme est sans doute l'un des facteurs clés pour la culture de *G. parvispora* dans le lagon polynésien. Dans le futur, il serait intéressant de réitérer le test « ombrage/densité » en quantifiant l'influence de la courantologie. Ce travail n'est que le début d'une longue série de tests. En effet, l'objectif ultime est de pouvoir proposer à un fermier lambda un itinéraire de culture pratique.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Akutigawa, Brown, Edward, Fitzsimmons, Glenn, Moore, Tanner, Napoleon. 1998. « A Sustainable Culture System for *Gracilaria parvispora* Rhodophyta/ Using Sporelings, Reef Growout and Floating Cages in Hawaii », 12.
- Benson, Bird. 1987. « Seaweed Cultivation for Renewable Resources » Elsevier, Amsterdam. 381 pp.
- Bernagout, Bouisset, Liao. 2014. « Réseau de surveillance des polluants anthropiques dans les lagons de Polynésie française ». Rapport PRP-ENV/SESURE 2014-35. 69 pp.
- Berthommier, Delga, Denormandie, Girardin, Le Gal, Pompili. 2021. « Plan stratégique national pour l'aquaculture durable 2021-2027 ». 83p
- Bezerra, Marinho-Soriano. 2010. « Cultivation of the red seaweed *Gracilaria birdiae* (Gracilariales, Rhodophyta) in tropical waters of northeast Brazil. Biomass Bioenerg ». 34, 1813–1817. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.07.016>.
- Bodiguel. 1996. « L'algoculture dans le monde et ses contraintes ». In: Annales de Géographie, t. 105, n°591, pp. 480-497.
- Bosma, Rejeki, Restiana, Widowati. 2018. « The Effect of Three Cultivation Methods and Two Seedling Types on Growth, Agar Content and Gel Strength of *Gracilaria verrucosa* ». *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 44 (1): 65-70. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.01.001>.
- Carsten, Pribadi, Schulz, Yudi. 2019. « Nitrogen Assimilation Potential of Seaweed (*Gracilaria verrucosa*) in Polyculture with Pacific White Shrimp (*Penaeus vannamei*) » 12 (1): 12.
- Challougui, Ksouri, Jamel. 2008 « Culture en conditions optimisées de la macroalgue rouge *Gracilaria gracilis* (stackhouse) Steentof et al. dans le lac de Bizerte », 7.
- Chebil-Ajjabi, Romdhane. 2005. « Etude comparative de l'absorption de l'azote par deux espèces d'algues rouges : *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss, 1950 » 32: 9
- Demir, Dural, Sunlu. 2006. « A pilot scale unit for suspended cultivation of *Gracilaria gracilis* in Izmir Bay, Aegean sea-Turkey. *Pak J Biol Sci* 9(6) :1043-1046
- Dennis, Hanisak. 1987 « Cultivation of *Gracilaria* and other macroalgae in florida for energy production », 29.
- Dumay, Fleurence, Morançais, Nguyen, Trang. 2017. « *Mastocarpus stellatus* as a source of R

phycoerythrin: optimization of enzyme assisted extraction using response surface methodology ». *Journal of Applied Phycology* 29 (3): 1563-70.  
<https://doi.org/10.1007/s10811-016-1024-z>.

Eswaran, Gobalakrishnan, Karuppanan, Malarvizhi, Veeragurunathan. 2015. « Cultivation of *Gracilaria dura* in the open sea along the southeast coast of India ». *Journal of Applied Phycology*. 27. 10.1007/s10811-014-0514-0.

FAO. 1996. « La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 1996. La durabilité en action ». Rome.

FAO. 2020. « La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2020. La durabilité en action ». Rome

Fitzsimmons, Glenn, McKeon, Napoleon, Nelson, Ryder. 2004. « Effect of water motion on the cultivation of the economic seaweed *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) on Molokai, Hawaii». *Aquaculture*, Volume 238, Issues 1-4, Pages 207-219, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.05.019>.

Fletcher, Robert. 1995. « Epiphytism and Fouling in *Gracilaria* Cultivation: An Overview ». *Journal of Applied Phycology* 7 (3): 325-33. <https://doi.org/10.1007/BF00004006>.

Friedlander, Levy. 1995a. « Cultivation of *Gracilaria* in Outdoor Tanks and Ponds ». *Journal of Applied Phycology* 7 (3): 315. <https://doi.org/10.1007/BF00004005>.

García-Rodríguez, Javier, López-Meyer, Orduña-Rojas, Riosmena-Rodríguez. 2013. « Photosynthetic and Respiratory Responses of *Gracilaria parvispora* from the Southeastern Gulf of California ». *Journal of Applied Phycology* 25 (6): 1855-61.  
<https://doi.org/10.1007/s10811-013-0010-y>.

Hammami, Ksouri, Mensi, Romdhane. 2015. « État des connaissances et perspectives de recherches sur la culture de gracilariales (*Gracilaria* et *Gracilariopsis*) : application à la lagune de bizerte ». <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1909.7047>.

Hanisak. 1990 « The Use of *Gracilaria tikvahiae* (Gracilariales, Rhodophyta) as a Model System to Understand the Nitrogen Nutrition of Cultured Seaweeds' », 9.

Harger, Neushul, Wheeler. 1981. « Development of a coastal marine farm and its associated problems ». Levring T (ed). *Proceedings of the Tenth International Seaweed Symposium*. Walter de Gruyter, Berlin : 631-636.  
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(78\)90030-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(78)90030-3)

Kasim, Munier, Ma'ruf, Mustafa. 2016. « The Growth Rate of Seaweed (*Eucheuma denticulatum*)

Cultivated in Longline and Floating Cage » 9 (2): 9.

Lapointe. 1985. « Strategies for pulsed nutrient supply to *Gracilaria* cultures in the Florida keys : interactions between concentration and frequency of nutrient pulses », 12.

Lapointe, Ryther. 1978. « Some aspects of the growth and yield of *Gracilaria tikvahiae* in culture ». *Aquaculture*, Volume 15, Issue 3, 1978, Pages 185-193, ISSN 0044-8486,

Santelices, Ugarte. 1992. « Experimental tank cultivation of *Gracilaria chilensis* in central Chile ». *Aquaculture* 101: 7-16.

## TABLE DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS

---

ANOVA : ANalysis Of Variance

CO<sub>2</sub> : dioxyde de carbone

cm : centimètre

g : gramme

h : heure

kg : kilogramme

kg/m<sup>2</sup> : kilogramme par mètre carré

km<sup>2</sup> : kilomètre carré

l : litre

m<sup>2</sup> : mètre carré

m<sup>3</sup> : mètre cube

mg : milligramme

min : minimum

max : maximum

mm : millimètre

NPK : Azote Phosphore Potassium

PEHD : polyéthylène haute densité

pH : potentiel hydrogène

x : multiplier par

± : plus ou moins

°C : degré celsius

/ : par

% : pourcent

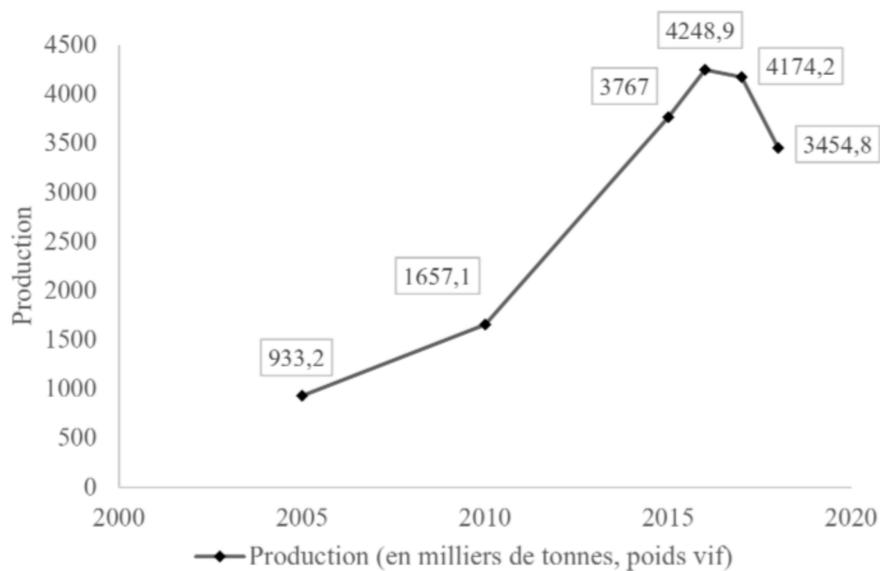
% /j = pourcent par jour

‰ : pour mille

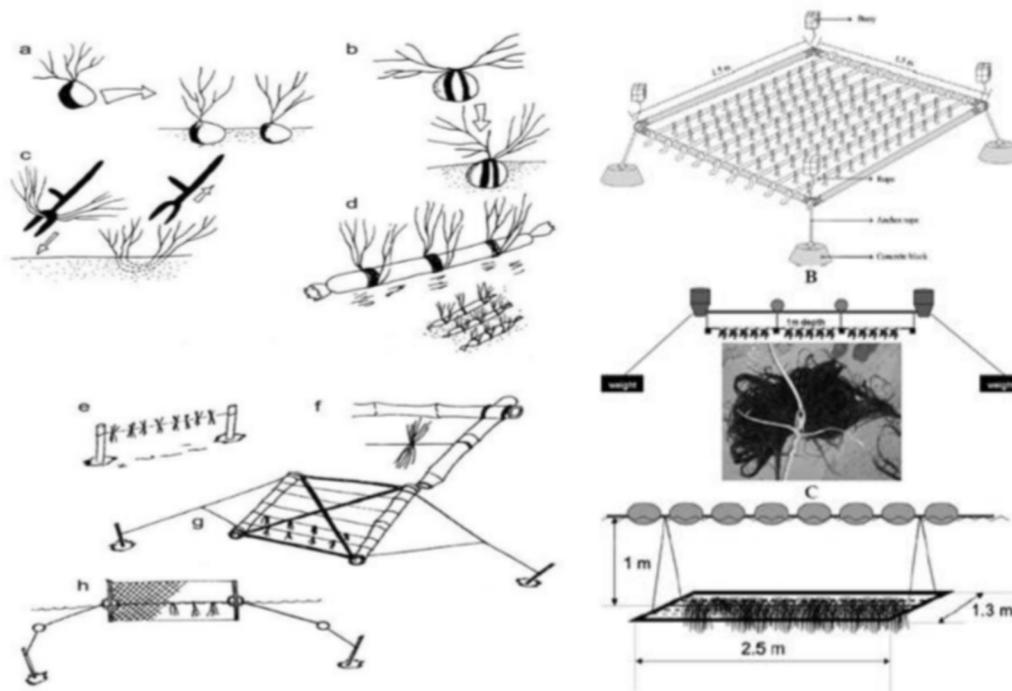
[O<sub>2</sub>] : Concentration en oxygène dissous

## ANNEXES

**Annexe 1** : Production mondiale d'algues gracilaires depuis 2005 (en millier de tonnes) (FAO, 2020)



**Annexe 2** : Schémas des différentes techniques de culture de macroalgues (Mensi Fethi et al., 2015)



(a) et (b) : thalles attachés à un support puis posés sur le fond

(c) Thalles enfouis dans le sédiment à l'aide d'un outil bifurqué

- (d) Pour *Gracilaria*, les thalles sont ancrés par des boudins de sable (tubes en polyéthylène de 0.1 mm d'épaisseur, approximativement 4 centimètres de diamètre et un mètre de long)
- (e) Pour la culture sur des structures flottantes des thalles entiers sont insérés sur des cordes linéaires, suspendues et étirées entre des pieux enfoncés dans le fond

(B) et (C) Système de radeau : les radeaux sont soit flottants avec des cordages suspendus portant les boutures tous les 10 cm, soit fixés entre deux eaux auquel cas, les cordages portant les boutures sont horizontaux.

**Annexe 3 : Localisation de la zone d'étude dans le lagon de Vairao (île de Tahiti)**



- (A) Vue satellite du lagon de Vairao et du Centre Ifremer du pacifique (entouré en rouge)
- (B) Vue satellite du Centre Ifremer du Pacifique et de la zone d'étude (entouré en rouge)
- (C) Photographie de la zone d'étude
- (D) Photographie des cagettes lagonaire attachées à la structure flottante en jet floats

**Annexe 4** : Photo des bassins de production hors sols. ©C. Salvan



Photographie du bac de 1800 l (bac gris) et des trois bacs de 1500 l (bac noir)



Photographie du bassin béton et des bacs de 1m<sup>3</sup>

**Annexe 5** : Photographie d'un thalle épiphyté. ©C. Salvan



**Annexe 6 : Répartition aléatoire des cagettes lagonnaires selon l'ombrage et la densité**

N°	Ombrage	densité												
1	0%	30%	25	30%	60%	49	60%	85%	73	85%	85%	4	85%	85%
2	0%	30%	26	30%	60%	50	60%	85%	74	85%	85%	4	85%	85%
3	0%	30%	27	30%	60%	51	60%	85%	75	85%	85%	2	85%	85%
4	0%	30%	28	30%	60%	52	60%	85%	76	85%	85%	4	85%	85%
5	0%	30%	29	30%	60%	53	60%	85%	77	85%	85%	2	85%	85%
6	0%	30%	30	30%	60%	54	60%	85%	78	85%	85%	1	85%	85%
7	0%	30%	31	30%	60%	55	60%	85%	79	85%	85%	2	85%	85%
8	0%	30%	32	30%	60%	56	60%	85%	80	85%	85%	4	85%	85%
9	0%	30%	33	30%	60%	57	60%	85%	81	85%	85%	1	85%	85%
10	0%	30%	34	30%	60%	58	60%	85%	82	85%	85%	2	85%	85%
11	0%	30%	35	30%	60%	59	60%	85%	83	85%	85%	4	85%	85%
12	0%	30%	36	30%	60%	60	60%	85%	84	85%	85%	1	85%	85%
13	0%	30%	37	30%	60%	61	60%	85%	85	85%	85%	4	85%	85%
14	0%	30%	38	30%	60%	62	60%	85%	86	85%	85%	1	85%	85%
15	0%	30%	39	30%	60%	63	60%	85%	87	85%	85%	4	85%	85%
16	0%	30%	40	30%	60%	64	60%	85%	88	85%	85%	1	85%	85%
17	0%	30%	41	30%	60%	65	60%	85%	89	85%	85%	4	85%	85%
18	0%	30%	42	30%	60%	66	60%	85%	90	85%	85%	1	85%	85%
19	0%	30%	43	30%	60%	67	60%	85%	91	85%	85%	2	85%	85%
20	0%	30%	44	30%	60%	68	60%	85%	92	85%	85%	4	85%	85%
21	0%	30%	45	30%	60%	69	60%	85%	93	85%	85%	2	85%	85%
22	0%	30%	46	30%	60%	70	60%	85%	94	85%	85%	1	85%	85%
23	0%	30%	47	30%	60%	71	60%	85%	95	85%	85%	4	85%	85%
24	0%	30%	48	30%	60%	72	60%	85%	96	85%	85%	2	85%	85%

## Annexe 7 : Bilan de l'élevage de *Litopenaeus stylirostris*

<b>Effectif initial</b>	590	Les 590 crevettes ont été élevées pendant 80 jours. Le taux de croissance moyen est de 0,31% et les animaux sont passés d'un poids de 26,2g à 33,6g. Le taux de survie de 81, 23% est correct. Au total, 110 individus morts ont été retrouvés. La majorité des mortalités recensées (67 individus) est dues à une faible concentration en oxygène dissous dans le bassin ([O <sub>2</sub> ] = 2 mg/l) au début du mois de mai, le reste résulte du cannibalisme. La quantité totale d'aliment distribuée sur toute la période a été de 32,8kg et l'indice de conversion alimentaire (ICA) est de 2,03.
<b>Effectif final</b>	480	
<b>Biomasse initiale (kg)</b>	15,45	
<b>Biomasse finale (kg)</b>	16,12	
<b>Gain de biomasse (g)</b>	670	
<b>Poids initial (g)</b>	26,2	
<b>Poids final (g)</b>	33,6	
<b>Taux de survie (%)</b>	81,35	
<b>Aliment distribué (kg)</b>	32,8	
<b>Indice de conversion alimentaire</b>	2,03	
<b>Taux de croissance moyen (%)</b>	0,31	
<b>Durée de l'élevage (jour)</b>	80	

Le TCR moyen des algues cultivées dans l'eau d'élevage du bassin de crevette (*L. stylirostris*) a été de 1.17%/j, ce qui est largement inférieur à celui obtenu en 2001, par (Nelson et al. 2001). Le taux de croissance maximal était compris entre 8,8 et 10,4%/j. Cependant, les algues étaient mises en culture deux semaines dans des effluents de crevettes, puis mises en cage lagunaire. Le taux de survie des crevettes de 81% est similaire au taux de survie obtenu par Ihsan, Pribadi, et Schulz (2019).

## RESUME

---

L'aquaculture en Polynésie française est un domaine encore peu développé. La DRM souhaite diversifier les filières aquacoles en s'intéressant à la culture de macroalgues marines, telle que l'algue rouge *Gracilaria parvispora*. Ce travail s'est déroulé dans le lagon de Vairao. Il examine la technique de culture en cage lagonaire sous différentes conditions : (1) une culture sous quatre ombrages différents (0%, 30%, 60% et un ombrage dit « vert »), et trois densités initiales distinctes ( $1\text{kg/m}^2$ ,  $2\text{kg/m}^2$  et  $4\text{kg/m}^2$ ) ; (2) une fertilisation en nutriments par deux types de fertilisant (un engrais commercial et l'eau d'élevage de crevette) à quatre fréquences différentes ; et enfin (3) une culture dans deux zones à hydrodynamisme différents (faible et modéré). Les résultats n'indiquent aucune croissance pour chaque ombrage et chaque densité testés. Il n'y a pas de différences notables entre les deux types de fertilisants utilisés. Les résultats sur les fréquences d'enrichissement ne sont pas concluants et ne permettent pas de dégager quelle fréquence privilégier. Enfin, la meilleure croissance et productivité sont obtenues dans un milieu à hydrodynamisme faible (Taux de croissance relative moyen respectifs :  $0.61 \pm 2.30$  et  $-2.60 \pm 3.54$  % et rendements respectifs :  $7.31 \pm 49.34$  et  $-2.63 \pm 75.82$ ). La maîtrise des paramètres fondamentaux de la culture de *G. parvispora* est complexe. A l'avenir, il serait intéressant de réitérer ces expérimentations en quantifiant l'effet de l'hydrodynamisme.

*Mots clés* : *Gracilaria parvispora*, *Lagon de Vairao*, *culture en cage lagonaire*, *croissance*

## ABSTRACT

---

Aquaculture in French Polynesia is still an underdeveloped field. The DRM wishes to diversify the aquaculture sectors by looking at the culture of marine macroalgae, such as the red alga *Gracilaria parvispora* (Abbot, 1985). This work took place in the lagoon of Vairao. It examines the lagoon cage culture technique under different conditions: (1) culture under four different shades (0%, 30%, 60% and a so-called "green" shade), and three different initial densities ( $1\text{kg/m}^2$ ,  $2\text{kg/m}^2$  and  $4\text{kg/m}^2$ ); (2) nutrient fertilization by two types of fertilizer (a commercial fertilizer and shrimp farm water) at four different frequencies; and finally (3) culture in two different hydrodynamic zones (low and moderate). The results indicate no growth for each shading and density tested. There were no significant differences between the two types of fertilizers used. The results on enrichment frequencies are not conclusive and do not allow to identify which frequency to use. Finally, the best growth and productivity were obtained in an environment with low hydrodynamics (respective average relative growth rates:  $0.61 \pm 2.30$  and  $-2.60 \pm 3.54$  % and respective yields:  $7.31 \pm 49.34$  and  $-2.63 \pm 75.82$ ). The control of the fundamental parameters of the culture of *G. parvispora* is complex. In the future, it would be interesting to repeat these experiments by quantifying the effect of hydrodynamics.

*Keywords*: *Gracilaria parvispora*, *Vairao lagoon*, *culture in lagoon cage*, *growth*