

L'Institut Agro Rennes-Angers  
Site d'Angers Site de Rennes

Année universitaire : 2021 - 2022

Spécialité : Agronomie

Spécialisation (et option éventuelle) :

Sciences Halieutiques et Aquacoles

Option Aquaculture (AQUA)

### Mémoire de fin d'études

d'ingénieur de VetAgro Sup

de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)

de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)

d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

# Mise en place d'indicateurs concernant une culture d'*Ulva lactuca* et corrélation avec les performances de bioremédiation du lagunage des Fermes Marines du Soleil sur Oléron

## Résumé synthétique

Par : Louis MONTPERRUS

*Soutenu à 14 heures  
le 14 Septembre 2022*

### Devant le jury composé de :

Président : Hervé LE BRIS

Maître de stage : Tomas GIANNASI

Enseignant référent : Hervé LE BRIS

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

*Bastien SADOUL (enseignant)*

*Joël AUBIN (jury extérieur)*



*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers*

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Patrimoine-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France» disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



## **Remerciements**

De nombreuses personnes ont pu contribuer à l'élaboration de ce document. Dans ce cadre, je tiens à remercier :

- Monsieur Jean-Sébastien Bruant, directeur général des Fermes Marines du Soleil de m'avoir accueilli au sein de sa structure
  
- Mon maître de stage Tomas Giannasi, responsable du secteur Diversification pour sa confiance durant l'ensemble de la période de stage. Il a su m'aiguiller tout au long de mes suivis et a su apporter un regard critique quant aux divers travaux que j'ai réalisés.
  
- L'ensemble de l'équipe Diversification à savoir Julien Roblin, Ingrid Peperstraete, Pierre Renou, Emma Michelet pour leurs disponibilités, leurs aides ainsi que l'attention qu'ils ont portées tout au long de mes expériences.
  
- L'ensemble du personnel de la ferme marine FMDS Oléron pour mon intégration au sein de la ferme, le partage des connaissances et la disponibilité qu'ils ont eus à mon égard.

## **Table des matières**

Glossaire.....	2
Liste des abréviations .....	3
Liste des figures et tableaux .....	4
Table des figures .....	4
Introduction .....	5
Matériel et méthode.....	7
Matériel biologique et technique.....	7
Matériel technique : le lagunage naturel .....	7
Partie 1 : Construction d'un indicateur d'évaluation des biomasses algales.....	8
Choix et standardisation de la méthode de mesure.....	8
Etude du lien entre le taux recouvrement algal et le niveau de biomasse .....	9
Construction de l'indicateur de biomasse.....	10
Partie 2 : Estimation théorique des rejets azotés et phosphorés .....	10
Données et échantillonnages .....	10
Calcul des rejets azotés et phosphorés.....	10
Mise en lien avec le dimensionnement du lagunage et la culture d'algues.....	11
Partie 3 : Etude des performances de bioremédiation du lagunage de la en lien avec la culture d'algues .....	11
Echantillonnages .....	11
Suivi des paramètres physiques journaliers.....	12
Suivi des paramètres physicochimiques.....	12
Suivi des paramètres de production.....	13
Conclusion de l'étude.....	13
Bibliographie.....	17

## Glossaire

Lagunage : méthode d'épuration des eaux réalisée grâce à des procédés aérobies et anaérobies

Lagune : étendue d'eau de mer comprise entre la terre ferme et le littoral

Claire : bassin creusé généralement peu profond

Sels nutritifs : constituants minéraux dissouts utilisés comme substrats de diverses réactions métabolisme des êtres vivants

Recouvrement (pour une espèce végétale) : proportion de la surface du sol couverte par la projection verticale des organes aériens d'une espèce végétale (Cirad)

Bioremédiation : méthode d'assainissement basée sur l'utilisation de microorganismes pour dégrader une pollution généralement organique

Epuration : action d'éliminer les impuretés contenues dans un produit

Macrofaune : ensemble des animaux visibles à l'œil nu

Taux de croissance spécifique : mesure de croissance traduite par une augmentation journalière du poids

Turbidité : détermination optique de la clarté de l'eau, la turbidité reflète l'état d'un liquide en lien avec la présence de matières en suspension

Stripping : séparation d'un solvant

FTU (Formazin Turbidity Units) : Unité de référence pour la mesure de la turbidité constituant un équivalent aux unités de turbidité Jackson (JTU) ou aux unités de turbidité néphélométrique (NTU)

Nitrophile (espèce végétale) : espèce nécessitant un apport en azote important

Indoor : pour qualifier des activités réalisées en intérieur

Outdoor : pour qualifier des activités réalisées en extérieur

Thalle : appareil végétal d'une plante qui ne présente pas de vaisseaux conducteurs

Ratio R : degré d'ouverture d'un système piscicole

## **Liste des abréviations**

FMDS : Fermes Marines du Soleil

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de Carbone

EH : Equivalent Humain

*U.lactuca* : *Ulva. lactuca*

*U.intestinalis* : *Ulva. Intestinalis*

N : Azote (pour Ntotal, Nconsommé, Nsolide, Ndissois ...)

P : Phosphore (pour Ptotal, Pconsommé, Psolide, Pdissois ...)

NH<sub>3</sub> : Ammoniaque

NO<sub>3</sub> : Nitrate

NO<sub>2</sub> : Nitrite

PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> : Phosphate

pH : potentiel hydrogène

PAR : Photosynthetic Available Radiation / Rayonnement photosynthétiquement actif

T° : Température

FTU : Formazin Turbidity Units / Unités de turbidité de la formazine

AG : Croissance journalière

SGR : Taux de croissance spécifique

mgN : milligramme d'azote

μE : micro-Einstein

IMTA : Integrated Multi-Trophic Aquaculture

LHRA : lagunage à haut rendement algal

NGL : Azote Global

PT : Phosphore Total

DBO<sub>5</sub> : Demande Biologique en Oxygène (sur 5 jours)

DCO : Demande Chimique en Oxygène

Hab : Habitant

MES : Matière en suspension

EH : Equivalent Humain

PSU : Practical Salinity Unit / Unité de salinité pratique

## **Liste des figures et tableaux**

### **Table des figures**

Figure 1. Schéma de structure de l'ensemble du lagunage de la ferme marine FMDS Oléron (source : personnelle) .....	7
Figure 3 Photographie du quadrat utilisé pour les relevés de biomasse d'Ulva lactuca (source : personnelle) .....	9
Figure 4 Schéma de structure des divers points d'échantillonnage dans une claire (source : personnelle) .....	9
Figure 5 Schéma de structure du jeu de claires 3 de la série 3 ainsi que des divers points d'échantillonnage (source : personnelle).....	12

## **Introduction**

La part de l'aquaculture a fortement augmenté depuis les années 80 pour atteindre en 2018 une production 54.3 millions de tonnes de poissons (FAO 2020) représentant ainsi 66 % de la production aquacole mondiale et 42 % de la production mondiale de poissons (FAO 2020). Une part de cette production, bien que minoritaire provient de l'aquaculture marine qui représente en 2018 près de 13 % (FAO 2020) de la production totale aquacole. Il est important de noter que malgré l'augmentation des tonnages en aquaculture, la production de poissons marins n'a pas dépassé celle des captures à la différence des autres formes d'aquacultures (aquaculture continentale, aquaculture de crustacés...).

Parmi les diverses espèces marines élevées, on retrouve notamment la daurade royale (*Sparus aurata*, Linnaeus 1758), une espèce de la famille des Sparidés présente notamment au niveau du pourtour méditerranéen ainsi que sur les côtes Est de l'Océan Atlantique, de la Grande Bretagne au Sénégal (FAO 2007). Sa production en aquaculture a subi un fort développement à partir des années 1980 (Figis) notamment grâce à la mise en place d'élevages intensifs. Dans le cadre de cette production, l'Europe est un acteur de poids, avec en 2018 une production de près de 89 649 tonnes, soit 34 % de la production mondiale (Figis). Enfin parmi les principaux pays européens producteurs, on retrouve la Grèce et l'Espagne qui regroupent en 2018 près de 80 % de la production européenne (Figis).

La mise en place de la filière daurade royale est un des exemples de réussite de l'aquaculture de ces dernières années. Néanmoins, cela a été possible grâce à la maîtrise de la reproduction ainsi qu'à la capacité à produire des juvéniles en grande quantité (FAO 2007). C'est dans ce cadre que se sont implantées en 1981 les Fermes Marines du Soleil (FMDS) Oléron qui se tourna dès 1983 vers la production d'alevins dont ceux de daurades royales. Ce n'est qu'à partir de 1995 qu'FMDS Oléron se spécialisa dans la production de daurades royales passant ainsi d'une production en circuit recirculé de 3 millions d'alevins en 1995 à près de 50 millions d'alevins par an. Cette production s'effectue exclusivement en circuit fermé avec notamment une segmentation en unités de production (géniteur, éclosion, nurserie ...). Une telle production pose notamment une problématique liée aux rejets piscicoles. En effet, dans cette optique, des rations riches en nutriments et notamment en protéines sont couramment utilisées dans le but de répondre aux diverses fonctions des poissons (maintien, croissance...). Néanmoins, l'utilisation des divers nutriments de la ration est à l'origine de différents rejets. On retrouve en premier lieu des rejets particuliers (fèces) qui représentent la fraction non digérée de l'aliment ainsi que des rejets dissous (CO<sub>2</sub>, ammoniac, orthophosphate, urée (Blancheton et al. 2004)). L'excrétion azotée et notamment la production d'ammoniac est un parfait exemple. En effet, l'ammoniac est la principale forme d'excrétion de l'azote chez les téléostéens. Il s'agit d'un catabolite obtenu durant le mécanisme de dégradation des acides aminés par les hépatocytes (Yuen, Shit 2010). Néanmoins, il s'agit d'un composé toxique chez les poissons (Yuen, Shit 2010) qui doit être rapidement excrété hors de l'organisme. Pour cela, des mécanismes de diffusion permettent aux poissons de relarguer l'ammoniac vers le milieu extérieur principalement par les branchies et les urines (Blancheton et al. 2004). Il en est de même avec le phosphore qui est essentiel chez les téléostéens (notamment pour la structuration des tissus osseux (Kaushik 2020)) et qui doit être apporté en quantité suffisante. Le phosphore ingéré est absorbé via le tractus digestif pour rejoindre un pool corporel (Kaushik 2020) afin d'être redistribué suivant les besoins. Néanmoins, il peut aussi être excrété notamment en cas d'excès. Pour cela, on le retrouve principalement dans les urines via l'excrétion des reins ou dans les fèces (Kaushik 2020). Il est à noter que l'ensemble de ces rejets dépendent de facteurs liés à la ration, mais aussi du stade physiologique ainsi que de l'espèce ciblée (Blancheton et al. 2004). Toutefois, il est admis que les taux d'excrétions se situent entre 50 à 70 % pour l'azote et 20 % pour le phosphore (Blancheton et al. 2004) par rapport aux quantités ingérées. L'utilisation d'une ration riche en protéines et en phosphore peut ainsi entraîner des rejets

conséquents qui doivent être pris en compte. Cela est d'autant plus important pour les systèmes recirculés qui possèdent l'avantage de proposer une maîtrise des paramètres d'élevage (contrôle des pathogènes, du CO<sub>2</sub>, du pH, des rejets (Franco Nava 2003)) ainsi que des apports d'eau réduits grâce à une recirculation. Toutefois, afin d'assurer des conditions d'élevage propices, des systèmes de traitement sont nécessaires. Ainsi la filtration mécanique va extraire les fractions particulières (fèces, aliment non ingéré...) (Franco Nava 2003) tandis que la filtration biologique transformera les formes azotées potentiellement toxiques (ammoniacale) en des formes moins toxiques (nitrate) grâce à des processus de nitrification (Franco Nava 2003). Néanmoins, ces formes dissoutes sont principalement éliminées par le renouvellement de l'eau (Deville 2003). De ce fait, on assiste à une concentration forte de ces matières due à des taux de renouvellement en eau neuve plus faible par rapport à des élevages traditionnels ouverts. Ces effluents piscicoles ont donc possiblement un impact plus fort sur l'environnement en cas de rejets (Deville 2003) et peuvent entraîner des effets indésirables sur le milieu environnant tels que des phénomènes d'eutrophisation (Deville 2003) ou des diminutions de la biodiversité des invertébrés benthiques marins (par dépôt de sédiments anaérobies (Handy, Poxton 1993)). Enfin, si l'influence des éléments dissous pour des systèmes en eau douce est bien documentée, elle l'est nettement moins pour des systèmes en milieu marin (Handy, Poxton 1993).

C'est dans ce contexte que diverses méthodes de traitement ont été proposées. Parmi celles-ci, on retrouve des systèmes de lagunage naturel. Un lagunage est un système qui va traiter une charge polluante entrante grâce à un ensemble de processus naturels (Deville 2003). Dans ce cadre, de nombreux auteurs ont mis en avant le potentiel des macrophytes dans le traitement des effluents piscicoles (Cohen, Neori 1991; Macchiavello, Bulboa 2014; Silva et al. 2013; Pagand et al. 2000a; Wang et al. 2020; Tremblay-Gratton et al. 2017). Parmi les différentes espèces ciblées, de nombreuses études se focalisent sur *Ulva lactuca* qui semble démontrer des caractéristiques d'intérêts pour la bioremédiation d'effluent piscicole (Al-Hafedh et al. 2014; Ben Ari et al. 2014; Cohen, Neori 1991; Peruzzi de Oliveira et al. 2016; Nardelli et al. 2018). *Ulva lactuca* se caractérise notamment par son fort développement grâce à une forte capacité d'absorption des nutriments notamment l'azote et le phosphore couplée à un taux de photosynthèse élevé (Vermaat, Sand-Jensen 1987). Cette capacité est notamment permise par son rapport surface/volume élevé (Bews et al. 2021), faisant de cette espèce un candidat de choix pour des systèmes de bioremédiation.

C'est dans ce contexte que FMDS Oléron s'est rapidement doté d'un système de lagunage ouvert afin de traiter l'ensemble des rejets de la ferme. De plus, une population d'ulves se développe naturellement tout au long de l'année permettant d'une part de traiter une partie de la fraction d'azote et de phosphore dissoute et d'autre part constitue une voie de valorisation et de diversification pour l'entreprise. Néanmoins, ce lagunage n'a que très peu évolué depuis sa création. Ainsi au regard de la forte évolution de la production d'alevins au cours de ces dernières années, son dimensionnement ne semble plus adapté pour traiter l'ensemble des rejets de la ferme. Cela se traduit notamment par des bilans épuratoires plus contrastés ainsi que des phases dites de « production » où le lagunage semble relarguer de l'azote et du phosphore. Plusieurs pistes d'explications et de réflexions ont été identifiées. Néanmoins parmi les solutions envisagées, l'optimisation de la culture d'*Ulva lactuca* est à ce jour un des leviers sur lequel il est possible d'agir. L'hypothèse suivante a donc été posée : la maîtrise de l'itinéraire technique de production d'*Ulva lactuca* au sein du système de lagunage permettrait de favoriser la bioremédiation des rejets piscicoles. De surcroît, définir un ensemble d'indicateurs de culture et de performance apporterait des points de repère standardisés quant à la gestion de la production ainsi qu'au fonctionnement général du lagunage.

Cette étude se focalise sur deux axes majeurs : la caractérisation d'*Ulva lactuca* et la mise au jour des performances de bioremédiation du lagunage aux regards de la présence de cette algue. L'axe de caractérisation d'*Ulva lactuca* regroupe ainsi deux parties distinctes. La première partie vise à mettre en place un indicateur de calcul des niveaux de biomasses pondérales à un



instant t. Une deuxième partie se focalise sur l'étude du fonctionnement d'*Ulva Lactuca* à travers sa fonction de croissance. Néanmoins, elle ne sera pas abordée dans le cadre de cette étude.

Le second axe, centré sur le lagunage regroupe deux parties. Il semble tout d'abord indispensable de pouvoir quantifier les rejets piscicoles de la ferme marine aux regards des caractéristiques du lagunage. Cette première analyse sera suivie d'une étude des performances de bioremédiation du lagunage en lien avec la production d'ulves.

## Matériel et méthode

### Matériel biologique et technique

#### Matériel technique : le lagunage naturel

Le lagunage de la Ferme Marine du Soleil Oléron, celui-ci se compose d'un ensemble de 13 bassins appelés claires. Chaque claire possède une superficie de 500 m<sup>2</sup> pour un volume général de 900 m<sup>3</sup> (voir [Figure 1](#) et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Mise à part la claire 13 (claire de sortie), chaque bassin est intégré dans l'une des 4 séries du lagunage qui se compose de 3 bassins consécutifs (voir [Figure 1](#)). Ces séries forment un circuit en dérivation et sont alimentées par les rejets de la ferme à hauteur de 200 m<sup>3</sup>/h. Ces effluents proviennent de l'ensemble des structures de traitement (filtre tambour, filtre biologique, filtre à sable...) des différentes unités de la ferme (serres de l'élevage larvaire, de la nurserie, de la sélection...). Les rejets sont collectés dans un chenal de rejets puis pompés via une pompe automatique munie d'un pré-filtre (voir [Figure 1](#)) permettant de retirer une partie des matières solides (plastique, poissons morts, débris végétaux, graisses...). Les effluents sont ensuite envoyés dans le tuyau de pompage avant d'être déversés dans les claires de type A. Ils vont alors transiter par gravitation dans les claires B et C reliées par un système de tuyauteries immergées. Le temps de séjour de ces rejets dans chaque série est alors estimé entre 2 et 2,5 jours. L'ensemble des apports des 4 séries sont déversés dans un canal de rejet qui centralise l'ensemble des eaux traitées avant de les transmettre dans une claire de sortie (claire 13) qui est reliée directement au chenal de sortie ayant pour exutoire le canal du Douhet (voir [Figure 1](#)).

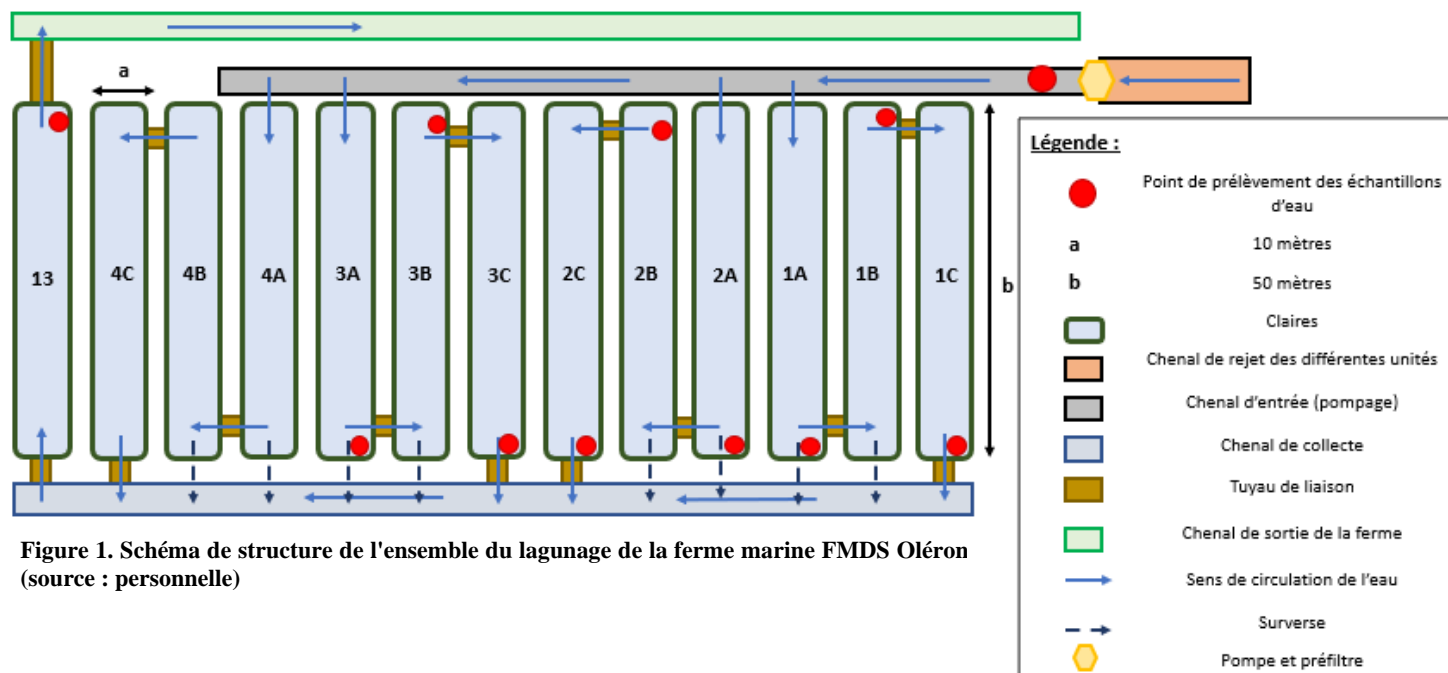


Figure 1. Schéma de structure de l'ensemble du lagunage de la ferme marine FMDS Oléron (source : personnelle)

Aux regards des diverses observations, le lagunage de la ferme marine agit comme un écosystème formé d'un ensemble de populations. On retrouve notamment les principales populations d'un lagunage naturel (phytoplancton, zooplancton...). A ce pool d'espèces, les lagunes présentent des populations de macroalgues, d'invertébrés et de vertébrés (poissons, oiseaux...). Les macroalgues sont prépondérantes sur l'ensemble du lagunage. On dénombre plusieurs espèces avec principalement *U.lactuca*, *U.intestinalis*, *Monostroma spp.* et *Gracilaria spp.* Ces algues se développent naturellement sur l'ensemble du lagunage en surface ou fixées sur un substrat (en bordure et en fond de bassin). Par addition, des blooms phytoplanctoniques se développent ponctuellement dans les claires et forment un biofilm à la surface des bassins. Les macroalgues servent de refuge pour de nombreuses espèces de crustacés dont certains vont consommer une partie des thalles (présence de zones de pâturage sur les algues). Le lagunage regroupe un ensemble d'espèces piscicoles (blennie, anguille...) ainsi qu'une faune aviaire diversifiée (grand cormoran, mouette, goéland, héron, ibis...) faisant partie intégrante de l'écosystème des claires (prédation des espèces présentes dans les bassins, apport de fèces ...).

Enfin les bordures de bassin présentent des graminées et une végétation halophyte (salicorne...) qui participent à la structuration et au maintien des berges.

Au regard de l'ensemble des caractéristiques évoquées ci-dessus, le fonctionnement du lagunage de la Ferme Marine du Soleil Oléron est similaire à celui d'un lagunage naturel. On notera une différence majeure par l'utilisation de macroalgues marines et non de microalgues ou d'une végétation plantée utilisée respectivement dans les bassins à microphytes et macrophytes. Néanmoins, la présence de ces algues assure une voie de valorisation grâce à la mise en place de récoltes hebdomadaires et à la transformation par voie de séchage des ulves récoltées.

## **Partie 1 : Construction d'un indicateur d'évaluation des biomasses algales**

L'ensemble des expérimentations se sont déroulées entre les semaines 12 et 23 de l'année 2022 (de mars à juin 2022).

### Choix et standardisation de la méthode de mesure

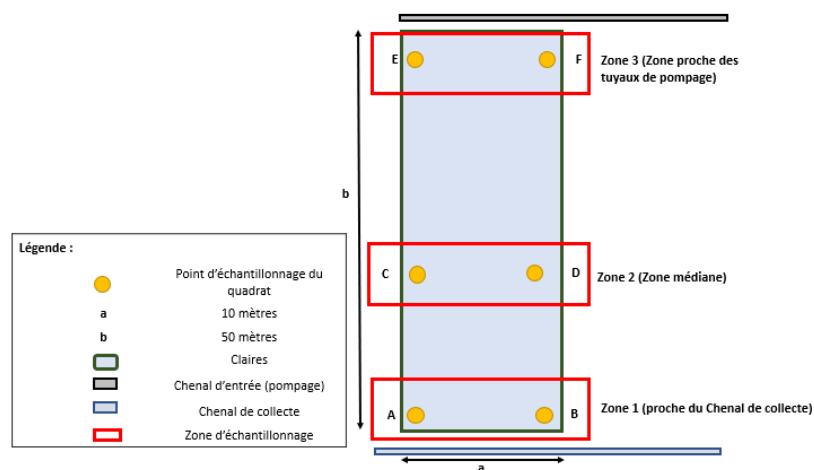
En premier lieu, une observation de l'itinéraire technique de la culture d'algue complétée par une étude bibliographique des méthodes d'estimation des biomasses de macroalgues ont permis de définir une méthode d'évaluation des biomasses algales.

Une fois la méthode choisie (taux de recouvrement), deux méthodes de mesure du recouvrement algal ont été comparées (estimation visuelle et estimation par analyse photographique). Pour ce faire, des photos des 9 premières claires (séries 1,2 et 3) ont été réalisées à l'aide d'un drone. Dans un même temps, les taux de recouvrement des claires ont été déterminés à l'aide de la méthodologie choisie (via la mesure du taux de recouvrement visuelle sur le terrain). Les photographies ont ensuite été analysées par le logiciel ImageJ à l'aide de la méthodologie décrite dans le Guide méthodologique des méthodes DCE en hydrobiologie (Miossec 2012) (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les valeurs des taux de recouvrement des deux méthodes ont ensuite été comparées afin de déterminer un écart de mesure du taux de recouvrement dû aux deux méthodologies.

## Etude du lien entre le taux recouvrement algal et le niveau de biomasse

### *Echantillonnages*

Le test a été effectué dans les 4 séries de claires du lagunage. Pour ce faire, 6 points de prélèvements ont été déterminés et répartis sur 3 zones spécifiques pour chaque claire (voir Figure 3). Au niveau de chaque point un échantillon d'algue a été prélevé à l'aide d'un quadrat (Figure 2). Une lettre allant de a à f a ensuite été affectée pour chaque point d'échantillonnage (voir Figure 3).



**Figure 3** Schéma de structure des divers points d'échantillonnage dans une claire (source : personnelle)



**Figure 2** Photographie du quadrat utilisé pour les relevés de biomasse d'*Ulva lactuca* (source : personnelle)

### *Mesure des concentrations d'algues*

Un quadrat de 0.25 m<sup>2</sup> (voir Figure 3) a été réalisé afin de recueillir pour chaque point d'échantillonnage l'ensemble des algues présentes dans la colonne d'eau. Pour cela le quadrat se compose d'une partie flottante qui se pose à la surface de l'eau et d'une partie coulante grillagée qui va être immergée. La partie flottante est d'abord positionnée au niveau du point d'échantillonnage et une photo de 4608 x 3456 pixels a été réalisée à la verticale via un appareil photo, en prenant soin d'ombrager l'ensemble du quadrat (pour homogénéiser l'ombre sur la photo). La partie immergée est ensuite positionnée au niveau du substrat, à la verticale du quadrat flottant. Cette partie est ensuite remontée par des cordes pour récupérer l'ensemble des algues présentes dans la colonne d'eau. Le quadrat est ensuite relevé et une découpe des algues autour du quadrat a été réalisée. Les algues présentes dans le quadrat ont été récupérées, nettoyées dans une laveuse pendant 5 minutes puis centrifugées (pendant 2 minutes et 30 secondes). Il est important de préciser que les points d'échantillonnages présentaient un recouvrement algal de 100 % au niveau du quadrat. Une pesée de l'ensemble des algues centrifugées a ensuite été réalisée pour chaque échantillon.

Pour chaque échantillonnage, 12 disques algaux de 21.22 cm<sup>2</sup> ont été prélevés grâce à un scalpel et une boîte de pétri (patron). Chaque disque a été pesé indépendamment, numéroté puis disposé sur une plaque. Une photo (de 4608 x 3456 pixels) de l'ensemble des 12 disques a été réalisée sous lampe. Le rapport surface/poids (en g/cm<sup>2</sup>) a été déterminé. Enfin pour chaque échantillon, la surface algale totale ainsi que le rapport de surface algale ont été estimés via les calculs suivant :

$$\text{Surface algale totale (m}^2\text{)} = \text{poids de l'échantillon (g)} * \text{rapport moyen poids / surface (g / cm}^2\text{)} * 0.001$$

$$\text{Rapport de surface algale} = \text{Surface algale totale (m}^2\text{)} / \text{Surface quadrat (m}^2\text{)}$$

## Construction de l'indicateur de biomasse

Au regard de l'ensemble des analyses, un indicateur des niveaux de biomasse algale dans les claires a été construit en incorporant l'ensemble des résultats des deux parties précédentes.

## **Partie 2 : Estimation théorique des rejets azotés et phosphorés**

### Données et échantillonnages

Deux types de données ont été recueillis sur une période allant de la semaine 9 (mars) à la semaine 29 (juillet).

Dans un premier temps, des échantillons des rejets bruts ont été récupérés et analysés 3 fois par semaine (lundi, mercredi et vendredi à 8h00). Il est important de noter que les divers échantillonnages ont eu lieu au niveau du tuyau de pompage (voir [Figure 1](#)) le matin à heure fixe afin de limiter les biais liés aux différentes purges des filtres de production.

Des analyses des paramètres physicochimiques des échantillons d'eau ont été réalisées au laboratoire de la ferme marine (FMDS Oléron). Ces analyses, exprimées en mg/L, regroupent les nitrites, les nitrates, l'ammoniac et les phosphates. Ces concentrations en nutriments sont mesurées par spectrophotométrie grâce au spectrophotomètre HACH DR 1900 via les méthodes suivantes :

- Nitrites : dosage par diazotation par ajout de NitriVer 3
- Nitrates : dosage par réduction au Cadmium par ajout de NitraVer 5
- Ammoniac : dosage par la méthode de Nessler
- Phosphates : dosage par la méthode des acides

Ces analyses ont été réalisées conformément aux protocoles en vigueur au sein de la Ferme Marine du Soleil d'Oléron et ont permis de calculer les rejets azotés et phosphorés **mesurés**.

Dans un second temps, les données de production hebdomadaire de la ferme marine (la biomasse de poissons, la quantité et les caractéristiques de l'aliment donné ainsi que l'indice de conversion (IC)) de la ferme marine ont été extraites à partir du logiciel NovaFish. Ces données ont permis de calculer les rejets azotés et phosphorés **théoriques**.

### Calcul des rejets azotés et phosphorés

En premier lieu, un profil moyen de l'aliment (granulés) a été déterminé en moyennant l'ensemble des teneurs des aliments utilisés dans la ferme (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ces valeurs moyennes ont servi de base pour les équations théoriques. Les rejets azotés et phosphorés théoriques totaux et dissous ont été calculés à partir des données de production de la ferme. Ces rejets théoriques ont été déterminés grâce à une équation de calcul basée sur une approche nutritionnelle (Roque D'Orbcastel 2008). Il est à noter que l'ensemble des valeurs fixées émane de la même référence bibliographique. Toutefois n'ayant aucune donnée sur la part d'aliment non ingéré et sachant que ces valeurs sont fortement dépendantes des caractéristiques d'élevage (Roque D'Orbcastel 2008), l'hypothèse de l'absence d'azote et de phosphore non ingérés sera posée.

### Equations théoriques :

$N_{total} = N_{solide} + N_{dissous}$

$$N_{solide} = N_{f\acute{e}cal} = Q_a * \left( \frac{\% \text{ Prot\acute{e}ine}}{\text{Ratio}_{\text{prot\acute{e}ine}}^N} \right) * \left( \frac{100 - CUD}{100} \right)$$

$$N_{dissoup} = N_{consomm\acute{e}} - N_{f\acute{e}cal} - N_{retenu} = Q_a * \left[ \left( \frac{\% \text{ prot\acute{e}ine}}{\text{Ratio}_{\text{prot\acute{e}ine}}^N} \right) - \left( \frac{\% \text{ Prot\acute{e}ine}}{\text{Ratio}_{\text{prot\acute{e}ine}}^N} \right) * \left( \frac{100 - CUD}{100} \right) - \frac{TC}{IC} \right]$$

Pour les valeurs :

- **Q<sub>a</sub>** : quantité d'aliments distribués (kg)
- **% protéine / % phosphore** : pourcentage moyen de protéine / phosphore contenu dans l'aliment
- **Ratio protéine/N** : 6.25 (Roque D'Orbcastel 2008)
- **CUD** : coefficient d'utilisation digestive : 90 pour l'azote et 50 pour le phosphore (Roque D'Orbcastel 2008)
- **TC** : Teneur en azote/phosphore de la chair : 26 g N / kg de masse corporelle et 4 gP / kg de masse corporelle (Roque D'Orbcastel 2008)

L'équation est similaire pour le calcul des rejets de phosphore. Toutefois, les valeurs théoriques ont été adaptées aux rejets phosphorés (% phosphore, CUD, TC) et le ratio protéine/N a été supprimé.

En parallèle, les échantillonnages sur rejets bruts ont permis de calculer les concentrations en azote et phosphore dissous. Les rejets dissous mesurés journaliers ont été calculés grâce à l'équation suivante :

$$\text{Rejet dissous mesuré (N,P)} = \text{concentrations moyennes en azote / phosphore dissous} * \text{débit moyen journalier (4800000 L/J)}$$

Une comparaison entre rejets dissous théoriques et rejets dissous mesurés a été réalisée.

### Mise en lien avec le dimensionnement du lagunage et la culture d'algues

Les données théoriques des rejets totaux ont été comparées à des normes en matière d'épuration dans le but de dresser un profil du lagunage par rapport aux charges polluantes entrantes. De surcroît, les données théoriques des rejets azotés dissous ont été utilisées afin de déterminer des valeurs de production théoriques d'*U. lactuca* permises grâce aux apports d'azote.

### **Partie 3 : Etude des performances de bioremédiation du lagunage de la en lien avec la culture d'algues**

#### Echantillonnages

L'étude s' st déroulée sur une période de 10 semaines allant des semaines 17 à 27 (semaine 21 exclue) correspondant aux mois d'avril, mai, juin et juillet 2022 (du 25 avril au 8 juillet 2022). Les analyses se sont déroulées sur les séries 1, 2 et 3 composées d'une succession de 3 claires (A, B et C) (voir [Figure 1](#)).

Plusieurs suivis ont été mis en place durant la période d'expérimentation :

- Un suivi des paramètres physiques journaliers
- Un suivi des paramètres physico-chimiques

- Un suivi des paramètres de production d'*Ulva lactuca*

Il est néanmoins important de mentionner que l'ensemble de ces paramètres ont été étudiés sur des cycles allant du lundi au vendredi (samedi et dimanche exclus). Des points d'échantillonnages pour l'ensemble des suivis ont été placés au niveau des zones d'entrée et de sortie de chacune des claires (voir [Figure 4](#)). De plus, des échantillons de rejets bruts ont aussi été prélevés au niveau du tuyau de pompage (voir [Figure 4](#)).

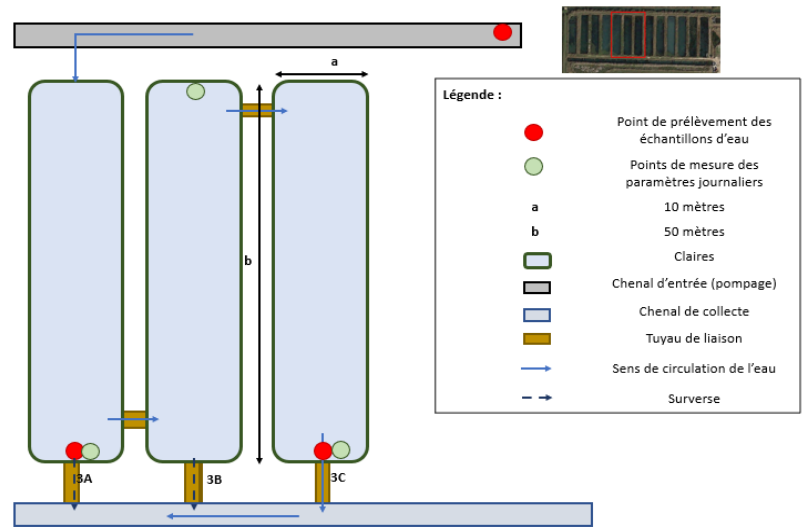


Figure 4 Schéma de structure du jeu de claires 3 de la série 3 ainsi que des divers points d'échantillonnage (source : personnelle)

### Suivi des paramètres physiques journaliers

Un suivi journalier de l'oxygène dissous, du rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) et de la température a été réalisé pendant l'ensemble de l'expérimentation. Des mesures ont été relevées 3 fois par jour à heure fixe (8h30, 13h30 et 16h30) dans chacune des claires des 3 séries. Pour chaque claire, un point de prélèvement en surface a été déterminé. Celui-ci se situe au niveau de la sortie de chaque claire (voir [Figure 1](#) et [Figure 4](#)). Ces mesures ont été réalisées en surface, à l'aide d'une perche de prélèvement.

#### *Oxygène dissous et température*

L'oxygène dissous exprimé en mg/L et la température en degré Celsius ont été mesurés via un oxymètre Oxygard® par immersion de la sonde à la surface de l'eau et agitation. La valeur est relevée lorsqu'elle se stabilise.

Le taux d'oxygène moyen ainsi que la température moyenne ont été calculés pour chaque claire et pour chaque série sur diverses échelles temporelles (journalier et sur la période d'abattement).

#### *Rayonnement photosynthétique actif (PAR)*

Le PAR (couvrant les longueurs d'ondes entre 400 et 700 nm) a été mesuré en  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  via un pyranomètre Gigahertz-Optik MSC-15 de chez ARDOP industrie®. L'échantillonnage est réalisé dans l'air ambiant à proximité du point de prélèvement.

Pour chaque claire et chaque série, le PAR moyen journalier (en  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) ainsi que la moyenne des PAR entre chaque période d'abattement ont été calculés.

### Suivi des paramètres physicochimiques

Des analyses des paramètres physicochimiques ont été réalisées 3 fois par semaine (lundi, mercredi et vendredi entre 8h et 8h30) au laboratoire de la ferme marine. Pour cela, des

échantillons de 250 ml d'eau ont été prélevés dans chacune des claires A et C de chaque série ainsi qu'au niveau de la pompe d'entrée (voir [Figure 1](#) et [Figure 5](#)). Ces analyses sont exprimées en mg/L et regroupent les nitrites, les nitrates, l'ammoniac et les phosphates mesurés grâce à la méthodologie présentée dans la [Partie 2](#) du [Matériel et Méthode](#).

De plus, la salinité exprimée en mg/L et le pH ont été mesurés pour chaque échantillon grâce à un conductimètre Cond 3110 et un pHmètre pH 3110 de la marque WTW®. Enfin, une mesure de la turbidité exprimée en FTU (Formazin Turbidity Units) a été relevée via l'utilisation d'un Palintest 8000 (programme PHOT48 Auto) de la marque PALINTEST®. Cette mesure a été réalisée conformément au protocole [TURBIDITY : test for turbidity in natural and treated waters](#) (Palintest 10/05) en utilisant toutefois comme blanc de l'eau distillée.

Un abattement/relargage (en mg/L) a ensuite été calculé pour chacune des formes d'azote ainsi que pour les phosphates. Celui correspond à une différence de concentration entre les effluents de sortie des séries et les effluents d'entrée bruts. Celui-ci est déterminé pour chacune des 3 séries par soustraction de la concentration du nutriment au jour J+2 de la claire C par la concentration en nutriment de l'entrée (tuyau de pompage) au jour J0 :

$$\text{Abattement (mg/L)} = \text{concentration du nutriment sur la claire de sortie de la série à J+2 (mg/L)} - \text{concentration du nutriment sur l'effluent brut à J0 (mg/L)}$$

Une concentration positive traduit ainsi un relargage tandis qu'une valeur négative témoigne d'un abattement. Cette mesure permet d'intégrer le temps de séjour de l'eau dans les jeux de claires.

### Suivi des paramètres de production

Un suivi des paramètres associés à la culture d'*U. lactuca* a été mis en place durant toute la durée de l'expérimentation. En premier lieu, un suivi du recouvrement algal de surface a été réalisé tous les 2 jours (lundi matin, mercredi matin et vendredi matin). Ainsi, un taux de recouvrement a pu être calculé par mesure visuelle et par comparaison à une fiche d'aide. Cette fiche est tirée du document [d'Aide à l'évaluation des recouvrements de macrophytes \(protocole « IBMR »\)](#) (Irstea 2015) de l'Irstea (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Associé à ces mesures de recouvrement, chaque récolte a été recensée et un calcul du taux de recouvrement récolté a été calculé par estimation des recouvrements algales pré et post-récolte.

## Conclusion de l'étude

Cette étude s'inscrit dans une démarche globale d'optimisation de la gestion du système lagunage au regard des performances de bioremédiation générales, mais aussi de la production d'*U. lactuca*. Dans ce cadre un axe stratégique d'amélioration des performances épuratoires à travers la gestion de la culture d'*U. lactuca* a été expérimenté. A cet égard, le présent travail devait apporter une analyse quant aux possibles liens entre la gestion d'*U. lactuca* et la bioremédiation de l'azote et du phosphore ainsi qu'une estimation des performances de cette approche. Toutefois, à l'heure actuelle et en lumière de l'ensemble des analyses, il n'est pas possible de conclure sur le lien entre la gestion culturale de cette algue et les performances de bioremédiation. De surcroît, les diverses analyses réalisées pendant les périodes de suivis tendent à mettre à jour des capacités épuratoires variables ainsi qu'un possible sous-dimensionnement général du système de traitement par rapport aux unités de production. Cela doit néanmoins être nuancé aux regards des méthodes d'échantillonnages utilisées qui présentent des limites notamment pour des suivis temporels importants. Ces

limites touchent particulièrement la quantification de la bioremédiation, une notion qui peut être soumise à des variations temporelles importantes et donc potentiellement difficile à appréhender avec des échantillonnages ponctuels. C'est dans ce sens que se pose la question de la fiabilité des mesures réalisées et notamment des relevés de paramètres physico-chimiques d'entrée. A ce jour, aucune analyse n'a été conduite afin d'estimer les variations des apports journaliers en rejets. De surcroît, le suivi a été réalisé seulement à partir de relevés matinaux durant lesquels les apports en rejets étaient stables (absence de purge des filtres...). De ce fait et sachant que les calculs d'abattement intègrent une dimension temporelle, les performances de bioremédiation ont pu être sous-évaluées en raison d'une sous-évaluation des apports d'azote et de phosphore en entrée du lagunage. Les échantillonnages ponctuels ne pouvant intégrer les variations temporelles (notamment journalières) de ces apports, une limite importante de la méthode de mesure se pose. Il en est de même au regard des paramètres de culture utilisés et dont les analyses tendent à montrer une absence de lien entre la production d'algues et les dynamiques du lagunage. Ces observations semblent en opposition avec de nombreux constats bibliographiques. Il est alors important de prendre du recul quant à ces résultats. Ainsi plusieurs axes de perspectives tant sur les méthodes de mesure que sur la compréhension des dynamiques du lagunage peuvent être évoqués.

Concernant les méthodes de mesure, la mise en place d'un indicateur de biomasse est un premier pas vers une quantification précise des biomasses algales. Bien que rudimentaire, cet indicateur met en exergue des différences des concentrations en *Ulva lactuca* qui n'étaient pas prises en compte par les mesures du taux de recouvrement. Néanmoins, des améliorations semblent nécessaires dans une optique de standardisation des mesures et de limitation de l'effet expérimentateur. Dans ce cadre, des tests de calcul de biomasse sur le terrain réalisés par un panel diversifié de personnes (initiées et non-initiées aux méthodes de calcul du recouvrement) permettraient de quantifier précisément les biais liés à l'expérimentateur. Dans le cas où la précision des estimations serait significativement affectée par la personne réalisant la mesure, une révision de cet indicateur serait nécessaire. Limiter le nombre d'individus calculant les biomasses ou utiliser un drone couplé à des programmes de cartographie des densités algales sont des solutions possibles.

Le suivi des rejets et l'étude des dynamiques de bioremédiation au sein du lagunage de FMDS Oléron ont mis à jour de nombreux points. Tout d'abord la nécessité de continuer et d'améliorer les échantillonnages des paramètres d'intérêts. Les systèmes de lagunage naturel s'appuient sur des relations écosystémiques complexes et multifactorielles. Partant de ce postulat, il est alors nécessaire d'assurer un suivi régulier et précis des paramètres d'intérêts. Ainsi la question du choix du paramètre tant de la méthode d'échantillonnage reste crucial. Concernant les paramètres à analyser, l'étude des performances de bioremédiation du lagunage a permis de faire ressortir des paramètres clé dans la compréhension et l'anticipation des dynamiques d'épuration. Ainsi, outre les concentrations en azote et phosphore dissous, l'intégration de l'oxygène dissous (journalier), des températures journalières, du pH et de la turbidité permettrait de donner des points de repères clés sur les dynamiques de lagunage et de l'épuration globale. Toutefois, la prise en compte de la temporalité des dynamiques de chaque paramètre est déterminante dans le choix des méthodes d'échantillonnages. Certains paramètres comme la température, l'oxygène dissous ainsi que le pH nécessitent une approche journalière. De manière globale, la question du choix de la méthode d'échantillonnage se pose. Dans quelle proportion, une étude de dynamique écosystémique est-elle fiable vis-à-vis de mesures ponctuelles ? Quelle part de la variabilité a été occultée par la méthode de mesure et le traitement des données ? Existe-t-il d'autres paramètres d'intérêts ? Au regard de ces diverses problématiques, des pistes d'améliorations peuvent être citées. Concernant les méthodes de mesure, l'utilisation d'auto-préleveur voir de sondes multiparamètres permettrait d'intégrer plus facilement les dynamiques temporelles dans l'analyse de l'abattement et des paramètres journaliers. Pour cela, une réflexion en amont sur



les échelles d'études (la claire, la série, le lagunage) sera nécessaire. De surcroît, il apparaît évident au regard de l'analyse de la bioremédiation d'intégrer des suivis sur des échelles temporelles longues. Les paramètres environnementaux et leurs variations saisonnières ont un impact majeur sur les performances épuratoires des lagunages. Il convient donc de réaliser des suivis sur plusieurs saisons. Toutefois, cela nécessite des moyens techniques et humains importants.

Concernant les paramètres d'intérêts, il convient d'intégrer de nouvelles variables d'analyse. Cela concerne notamment les paramètres relatifs à la culture d'*Ulva lactuca*. Pour cela, l'indicateur de biomasse précédemment construit semble tout indiqué. Associé à cela des relevés du CO<sub>2</sub> dissous et des délais post-récolte seraient autant de clés supplémentaires pour mettre en lien bioremédiation et production d'algues.

Enfin, l'intégration de paramètres liés aux rejets particuliers semble déterminante dans la gestion du lagunage et la définition des axes stratégiques. L'analyse des demandes chimiques et biologiques en oxygène, la quantification des fractions organiques et minérales des sédiments par perte au feu sont d'autant de variables permettant de quantifier le potentiel de dégradation ainsi que les besoins en oxygène des rejets solides. Mise en lien avec les capacités du lagunage, cela permettrait de mieux appréhender les dynamiques épuratoires futures et d'anticiper tout changement d'équilibre délétère. De surcroît, des analyses bathymétriques des dépôts sédimentaires pourraient permettre de mieux comprendre les mécanismes de sédimentation tout en identifiant des zones de dépôts importants. Ces observations pourront servir de base de réflexion pour impulser le curage des claires.

Dans une optique de réflexion sur le moyen et long terme, la quantification des rejets théoriques a permis de mettre en lumière un possible sous-dimensionnement chronique du lagunage par rapport aux rejets apportés. Ce sous-dimensionnement, s'il est avéré, constitue un frein important dans le cadre de l'épuration des effluents piscicoles. De surcroît, il rend sensible le système aux phénomènes de dysfonctionnement. C'est dans cette optique que la quantification des besoins en DBO<sub>5</sub> et DCO serait intéressante afin d'apporter une vision globale des capacités du système par rapport à la charge polluante reçue. Un sous-dimensionnement chronique important poserait nécessairement la question de la séparation des compartiments particuliers et dissous. Toutefois, cette question nécessite une étude poussée tant sur la viabilité du système que sur les possibles effets sur l'écosystème lagunaire.

Enfin, malgré l'ensemble des pistes d'amélioration possibles, il est important de garder à l'esprit que les systèmes de lagunage naturel sont fortement soumis aux conditions environnementales ainsi qu'aux effluents d'entrée (notamment leurs charges polluantes). Ces capacités épuratoires bien que satisfaisantes restent soumises à des variations qu'il est difficile de contrôler. Cela s'exprime notamment par une baisse des capacités épuratoires pendant les périodes hivernales notamment liée aux retraits des biomasses algales. Sachant que la production de la ferme marine FMDS Oléron n'est pas soumise à ces variations saisonnières, se pose la question de l'épuration des rejets en période d'arrêt du fonctionnement du lagunage. Une solution serait de trouver une espèce d'algue capable de s'adapter à ces conditions. Dans ce cadre, plusieurs études mettent en avant des souches d'eau chaude et d'eau froide d'*Ulva lactuca*. Ainsi les Ulves d'eau froide auraient la capacité de s'adapter à des températures basses en lien avec des coûts d'entretien des capacités physiologiques plus faibles (Geertz-Hansen, Sand-Jensen 1992). Partant de ce constat, il serait intéressant de caractériser la souche présente en marais puis de rechercher des souches en capacité de croître pendant la période hivernale. Dans ce cadre, des travaux de maîtrise du cycle de production pourraient être amorcés. L'édification d'une éclosérie, la mise au point d'un programme de sélection ainsi que la maîtrise de la fragmentation et de la sporulation seraient autant de ressources permettant de maîtriser la production d'algues en lagunage.

Si cette étude n'a pas réussi à poser des corrélations solides entre les paramètres de production d'*Ulva lactuca* et les performances de bioremédiation, des axes clé ont été identifiés tant dans l'optimisation de la culture d'*Ulva lactuca* en claire que dans la compréhension des mécanismes de bioremédiation. Toutefois, de nombreux axes d'amélioration et d'innovation en matière de bioremédiation et de culture restent à explorer au sein du lagunage de la ferme marine FMDS Oléron.

## **Bibliographie**

AL-HAFEDH, Y.S., ALAM, A. et BUSCHMANN, A.H., 2014. Bioremediation potential, growth and biomass yield of the green seaweed, *Ulva lactuca* in an integrated marine aquaculture system at the Red Sea coast of Saudi Arabia at different stocking densities and effluent flow rates. *Reviews in Aquaculture*. 1 mars 2014. Vol. 6, pp. 11. DOI 10.1111/raq.12060.

BEN ARI, T., NEORI, A., BEN-EZRA, D., SHAULI, L., ODINTSOV, V. et SHPIGEL, M., 2014. Management of *Ulva lactuca* as a biofilter of mariculture effluents in IMTA system. *Aquaculture*. 21 octobre 2014. Vol. 434, pp. 493-498. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.08.034>.

BEWS, E., BOOHER, L., POLIZZI, T., LONG, C., KIM, J.H. et S. EDWARDS, M., 2021. Effects of salinity and nutrients on metabolism and growth of *Ulva lactuca*: Implications for bioremediation of coastal watersheds. *Marine Pollution Bulletin*. mai 2021. Vol. 166, pp. 10. DOI <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112199>.

BLANCHETON, J.P., DOSDAT, A. et DESLOUS PAOLI, J.M., 2004. Minimisation des rejets biologiques issus d'élevages de poissons. *IFREMER de Palavas*. 2004. pp. 12.

COHEN, I. et NEORI, A., 1991. *Ulva lactuca* Biofilters for Marine Fishpond Effluents I. Ammonia Uptake Kinetics and Nitrogen Content. *Botanica Marina*. 1991. Vol. 34, pp. 475-482. DOI <https://doi.org/10.1515/botm.1991.34.6.475>.

DEVILLER, G., 2003. Traitement par lagunage à haut rendement algal (LHRA) des effluents piscicoles marins recyclés : évaluation chimique et ecotoxicologique. . 7 novembre 2003. pp. 176.

FAO, 2007. *Sparus aurata* Linnaeus 1758. *Programme d'Information sur les espèces aquatiques cultivées*. [en ligne]. 17 juillet 2007. Disponible à l'adresse: [http://firms.fao.org/fi/website/FIRretrieveAction.do?dom=culturespecies&xml=Sparus\\_aurata.xml&lang=fr](http://firms.fao.org/fi/website/FIRretrieveAction.do?dom=culturespecies&xml=Sparus_aurata.xml&lang=fr)

FAO, 2020. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. *Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture*. 2020. pp. 247.

FIGIS. Global Aquaculture Production 1950-2019. [en ligne]. Disponible à l'adresse: [https://www.fao.org/figis/servlet/TabSelector?tb\\_ds=Aquaculture&tb\\_mode=TABLE&tb\\_act=SELECT&tb\\_grp=SPECIES](https://www.fao.org/figis/servlet/TabSelector?tb_ds=Aquaculture&tb_mode=TABLE&tb_act=SELECT&tb_grp=SPECIES)

FRANCO NAVA, M.A., 2003. Origine, devenir et contrôle de la matière particulaire dans les élevages de poissons marins en système recyclé. *Ifremer*. 20 octobre 2003. pp. 176.

GEERTZ-HANSEN, O. et SAND-JENSEN, K., 1992. Growth rates and photon yield of growth in natural populations of a marine macroalga *Ulva lactuca*. *Marine ecology progress series*. janvier 1992. Vol. 81, pp. 179-183. DOI 10.3354/meps081179.

HANDY, R.D. et POXTON, M.G., 1993. Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 1 septembre 1993. Vol. 3, pp. 205-241. DOI 10.1007/BF00043929.

IRSTEA, 2015. Aide à l'évaluation des recouvrements de macrophytes (protocole « IBMR »). [en ligne]. 2015. Disponible à l'adresse:  
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi0oc2Lwr75AhUW04UKHS9gDwYQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fhydrobio-dce.inrae.fr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F07%2FSchema\\_recouvrements\\_irstea2015\\_1.1.pdf&usg=AOvVaw34pkk-yk92b29Ow4pJo3hn](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi0oc2Lwr75AhUW04UKHS9gDwYQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fhydrobio-dce.inrae.fr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F07%2FSchema_recouvrements_irstea2015_1.1.pdf&usg=AOvVaw34pkk-yk92b29Ow4pJo3hn)

KAUSHIK, S., 2020. Besoins et apport en phosphore chez les poissons. *Productions animales, Institut National de la Recherche Agronomique*. 31 mai 2020. Vol. 18, pp. 203-208.

MACCHIAVELLO, J. et BULBOA, C., 2014. Nutrient uptake efficiency of *Gracilaria chilensis* and *Ulva lactuca* in an IMTA system with the red abalone *Haliotis rufescens*. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 2014. Vol. 42, pp. 523-533. DOI 10.3856/vol42-issue3-fulltext-12.

MIOSSEC, L., 2012. Guide méthodologique des méthodes DCE en hydrobiologie littorale. *IFREMER*. 2012. pp. 31.

NARDELLI, A.E., CHIOZZINI, V.G., BRAGA, E.S. et CHOW, F., 2018. Integrated multi-trophic farming system between the green seaweed *Ulva lactuca*, mussel, and fish: a production and bioremediation solution. *Journal of Applied Phycology*. 23 juin 2018. Vol. 31, pp. 847-856. DOI <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1581-4>.

NEORI, A., COHEN, I. et GORDIN, H., 1991. *Ulva lactuca* Biofilters for Marine Fishpond Effluents. II. Growth Rate, Yield and C:N Ratio. *Botanica Marina*. 1991. Vol. 34, pp. 483-489. DOI 10.1515/botm.1991.34.6.483.

PAGAND, P., BLANCHETON, J.P., LEMOALLE, J. et CASELLAS, C., 2000a. The use of high rate algal ponds for the treatment of marine effluent from a recirculating fish rearing system. *Aquaculture Research*. octobre 2000. pp. 12.

PALINTEST, 10/05. TURBIDITY : test for turbidity in natural and treated waters. . 10/05. pp. 1.

PERUZZI DE OLIVEIRA, V., TAVARES MARTINS, N., DE SOUZA GUEDES, P., CÉSAR GONÇALVES POLLERY, R. et ENRICH-PRAST, A., 2016. Bioremediation of nitrogenous compounds from oilfield wastewater by *Ulva lactuca* (Chlorophyta). *Bioremediation Journal*. 6 février 2016. pp. 1-9. DOI <https://doi.org/10.1080/10889868.2015.1114463>.

ROQUE D'ORBCASTEL, E., 2008. Optimisation de deux systèmes de production piscicole : biotransformation des nutriments et gestion des rejets. *Institut National Polytechnique de Toulouse*. 17 mars 2008. pp. 144.

SAND-JENSEN, K., 1988. Minimum light requirements for growth in *Ulva lactuca*. *Marine ecology progress series*. 15 décembre 1988. Vol. 50, pp. 187-193.


SILVA, M., VIEIRA, L., ALMEIDA, A.P. et KIJJOA, A., 2013. The Marine Macroalgae of the Genus *Ulva*: Chemistry, Biological Activities and Potential Applications. *Oceanography*. 2013. Vol. 1, pp. 6.

TREMBLAY-GRATTON, A., BOUSSIN, J-C., TAMIGNEAUX, E., VANDENBERG, G. W. et LE FRANÇOIS, R., 2017. Bioremediation efficiency of *Palmaria palmata* and *Ulva lactuca* for use in a fully recirculated cold-seawater naturalistic exhibit: effect of high NO<sub>3</sub> and PO<sub>4</sub> concentrations and temperature on growth and nutrient uptake. *Journal of Applied Phycology*. 18 novembre 2017. Vol. 30, pp. 1295-1304. DOI <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1333-x>.

VERMAAT, J.E. et SAND-JENSEN, K., 1987. Survival, metabolism and growth of *Ulva lactuca* under winter conditions : a laboratory study of bottlenecks in the life cycle. *Marine biology*. 19 janvier 1987. Vol. 95, pp. 55-61. DOI <https://doi.org/10.1007/BF00447485>.

WANG, S., ZHAO, S., UZOEJINWA, B.B., ZHENG, A., WANG, Q., HUANG, J. et ABOMOHRA, A.E-F., 2020. A state-of-the-art review on dual purpose seaweeds utilization for wastewater treatment and crude bio-oil production. *Energy Conversion and Management*. 2020. Vol. 222, pp. 16. DOI <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113253>.

YUEN, K. Ip et SHIT, F. Chew, 2010. Ammonia production, excretion, toxicity, and defense in fish : a review. *Frontiers in Physiology / Aquatic Physiology*. 8 août 2010. Vol. 1, n° 134, pp. 20. DOI [10.3389/fphys.2010.00134](https://doi.org/10.3389/fphys.2010.00134).

	Diplôme : Ingénieur Agronome Spécialité : Agronomie Spécialisation / option : Sciences Halieutiques et Aquacoles, option Aquaculture (AQUA) Enseignant référent : Hervé LE BRIS
Auteur(s) : Louis MONTPERRUS Date de naissance : 04/08/1998	Organisme d'accueil : Fermes Marines du Soleil, Ferme marine du Douhet
Nb pages : 72                      Annexe(s) : 12	Adresse : Le Port du Douhet - 17840 La Bree-les-Bains
Année de soutenance : 2022	Maître de stage : Tomas GIANNASI
Titre français : Mise en place d'indicateurs concernant une culture d' <i>Ulva lactuca</i> et corrélation avec les performances de bioremédiation du lagunage des Fermes Marines du Soleil sur Oléron	
Titre anglais : Establishment of indicators concerning a culture of <i>Ulva lactuca</i> and correlation with the performance of bioremediation of the lagoon of Fermes Marines du Soleil on Oléron	
<p>Résumé :</p> <p>Au sein de la ferme marine des Fermes Marines du Soleil sur Oléron, un lagunage permet de traiter les rejets des diverses unités de production. Celui-ci présente une culture <i>Ulva lactuca</i> qui assure une voie de valorisation par la récolte et la vente des ulves. Néanmoins, au regard des capacités de bioremédiation d'<i>Ulva lactuca</i>, une hypothèse a été posée : la maîtrise de l'itinéraire technique de production des ulves permettrait de favoriser la bioremédiation des rejets piscicoles. Un premier axe de travail a consisté à mettre en place un estimateur pondéral des niveaux de biomasse d'algues dans les claires. Il se base sur une estimation visuelle du taux de recouvrement surfacique des algues, suivi d'une mesure de la concentration en algues. Bien que soumise aux incertitudes d'une estimation visuelle, cette méthode est un premier pas dans le cadre d'une quantification précise des niveaux de biomasse algale des claires. Dans un second temps, une mesure théorique des rejets globaux couplée à un suivi des performances de bioremédiation en lien avec des paramètres physico-chimiques et de culture a mis en avant plusieurs points clés.</p> <p>Tout d'abord, le calcul des rejets théoriques a permis de mettre en lumière un potentiel sous-dimensionnement du système d'épuration ainsi qu'une estimation théorique de la production d'<i>Ulva lactuca</i> face aux rejets. Le suivi des performances de bioremédiation a révélé des variations temporelles fortes ainsi qu'une épuration limitée des diverses formes azotées. Si la mise en perspective des performances épuratoires avec les paramètres de culture d'<i>U.lactuca</i> n'a démontré à ce jour aucune corrélation, des liens avec les divers paramètres physico-chimiques étudiés (température, oxygène dissous, pH, turbidité) ont été soulignés. De plus, ce suivi a mis en avant les dimensions écosystémiques et saisonnières du système de traitement. Des axes de perspectives ont ainsi été tirés. Ils concernent notamment la nécessité d'optimiser les méthodes et les durées des suivis. Dans le cadre d'une meilleure compréhension des dynamiques du lagunage de nouveaux paramètres notamment portés sur le compartiment particulaire pourraient être intégrés aux différents suivis. Enfin, cette étude pose la question de l'adéquation du système de traitements tant au niveau de sa conception que de ses caractéristiques fonctionnelles par rapport aux niveaux de production actuels.</p>	
<p>Abstract :</p> <p>At the marine farm of Fermes Marines du Soleil on Oléron, a lagoon has been set up to treat the discharges of the various production units. This lagoon presents an <i>Ulva lactuca</i> culture which ensures a way of valorization by the harvest and the sale of the ulvas. Nevertheless, in view of the bioremediation capacities of <i>Ulva lactuca</i>, a hypothesis was posed: the control of the technical itinerary of ulva production would make it possible to promote the bioremediation of the fish farming waste. A first line of work consisted in setting up a weighted estimator of algal biomass levels in oyster beds. It is based on a visual estimation of the surface coverage rate of algae, followed by a measurement of the algae concentration. Although subject to the uncertainties of visual estimation, this method is a first step in the accurate quantification of algal biomass levels in oyster beds. In a second step, a theoretical measurement of the global discharges coupled with a monitoring of the bioremediation performances in relation with physicochemical and culture parameters has highlighted several key points.</p> <p>First, the calculation of the theoretical discharges allowed to highlight a potential undersizing of the treatment system as well as a theoretical estimation of the production of <i>Ulva lactuca</i> in relation to the discharges. The monitoring of the bioremediation performances revealed strong temporal variations as well as a limited purification of the various nitrogenous forms. If the comparison of the purification performances with the <i>U. lactuca</i> culture parameters has not shown any correlation, links with the various physicochemical parameters studied (temperature, dissolved oxygen, pH, turbidity) have been highlighted. Moreover, this monitoring has highlighted the ecosystem and seasonal dimensions of the treatment system. Some perspectives were drawn. They concern in particular the need to optimize the methods and the duration of the monitoring. Within the framework of a better understanding of the dynamics of the lagoon, new parameters, in particular those related to the particulate compartment, could be integrated into the various monitoring systems. Finally, this study raises the question of the adequacy of the treatment system both in terms of its design and its functional characteristics in relation to current production levels.</p>	
Mots-clés : <i>Ulva lactuca</i> , lagunage naturel, bioremédiation, indicateur de biomasse, recouvrement algal	
Key Words: <i>Ulva lactuca</i> , natural lagoon, bioremediation, biomass indicator, algal capping	