

Projet de Fin d'Études (PFE) 2023-2024

Étude de la faisabilité de la restauration des herbiers marins tropicaux



Chabasse Thibaut ©

Sous la direction de Catherine Boisneau

Étudiant : Thibaut Chabasse

Étude de la faisabilité de la restauration des herbiers marins tropicaux

Étude des herbiers marins tropicaux

Directrice de recherche

Catherine BOISNEAU

Auteur

Thibaut CHABASSE

2023-2024

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'Aménagement et de l'Environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier ma tutrice, madame BOISNEAU Catherine qui a été très présente et qui nous a suivi, moi et mes collègues tout au long du semestre. Elle nous a apporté informations et conseils pendant toute la durée de la phase de recherche pour la rédaction du rapport du projet de fin d'études.

De plus, je remercie également Pierre TRILLAUD et Alan FRITSCH avec qui la rédaction du PFE n'aurait pas été pareil. Nous étions tous les 3 sous la tutelle de madame BOISNEAU et nous nous sommes entraides lors des réunions communes avec notre tutrice mais aussi en dehors durant tout le semestre.

TABLE DES MATIERES

Table des figures	7
Table des tableaux.....	7
1. Introduction	8
2. Matériel et méthode.....	10
3. Conditions de développement des herbiers marins.....	11
3.1. Introduction.....	11
3.2. Relation des herbiers marins tropicaux avec leur écosystème	13
3.3. Conditions nécessaires au développement des communautés d’herbiers marins tropicaux	16
4. Menaces sur ces écosystèmes	17
4.1. Pressions et impacts naturels.....	17
4.2. Pressions et impacts anthropiques	18
5. Méthodes de restauration et de protection de ces écosystèmes.....	19
5.1. Réglementation en vigueur	19
5.2. La gestion des écosystèmes marins.....	20
5.3. La protection et la restauration des herbiers marins.....	21
6. Discussion.....	24
7. Bibliographie	25

Table des figures

Figure 1 : Carte des répartitions des phanérogames marines 1 : Atlantique Nord tempéré ; 2 : Atlantique tropical ; 3 : Méditerranée ; 4 : Pacifique Nord tempéré ; 5 : Indo-Pacifique tropical ; 6 : Océans tempérés du Sud (Source : Conservatoire du littoral, 2010)	8
Figure 2 : Cartographie des différentes structures du lagon de l'île de Nosy Lava à Madagascar (Source : Gouérec, 2016 in Ludovic.G, 2017)	12
Figure 3 : Relation fonctionnelle entre les différents écosystèmes (IFRECOR 2021)	14
Figure 4 : Poissons Demoiselles territoriales présentes dans les herbiers de l'espèce <i>Syringodium isoetifolium</i> (Cuvillier.A, 2016)	15
Figure 5 : Schéma expliquant la réponse des herbiers marins selon les différentes conditions de lumières. (McMahon et al., 2013 in Kerninon.F, 2020)	16
Figure 6 : Station d'échantillonnage avec la méthode LIT (Job.S, 2015)	20
Figure 7 : Cadre en ciment de type « Cooper » avec des boutures de <i>Posidonia oceanica</i> (Boudouresque.CF, 2000)	21
Figure 8 : Exemple de cultures de futurs transplants, programme Coyali (Coyali.fr)	23
Figure 9 : Assemblage des différents projets et programmes pour l'étude et la conservation des herbiers marins à Mayotte en 2013-2014 (Dedeken M, Ballorain K, 2015)	24

Table des tableaux

Tableau 1 : Méthode de sélection des articles utilisés pour la réalisation du rapport	10
---	----

1.Introduction

Bien qu'ils ne constituent que 0,1% des fonds marins leur disparition serait catastrophique tant pour la biodiversité que pour la survie de l'espèce humaine. Ces écosystèmes complexes stockent effectivement près de 18% du carbone océanique à l'échelle mondiale. Également, les herbiers marins fournissent à de nombreuses espèces de poissons, de mollusques, de crustacés, une zone de reproduction ou d'abri jouant le rôle de nurserie pour près d'1/5^{ème} des 25 plus grandes pêcheries du monde, soit environ 20% selon un rapport du PNUE (Programme de Nation-Unies pour l'Environnement, 2023).

Les herbiers marins tropicaux sont des écosystèmes aquatiques vitaux qui ont colonisé quasiment toutes les mers du monde. En tout, les herbiers marins occupent 500 000 km² répartis dans 159 pays, soit environ 10% des zones côtières mondiales. Une partie de ces espèces est aperçue dans toutes les régions du monde, tandis que d'autres sont inféodées aux milieux tempérés ou pantropicales.

Les espèces des genres (*Thalassia*, *Syringodium*, *Enhalus* et *Halodule*) sont présentes dans les zones tropicales ou dites à courants chauds et cinq autres genres sont caractéristiques des milieux tempérés (*Zostera*, *Phyllospadix*, *Posidonia*, *Amphibolis* et *Heterozostera*).

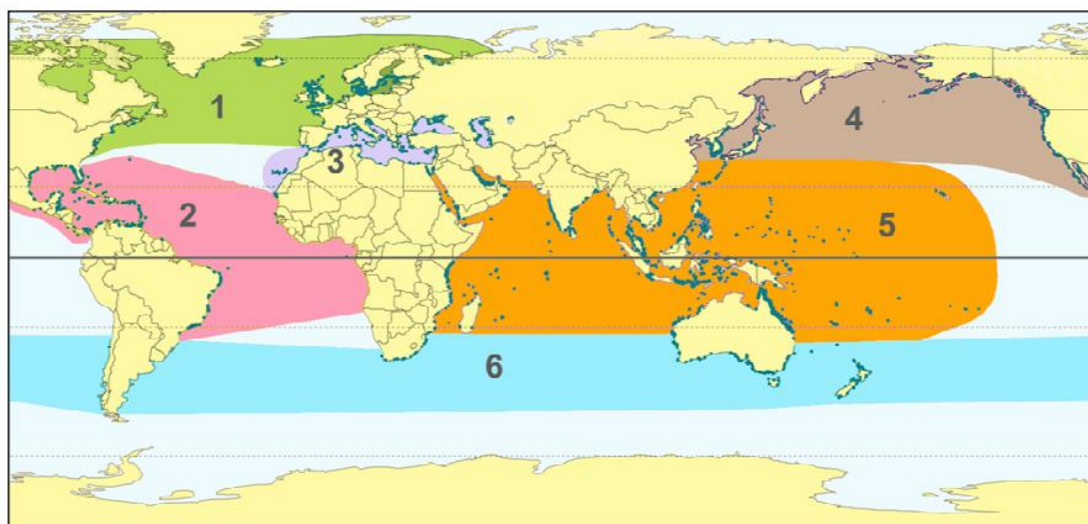


Figure 1 : Carte des répartitions des phanérogames marines 1 : Atlantique Nord tempéré ; 2 : Atlantique tropical ; 3 : Méditerranée ; 4 : Pacifique Nord tempéré ; 5 : Indo-Pacifique tropical ; 6 : Océans tempérés du Sud (Source : Conservatoire du littoral, 2010)

Entre mai et juillet 2023, une étude a été réalisée sur l'impact possible de l'introduction de pépinière de coraux et de la réintroduction d'une espèce de bivalve *Anadara antiquata* dans les lagons du Nord-Ouest de Madagascar (rapportstage2023). Les recherches et les études terrains ont révélé que cette espèce vit dans des herbiers marins tropicaux et principalement dans les herbiers de *Thalassodendron ciliatum*. Le mollusque et les herbiers se développent dans des milieux sablo-

vaseux. Or, les observations ont montré que l'espèce n'avait pas totalement disparu après le passage d'un cyclone dans les années 2000 et que le substrat est en grande majorité dominé par des sédiments grossiers. Afin d'obtenir un écosystème favorable aux populations de l'arche *Anadara antiquata*, il a été proposé de s'orienter vers une restauration des herbiers tropicaux.

Les recherches menées sur le territoire n'ont pas pu aboutir à la création d'un protocole favorisant la résiliation du milieu.

L'objectif est donc d'étudier et de dresser un état de l'art sur les différentes méthodes permettant de mieux gérer ces écosystèmes marins tropicaux à la fois fragiles et vitaux, mais également de les restaurer.

Ce document servira à compléter l'étude menée à Madagascar pour déterminer si l'hypothèse de la restauration des herbiers marins tropicaux est plausible ou non. Elle permettra aux populations locales des pays concernés comme notamment Madagascar de mener des programmes de conservation voire de restauration des herbiers marins tropicaux à l'aide d'acteurs locaux.

La première partie de ce rapport sera tournée sur la description des conditions biotiques et abiotiques nécessaires au développement des herbiers marins tropicaux et les relations qui existent avec la faune et la flore locale. La seconde présentera les contraintes anthropiques et naturelles qui menacent le milieu. Enfin, la troisième partie traitera des leviers pour la protection et le maintien des écosystèmes d'herbiers marins. Ces derniers sont présentés de manière à suivre un ordre logique dans la mise en pratique pour la protection de ces biomes marins. Le premier est le levier administratif, suivi de celui concernant les outils de gestion attestant de l'état physique des herbiers, et enfin, la manière de restaurer les milieux dégradés en tenant compte de la spécificité du lieu.

2. Matériel et méthode

La réalisation de cet état de l'art sur la faisabilité de la restauration des herbiers tropicaux s'est fait à l'aide de l'outil informatique. Les sites libres d'accès tels que Google scholar, ResearchGate, PeerJ ou encore HAL.fr ont permis d'obtenir des sources fiables sur le sujet de recherche. L'entièreté des références retenues ont été ajoutées à un dossier sur le gestionnaire Zotero.

Comme le montre le tableau suivant, les articles ont été sélectionnés en fonction de la pertinence de l'information donnée pour traiter au mieux le sujet présenté en introduction.

Tableau 1 : Méthode de sélection des articles utilisés pour la réalisation du rapport

Moteur de recherche utilisé	Termes de la recherches	Nombres de résultats	Modalités de sélection	Nombre articles retenus
Google scholar	Restauration herbiers marins	4990	"restauration" "phanérogames marines"	1
	Gestion des herbiers marins tropicaux	3080	"outils méthodologiques" "santé herbiers"	1
	Seagrass destroy Japon	90	"seagrass" "aquaculture" "Japan"	1
	Replantation d'herbiers marins tropicaux	174	"phanérogames marines" "outre-mer français" ET "transplantation"	2
HAL.fr	Fonctionnement des herbiers marins	4	Termes "herbiers marins" "dynamique" et "complexe récifal"	1
IFRECOR	Recherches à partir de la bibliographie de l'article suivant : État des récifs coralliens de la Réunion (MAREX ; 2021) Termes : Bilan 2020	12	"Bilan 2020" "herbiers marins"	1
	Initiatives françaises pour les récifs coralliens	1065	"suivis" "état des lieux"	2
			"actualités" "herbiers outre-mer"	1
Google	Herbiers marins ONU	Inconnu	"Herbiers marins" "Nations Unies"	1
PeerJ	Section "Environnement - Word Seagrass day 2023"	11	"seagrass" "coast" "Japan"	1

3. Conditions de développement des herbiers marins

3.1. Introduction

Les herbiers marins s'installent principalement dans des zones sédimentaires. Leur présence induit une modification de l'habitat avec des changements dans l'ensemble des processus physiques, mais aussi sédimentologiques, biologiques et physico-chimique. Ces écosystèmes contribuent à nettoyer l'eau en piégeant les sédiments riches en carbone, mais aussi à changer la dynamique des sels nutritifs et les concentrations en oxygène présente dans la colonne d'eau. Les herbiers marins sont appelés « filtre à eau de la nature ». Les espèces qui constituent ces forêts sous-marines font partie des Angiospermes et plus largement du superordre des Alismatiflorae (*Dahlgren et al., 1985 in Hily et al., 2010*). La reproduction de ces espèces est sexuée et est assurée par la floraison régulière pour la pollinisation et la fertilisation.

Les conditions particulières que créent les herbiers marins, notamment avec l'oxygénation du milieu par le mécanisme de la photosynthèse et la dynamique sédimentaire, permettent aux coraux de se développer dans des conditions optimales. Les herbiers marins remplissent de nombreux rôles pour la biodiversité, mais aussi pour l'être humain. Ces services se traduisent par la création de zones de frayères pour de nombreuses espèces, d'alimentation pour les poissons et les crustacés, de contrôle des vagues, de l'érosion ou encore du stockage de carbone. Pour l'être humaine, ces services écosystémiques se traduisent par la création d'activités liées de près ou de loin aux herbiers tels que le tourisme, la pêche ou encore la plongée sous-marine (*Hily et al., 2010*).

Enfin, les herbiers marins occupent une surface non négligeable dans les écosystèmes lagunaires.

Une cartographie réalisée sur les lagons de l'île de Nosy Lava en 2016 permet de démontrer cela.

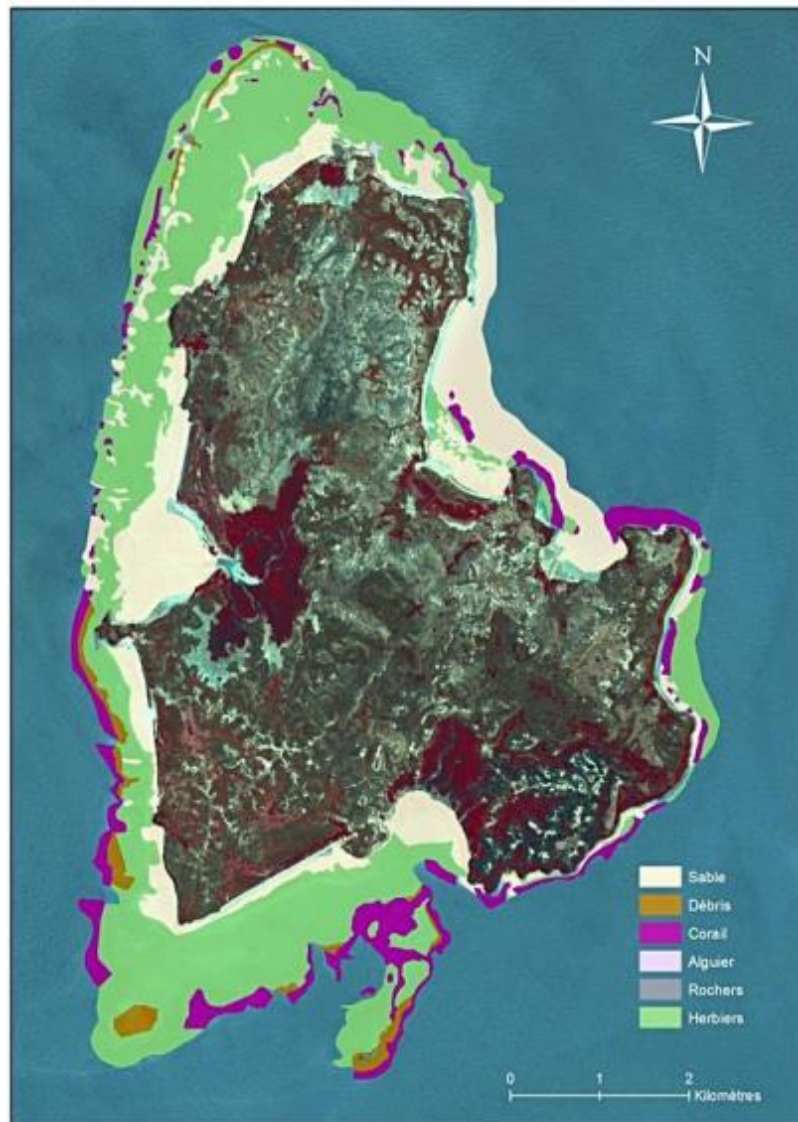


Figure 2 : Cartographie des différentes structures du lagon de l'île de Nosy Lava à Madagascar
 (Source : Gouérec, 2016 in Ludovic.G, 2017)

Tout cela permet de rendre compte de l'intérêt socio-économique et environnemental des herbiers marins et témoigne de l'interaction qui existe entre les herbiers marins et les autres espèces.

3.2. Relation des herbiers marins tropicaux avec leur écosystème

Il existe une très large flore et faune associées à la présence des herbiers. En premier lieu, les feuilles des herbiers marins sont d'excellents supports pour les épiphytes. Les organismes concernés sont les bactéries, les champignons, les algues micro et macrophytes, la méiofaune ou encore les invertébrés. Ces diverses espèces colonisent les herbiers marins au rythme des successions écologiques et des saisons, tout au long de la vie de chacune des feuilles des herbiers. Les algues épiphytes ont aussi un rôle important dans la production primaire, qui est dans certains cas, équivalente à celle des herbiers. Des microbrouleurs se nourrissent du biofilm (bactéries en général) qui se crée à la surface des feuilles.

La présence d'une forte richesse spécifique de macroalgues est aussi constatée à certains endroits ; jusqu'à 47 espèces d'*Amphibolis griffithii* sur un seul site prospecté et pour une période (*Hily.C et al., 2010*).

Les interactions phanérogames/algues et épiphytes/microbrouleurs sont des processus clé pour le bon fonctionnement des herbiers. Si le nombre d'épiphytes n'est pas contrôlé pour les prédateurs, un effet d'ombrage limitera la photosynthèse et donc le développement des feuilles d'herbiers.

Des macrobrouleurs comme les tortues marines et les dugongs, lamantins se nourrissent exclusivement de végétaux des herbiers tropicaux et intertropicaux. Ces dernières sont protégées et diverses mesures visent à les protéger, car ce sont des espèces dites parapluies dans ces écosystèmes.

Enfin, des espèces de poissons vivent de manière permanentes dans les herbiers comme les Syngnatidés et les Atherinidés. D'autres fréquentes ces zones pour chasser la nuit (Labridés) ou encore comme zone de nurserie et pour se reproduire. Le couvert végétal offre une protection face aux prédateurs (*Jackson et al., 2001 in Hily.C et al., 2010*).

Il existe également des liens fonctionnels entre les phanérogames marines tropicales et les écosystèmes adjacents.

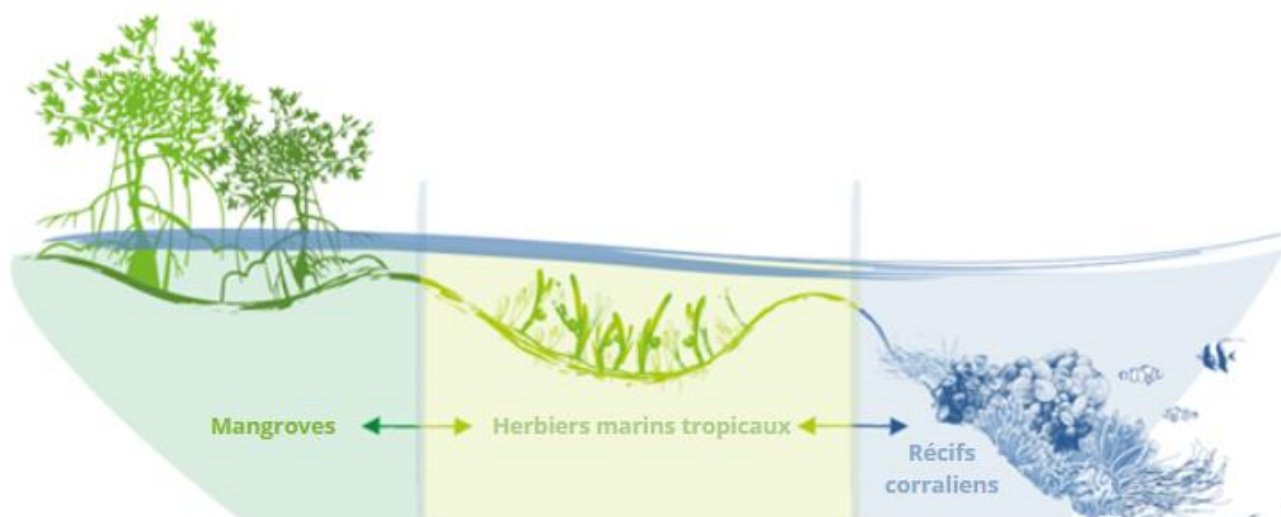


Figure 3 : Relation fonctionnelle entre les différents écosystèmes (IFRECOR 2021)

En milieu tropical, il existe une grande connectivité entre les mangroves, les herbiers et les récifs coralliens. Les actions de l'un apportent des bénéfices à l'autre. Les herbiers atténuent l'hydrodynamisme, fixe les sédiments, réduisent l'abondance de bactéries potentiellement pathogènes particulièrement pour les coraux, dont le taux de maladies chute à proximité des herbiers. Certains coraux peuvent aussi assimiler la matière dissoute issue des herbiers (IFRECOR, 2021).

Ces études ont montré les relations entre les herbiers marins tropicaux, les écosystèmes et les espèces qui les entourent. Comme le montre le rapport sur la dynamique et le fonctionnement des herbiers marins à l'île de la Réunion, des herbiers se retrouvent enclavé à l'intérieur d'un platier de coraux et des relations trophiques ont été observées. Kelonia, l'observatoire des tortues marines à la Réunion, a notamment enregistré la présence de jeunes tortues marines *Chelonia midas* qui se nourrissaient dans les herbiers. D'autres comportements montrés en images ci-dessous démontrent les interactions qui peuvent exister entre les herbiers et les poissons. Les Demoiselles ont ici été observées en train de cultiver et de se nourrir d'algues présentes sur les feuilles de l'herbier (Cuvillier.A, 2016).



Figure 4 : Poissons Demoiselles territoriales présentes dans les herbiers de l'espèce *Syringodium isoetifolium* (Cuvillier.A, 2016)

Au-delà des interactions écosystèmes-espèces, les herbiers marins tropicaux ont besoin de conditions particulières pour se développer.

3.3. Conditions nécessaires aux développement des communautés d'herbiers marins tropicaux

Il existe de multiples facteurs environnementaux physiques, biologiques et chimiques qui conditionnent la distribution et la présence des phanérogames marines. Le plus important facteur est la disponibilité et l'accès à la lumière. Ce dernier est, en effet, indispensable pour l'activité photosynthétique de la plante. Ce paramètre est vu comme le facteur principal qui conditionne à la fois la biomasse des phanérogames marines, la production foliaire et leur distribution par rapport à la profondeur.

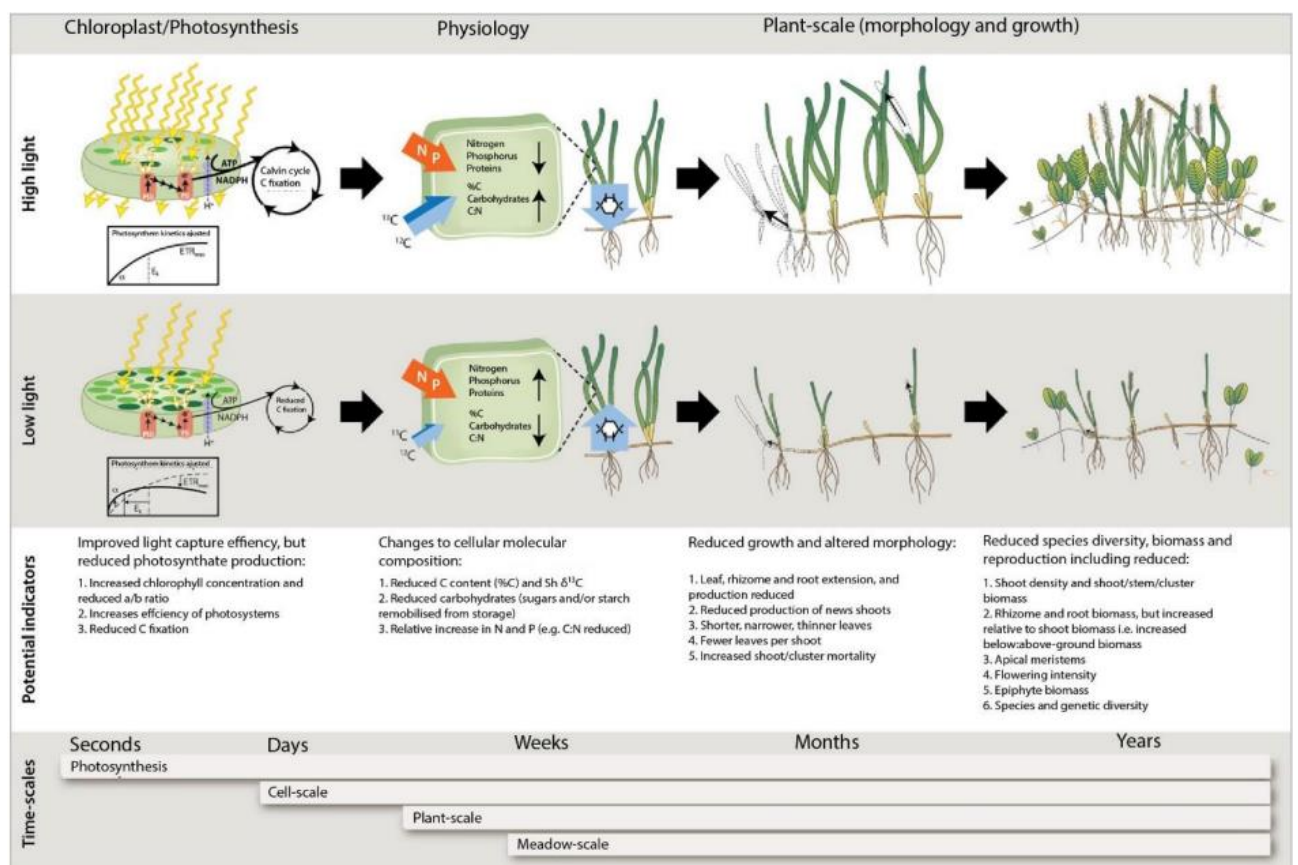


Figure 5 : Schéma expliquant la réponse des herbiers marins selon les différentes conditions de lumières. (McMahon et al., 2013 in Kerninon.F, 2020)

Cependant, en milieu tropical, la luminosité est souvent intense et peut conduire à des dommages importants sur les populations d'herbiers.

Un autre facteur non-négligeable est la disponibilité des nutriments suivants : l'azote et le phosphore. Les concentrations optimales varient en fonction des espèces et des conditions environnementales entre 0,75 et 5,5% pour l'azote et entre 0,1 et 0,8% pour le phosphore (Darte, 1990 in Kerninon.F, 2020). La lumière et la composition du sédiment influencent la capacité d'absorption de ces nutriments par les herbiers. De plus, un excédent de nutriments peut entraîner une diminution de la clarté de l'eau et favoriser le développement d'algues épiphytes limitant ainsi

par effet d'ombrage la disponibilité en lumière pour les herbiers (*Short et Burdick, 1996 ; Hauxwell et al., 2001, 2003 in Kerninon.F, 2020*).

La température de l'eau influence aussi la distribution des phanérogames marines. Ces dernières peuvent être sensibles aux augmentations de la température, principalement si elles sont brutales ou chroniques. Cela entraîne des changements dans leur métabolisme, leur taux de croissance, de reproduction, de productivité et peut mener à la disparition de certains individus en cas de températures extrêmes (*Moore et Jarvis, 2008 ; Collier et Waycott, 2014 in Kerninon.F, 2020*). En Australie par exemple, les températures idéales sont entre 15°C et 33°C (*Collier et Waycott, 2014 in Kerninon.F, 2020*).

D'autres facteurs comme la salinité, l'hydrodynamisme ou encore le type de substrat peuvent jouer un rôle dans la survie, la dynamique ou tout simplement la présence des herbiers dans un milieu (*Kerninon.F, 2020*).

4. Menaces sur ces écosystèmes

Le positionnement des herbiers marins à l'interface terre-mer induit les rend vulnérables face aux changements rapides des conditions environnementales et aux effets du développement des activités humaines (*Short et Wyllie-Echeverria, 1996 ; Orth et al., 2006a ; Waycott et al., 2009 in Kerninon.F, 2020*).

Les menaces auxquelles les herbiers marins doivent faire face sont donc d'origines naturelles et anthropiques.

4.1. Pressions et impacts naturels

Il existe de nombreuses menaces naturelles. Les augmentations de températures peuvent altérer les fonctions physiologiques des herbiers marins et engendrer des changements dans les communautés. Celles qui sont composées d'espèces peu tolérantes aux changements de températures ou situés en eaux peu profondes sont les plus en danger.

L'augmentation des événements extrêmes comme les cyclones génèrent une action physique via les vagues qui conduisent à un déracinement des communautés en place et diminuent la biomasse parfois drastiquement. Les ruissellements continentaux peuvent avoir aussi de lourdes conséquences sur les phanérogames.

L'élévation du niveau des mers va influencer les aires de répartition des herbiers. Ces espèces ont besoin de lumière pour se développer. Si les profondeurs changent, la distribution des communautés va devoir s'adapter aux nouvelles conditions.

Moins documentés à l'heure actuelle, l'augmentation de la teneur en CO₂ pourrait avoir des effets néfastes sur les herbiers marins même si pour le moment les herbiers profitent de l'acidification des océans pour la photosynthèse (*IFRECOR, 2021*).

Dans certains cas, les catastrophes naturelles peuvent avoir des conséquences bénéfiques sur le long terme. C'est le cas de la côte Sanriku au Japon. Avant le passage du tsunami de 2011, les herbiers présents dans la baie subissaient une pollution organique due à l'élevage d'huîtres. Les herbiers régressaient alors dans cette zone. À la suite du passage du tsunami, la largeur de l'entrée de la baie a été agrandi favorisant le renouvellement de l'eau à l'intérieur. Aujourd'hui, l'élevage d'huîtres est encore plus important et malgré cela, les herbiers marins colonisent de nouveau le territoire (*Murata.H, 2021*).

4.2. Pressions et impacts anthropiques

Les pressions que la société humaine inflige aux herbiers sont nombreuses. Les constructions d'infrastructures en zone littorale ou encore les activités de dragages et de pêches détruisent localement les herbiers qui se retrouvent fragmentés.

L'augmentation de la sédimentation affecte les herbiers situés à proximité des exutoires de bassins versants. Elle génère aussi une élévation de la turbidité dans l'eau rendant plus difficile l'accès à la lumière pour les végétaux.

L'enrichissement en nutriments azotés et phosphorés notamment à proximité des exutoires de bassins versants à fortes dominances industrielles et agricoles affectent les herbiers. Les excès sont à l'origine d'une prolifération d'algues et d'une augmentation de la turbidité.

Enfin, les rejets en polluants et les contaminations de toxines, de métaux lourds ou encore de pesticides altèrent la photosynthèse et l'accumulation de ces polluants peut être source de toxicité pour les phanérogames marines lorsqu'elles sont dans les tissus.

5. Méthodes de restauration et de protection de ces écosystèmes

5.1. Réglementation en vigueur

Le pilier administratif est le premier levier sur lequel jouer pour protéger les écosystèmes et les herbiers marins tropicaux en font partie. La création de zones protégées et la demande de projets par les grandes instances à l'échelle nationale et internationale donne du crédit à la protection de ces biomes et favorisent la recherche par les scientifiques ainsi que la création d'associations ou l'arrivée d'acteurs pour travailler sur ces nouvelles thématiques.

De même, si des associations ou des particuliers veulent œuvrer pour la gestion et la protection des herbiers marins, il faudra en amont la validation du gouvernement ou des personnes en charge du territoire selon le pays concerné.

La prise en compte actuelle des herbiers marins à l'échelle internationale est moins élevée que pour les récifs coralliens, les mangroves ou encore certaines espèces que l'on retrouve dans les herbiers qui bénéficient de statuts de protection. Cela peut s'expliquer par le manque d'études réalisées à leur sujet et la méconnaissance de leur rôle dans le maintien de la biodiversité la productivité et les ressources qu'ils abritent. Les phanérogames marines sont peu souvent prises en compte dans les politiques de gestion intégrée de la zone côtière (GIZC).

Certains textes réglementaires offrent un statut de protection aux herbiers mais les mesures juridiques restent assez limitées contrairement à d'autres types d'habitats.

À l'échelle internationale, il y a la Convention RAMSAR. Cette convention, adoptée en 1971, vise à conserver et utiliser de manière rationnelle les zones humides et leurs ressources. Certains de ces habitats sont classés en zone humide marine / côtière et la France possède 7 sites RAMSAR en outre-mer.

À l'échelle régionale, la Convention de Nairobi promeut la protection, la gestion et le développement de l'environnement marin et participe donc à la protection des herbiers marins de ce secteur. Les sites NATURA 2000 visent aussi à la protection des milieux marins et par extension des herbiers.

À l'échelle locale, une initiative française pour les récifs coralliens menée par l'IFRECOR a mené à la mise en place du plan d'action national visant notamment à l'étude des herbiers marins tropicaux.

5.2. La gestion des écosystèmes marins

À l'heure actuelle, les herbiers font partie des habitats qui côtiers les moins protégés : seulement 26% de ces habitats se situent dans des aires marines protégées contre 40% des récifs coralliens et 43% des mangroves (IFRECOR, 2021).

La gestion des écosystèmes marins se manifeste par la mise en place de suivis et de mesures de protection d'habitats concernés. Dans le cas des herbiers marins tropicaux, l'objectif est de constituer une base de données conséquente pour voir l'évolution de l'état de santé des herbiers marins et des milieux associés afin d'y appliquer les mesures nécessaires pour éviter, limiter voire, stopper les dégradations et favoriser la résilience des habitats.

L'IFRECOR met en place plusieurs suivis dans les départements d'outre-mer français. Sur l'île Wallis, la méthode du Line Intercept Transect ou LIT a été utilisée. Cette dernière ressemble au SEAGRASS WATCH qui sert aussi à suivre l'état des herbiers marins.

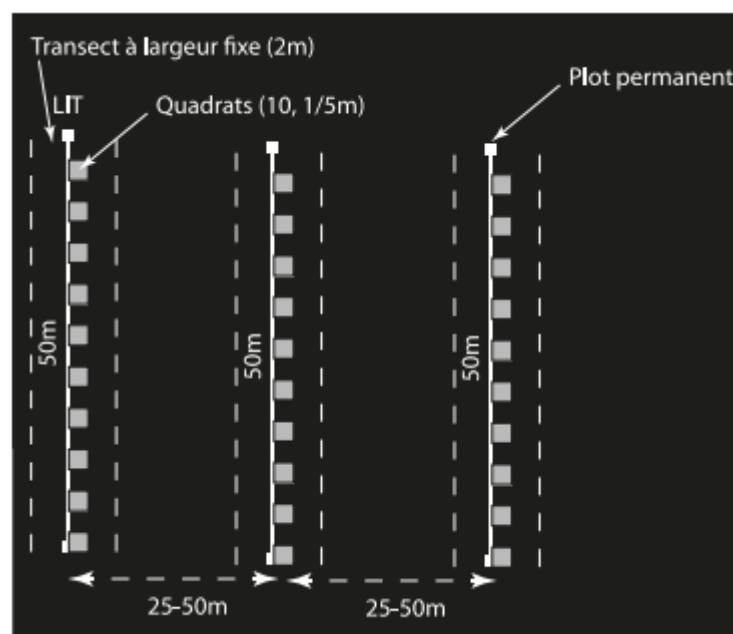


Figure 6 : Station d'échantillonnage avec la méthode LIT (Job.S, 2015)

Cette méthode permet d'extraire de nombreuses données comme l'estimation visuelle de la densité de l'herbier, le recouvrement, la fragmentation et le type de substrat. La longueur de 50 m sert à comparer les résultats à l'international avec les suivis SeagrassNet (Short et al. 2006 in Job.S, 2015) et Seagrass Watch (McKenzie et al. 2001 in Job.S, 2015).

Enfin certaines initiatives comme l'herbier numérique collaboratif citoyen permet à la population d'aider et d'enrichir les connaissances sur ces milieux. Les « herbonautes » répertorient leurs observations sur les herbiers marins tropicaux à partir de la base de données de MNHN où de nombreuses fiches espèces d'herbiers sont présentes.

Dans les départements d'outre-mer, diverses méthodes sont employées tels que la méthode des quadrats, Belt et même de l'estimation visuelle (Kerninon.F, 2020).

Enfin, le Japon a mis en place une technique de cartographie poussée avec ALOS AVNIR2, une méthode simple et efficace pour évaluer de manière précise la distribution des herbiers marins (Komatsu.T et al., sd).

Lorsque le milieu a été affecté par une catastrophe naturelle ou tout simplement par l'activité humaine, l'objectif est de mettre en place le suivi de ces herbiers et des moyens pour restaurer les milieux affectés.

5.3. La protection et la restauration des herbiers marins

Lorsqu'on parle de restauration, il existe deux termes. Le premier, rétablissement est employé dans le cas où l'espèce réintroduite existait dans cette région dans le passé et a disparu du fait de l'humain. Le second, renforcement, lorsque l'espèce n'a pas disparu du milieu d'intérêt mais que ses effectifs ont fortement chuté. Les premiers essais de réimplantation datent de 1947 pour l'espèce *Zostera marina*. D'autres essais ont été réalisés au Japon avec des graines germées en aquarium avec la même espèce dans le but de reconstituer les herbiers. En Méditerranée, ce sont des mottes de *Zostera Nottii* qui ont été transplantées (Boudouresque.CF, 2000).

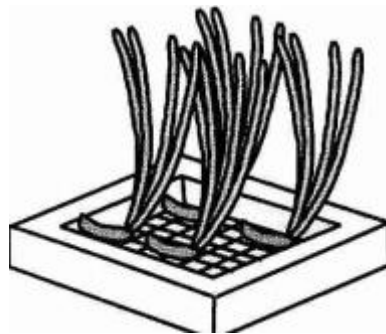


Figure 7 : Cadre en ciment de type « Cooper » avec des boutures de *Posidonia oceanica* (Boudouresque.CF, 2000)

Les écosystèmes à phanérogames se régénèrent naturellement, difficilement, surtout dans des environnements dégradés où les conditions propices à leur développement ont été altérées. La transplantation est une technique utilisée, mais les résultats varient en fonction de l'espèce transplantée mais aussi de la méthode employée. Cette approche est particulièrement nécessaire pour les phanérogames marines à croissance lente, bien que sa mise en œuvre à grande échelle soit limitée en raison de son coût élevé.

La transplantation présente des succès variables, influencés par des facteurs tels que la technique utilisée, l'espèce transplantée et les conditions environnementales. En Australie et aux États-Unis, la politique de la "perte nulle" indique que toute perte de phanérogame due à une

intervention humaine doit être compensée par la création, généralement par transplantation, d'une surface équivalente de nouvel herbier.

Un projet en Australie a montré un taux moyen de survie des transplants de 48% deux ans après la transplantation, avec des résultats affectés par des éléments tels que la présence de glace et d'un ver marin. Un autre projet a lancé la transplantation de 24 millions de graines sur un site, avec seulement 5 à 10% de ces graines produisant des plantules viables après quatre ans. Cependant, l'herbier continue de s'étendre.

Une autre technique, la transplantation avec motte, implique ici le prélèvement des transplants avec les rhizomes intacts mais aussi le sédiment. Les résultats sont encourageants, mais varient en fonction de l'espèce transplantée, avec par exemple des taux de survie de 76.8% pour *P. sinuosa* et 75.8% pour *P. coriacea*, mais seulement 44.3% pour *Amphibolis griffithii*. Cette méthode s'avère coûteuse, avec une machine coûtant 60 000€ et un coût de 120€ par bloc transplanté.

Différentes méthodes de transplantation sont utilisées, y compris des méthodes sans ancrage où les transplants sont déposés sur le site receveur sans système d'ancrage, et des méthodes avec ancrage où des pousses sont attachées à des supports fixés dans le sédiment du site receveur.

L'utilisation de graines et de plantules pour restaurer les herbiers de phanérogames marines a des avantages théoriques, mais les résultats, en pratiques, sont limités. La fertilisation, en ajoutant de l'azote et du phosphore dans le sédiment, a montré des effets positifs sur la biomasse et le taux de croissance des feuilles des transplants.

Enfin, des mesures in-situ sont effectuées pour suivre les transplants, comprenant le suivi de leur survie, la mesure de paramètres biométriques, la surveillance de la croissance, et la mesure des nutriments dans l'eau (*Delile.V, 2007*).

Les techniques décrites ici ont été employée pour les herbiers marins en général. Ces méthodes sont aussi utilisées notamment par le programme Coyali qui met en place des projets de transplantations de boutures d'herbiers marins tropicaux.



Figure 8 : Exemple de cultures de futurs transplants, programme Coyali (Coyali.fr)

6. Discussion

La protection des herbiers marins tropicaux ne se limite pas et ne doit pas se limiter uniquement au maintien des populations de ces espèces d'herbes marines. Ces milieux font partie d'un tout, un écosystème complexe. Ce document a servi à montrer les pistes à suivre pour permettre le maintien de ces biomes. Mais il a aussi permis de montrer les relations qui existent entre les autres espèces de poissons, d'invertébrés, et les habitats primordiaux que sont les récifs coralliens et les mangroves. La gestion et la protection des herbiers marins tropicaux doivent donc s'accompagner de mesures de suivis et de sauvegardes de l'écosystème entier que représente le milieu récif-herbier-mangrove. C'est ce qui est fait à Mayotte :

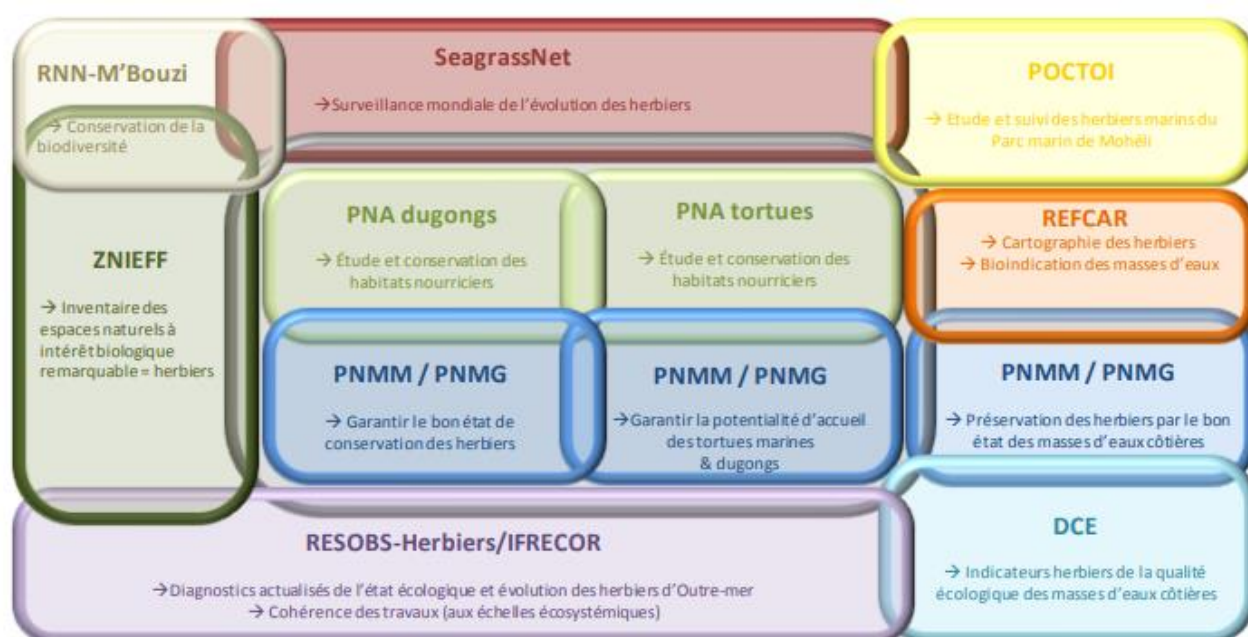


Figure 9 : Assemblage des différents projets et programmes pour l'étude et la conservation des herbiers marins à Mayotte en 2013-2014 (Dedeken M, Ballorain K, 2015)

À l'heure actuelle la question de la protection des herbiers marins n'est pas encore autant représentée que celle concernant les récifs coralliens par exemple. Cependant certains organismes tels que IFRECOR ou encore le programme Coyali mettent en pratique divers projets de transplantation et de culture d'espèces d'herbiers.

Enfin, il est important de notifier que chaque territoire et chaque milieu est unique. Il est alors nécessaire d'adapter les méthodes de conservation et de restauration au contexte local.

L'ONU conseille différentes interventions. Ils proposent la réalisation d'une carte mondiale qui répertorie l'état de santé des prairies marines ou encore la protection des herbiers marins dans les ODD, le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et d'accroître les financements nécessaires aux interventions.

7. Bibliographie

- 2020 – *L'état de santé des récifs coralliens, herbiers marins et mangroves des outre-mer français : Un bilan mitigé* – IFRECOR.FR. (s. d.). Consulté 24 janvier 2024, à l'adresse <https://ifrecor.fr/2020-letat-de-sante-des-recifs-coralliens-herbiers-marins-et-mangroves-des-outre-mer-francais-un-bilan-mitige/>
- Boudouresque, C.-F. (s. d.). *Restauration des écosystèmes côtiers*.
- Cuvillier, A. (2016). *Dynamique et fonctionnement des herbiers marins dans un complexe récifal anthropisé (île de la Réunion, océan Indien)*.
- Environment, U. N. (2020, novembre 12). *Herbiers marins : Un poumon vert inestimable pour la planète et l'humanité*. UNEP - UN Environment Programme. <http://www.unep.org/fr/resources/rapport/herbiers-marins-un-poumon-vert-inestimable-pour-la-planete-et-lhumanite>
- Herbiers : Collecte de graines*. (s. d.-a). Cáyoli. Consulté 26 janvier 2024, à l'adresse <https://www.cayoli.fr/action/collecte-de-graines-dherbiers/>
- Herbiers : Implantation en milieu naturel 1*. (s. d.-b). Cáyoli. Consulté 26 janvier 2024, à l'adresse <https://www.cayoli.fr/action/replantation-dans-le-milieu-naturel-2/>
- Hily, C., Duchêne, J., Bouchon, C., Bouchon-Navarro, Y., Payri, C., Védie, F., & Gigou, A. (2010). *Les herbiers de phanérogames marines de l'outre-mer français · Documentation Ifrecor* (p. 114). <http://ifrecor-doc.fr/items/show/1479>
- Jardin, L. (2019, mars 4). *Restauration d'herbiers, où en sommes-nous ?* Cáyoli. <https://www.cayoli.fr/restauration-dherbiers-ou-en-sommes-nous/>
- Kerninon, F. (2020). *Développement d'outils méthodologiques pour le suivi et l'évaluation de l'état de santé des herbiers d'outre-mer français et de leur environnement, dans un contexte de perturbations multiples*. Brest.

Komatsu, T., Sagawa, T., Sawayama, S., Tanoue, H., Mohri, A., & Sakanishi, Y. (2012). Mapping is a Key for Sustainable Development of Coastal Waters : Examples of Seagrass Beds and Aquaculture Facilities in Japan with Use of ALOS Images. In C. Ghenai (Éd.), *Sustainable Development—Education, Business and Management—Architecture and Building Construction—Agriculture and Food Security*. InTech. <https://doi.org/10.5772/26613>

La Feuille marine n° 4. Actualités 2019-2020 des herbiers d'outre-mer · Documentation Ifrecor. (s. d.). Consulté 26 janvier 2024, à l'adresse <http://ifrecor-doc.fr/items/show/1895>

Les herbiers marins de Mayotte : État des lieux des herbiers intertidaux en 2014 · Documentation Ifrecor. (s. d.). Consulté 25 janvier 2024, à l'adresse <http://ifrecor-doc.fr/items/show/1824>

MilieumarinFrance. (2020, juin 11). *Herbiers marins*. Milieu Marin France en Océans Indien et Austral. <https://oceans-indien-austral.milieumarinfrance.fr/Nos-Rubriques/Etat-du-milieu/Habitats-benthiques/Herbiers-marins>

Mise en place d'un suivi des herbiers de phanérogames marines à Wallis. Compte-rendu de la mission de terrain (mai 2014) · Documentation Ifrecor. (s. d.). Consulté 25 janvier 2024, à l'adresse <http://ifrecor-doc.fr/items/show/1856>

Murata, H., Hara, M., Yonezawa, C., & Komatsu, T. (2021). Monitoring oyster culture rafts and seagrass meadows in Nagatsura-ura Lagoon, Sanriku Coast, Japan before and after the 2011 tsunami by remote sensing : Their recoveries implying the sustainable development of coastal waters. *PeerJ*, 9, e10727. <https://doi.org/10.7717/peerj.10727>

OFB. (s. d.). *Les herbiers marins : Des prairies sous-marines au rôle écologique considérable*. Consulté 22 novembre 2023, à l'adresse <https://www.ofb.gouv.fr/les-herbiers-marins-des-prairies-sous-marines-au-role-ecologique-considerable>

Vangeluwe, D. (2006). *Effets de la transplantation sur la biométrie et sur la dynamique des nutriments, du carbone et de la chlorophylle de Posidonia oceanica (L.) Delile* [PhD Thesis, University of Liège Liège, Belgium]. <https://www.vliz.be/imisdocs/publications/242975.pdf>



Directeur.rice de recherche :

Catherine Boisneau

Thibaut Chabasse étudiant
PFE/DAE5
DAE/IMA
2023-2024

Étude de la faisabilité de la restauration des herbiers marins tropicaux : Étude des herbiers marins tropicaux

Résumé : Les herbiers marins sont composés d'espèces de phanérogames et représentent une surface d'environ 0,1% des océans. Pourtant, leur présence est nécessaire et primordiale pour le développement de nombreuses espèces de poissons, d'algues, de brouteurs ou d'invertébrés. Les herbiers marins tropicaux rendent aussi des services écosystémiques importants à l'humain avec la pêche et le tourisme notamment.

Ces écosystèmes tropicaux complexes ont aussi des liens fonctionnels étroits avec les mangroves et les récifs coralliens. Pour protéger les herbiers, il est fondamental de comprendre le milieu dans son intégralité et de protéger les espèces et milieux associés aux herbiers marins tropicaux.

La restauration des herbiers marins tropicaux peut se décliner en différents axes. Tout d'abord la présence d'un statut de protection du milieu est primordiale pour pouvoir mettre en place des projets de suivis et de gestion de ces habitats et les préserver aux mieux. Dans le cas où les herbiers marins ont subi une dégradation, des projets de restauration se mettent en place pour tenter de retrouver le fonctionnement initial de la zone d'étude, celle avant impact.

Mots Clés : Herbiier, marin, tropical, tropicaux, gestion, restauration, méthode