

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER**

OPTION : Ingénierie de l'environnement marin et côtier

**Le récif barrière de l'anse de kouali:
cartographie, biométrie et essai de restauration**

Préparé par :

Mme Ahmer Elain Soumia

Mme Boukabcha Fatma Zohra

Soutenu le 23 septembre 2024 devant le jury composé de :

Mme KERAGHEL M

MCB (Enssmal)

Présidente

Mme SENGOUGA A

MAA (Enssmal)

Examinatrice

Mme BOUMAZA S

MCA (Enssmal)

Promotrice

M. MISRAOUI A

Doctorant (Enssmal)

Co-promoteur

Promotion : 2023/2024

Remerciements

Nos remerciements les plus sincères vont à toute personne ayant eu la bonté et la patience de satisfaire notre curiosité et de nous aider dans notre travail par leurs précieux conseils, réponses et recommandations

Notre attention se portera aussi plus particulièrement sur **Mme Boumaza Salima** notre promotrice. qui nous a offertes l'opportunité d'effectuer ce stage dans les meilleures conditions et qui nous a fortement impressionnées par sa grande expérience et sa concrète contribution au bon déroulement de ce travail .

A notre Co-promoteur, **M Misraoui Ali** qui n'a épargné ni temps ni effort pour nous aider et pour répondre à nos questions. Nous adressons notre plus profonde reconnaissance pour son bon soutien et pour les conseils fructueux qu'il n'a cessé de nous prodiguer.

Nous tenons également à remercier **Mme Sengouga** et **Mme Keraghel** pour avoir accepté d'examiner ce travail et pour leurs observations pertinentes.

Nos remerciements s'adressent **M Benayad Mohammed Nadjib** le président fondateur de l'association écologie sans Frontière pour son aide très précieux.

Nous devons chaque bribe de notre connaissance à nos ingénieurs des laboratoires à l'ENSSMAL **Mme Touati Amina** Et **M Djerrai Noureddine** et l'agent aquacole **M Hanniche Hassane**, Nous les remercions non seulement pour le savoir qu'ils nous ont transmis, mais aussi pour la fierté et l'ambition que leurs personnes nous aspirent.

Et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce travail, qu'elles voient en ces mots l'expression de notre gratitude pour leur présence, pour leur dévouement et pour l'aide inestimable qu'elles nous ont apportées tout au long de ce parcours.

Un petit bout de chemin certes, mais un grand enrichissement

Merci

Dédicaces

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude à nos chers parents **Rabea, fatima Zohra, Mahfoud, Ahmed** Qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite et nous ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux. Nous espérons qu'un jour, nous pourrons leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour nous, que dieu leur prête bonheur et longue vie.

Nous dédions aussi ce travail à nos frères **Yakoub, Soufian, Khalil**

Nos sœurs **Anfel, Loubna**

Nos familles **Boukabcha, Terbak, Ahmer Alain, Manaa**

Nos amis **Hafida, Amani, Hanane, Younes, Khawla**

Tous nos professeurs qui nous ont enseigner

À tous ceux qui nous sont chers.



Résumé

Cette étude, visant à cartographier le récif barrière de l'anse de Kouali et à évaluer sa vitalité à travers des paramètres phénologiques, lépidochronologiques et de la biomasse, inclut également une expérience de restauration à petite échelle, avec des techniques déjà utilisées en méditerranée. Les résultats révèlent une régression notable depuis 2012, marquée par une augmentation de la superficie de la matte morte, tandis que l'analyse phénologique met en évidence une augmentation de la surface foliaire au front interne et une diminution de la longueur des feuilles au front externe. Bien qu'une tentative de réimplantation ait permis d'acquérir des compétences techniques, les résultats définitifs ne pourront être évalués que dans les années à venir.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى رسم خرائط لضريع البوزيدونيا في خليج كوالي وتقييم حيويتها من خلال المتغيرات الفينولوجية والليبيدوكرونولوجية و الكتلة الحيوية ، كما تتضمن تجربة ترميم على نطاق صغير باستخدام تقنيات مجربة في دول البحر الأبيض المتوسط. وتكشف النتائج عن تراجع كبير منذ عام 2012، تميز بزيادة في مساحة المنطقة الخالية من البوزيدونيا، بينما يسלט التحليل الفينولوجي الضوء على زيادة في مساحة الأوراق في الجهة الداخلية وانخفاض في طول الأوراق في الجهة الخارجية. وعلى الرغم من أن محاولة إعادة زراعة النبات قد مكنت من اكتساب المهارات التقنية، إلا أنه لا يمكن تقييم النتائج النهائية إلا في السنوات القادمة

Abstract

This study, aimed at mapping the Kouali cove barrier reef and assessing its vitality through phenological, lepidochronological and biomass parameters, also includes a small-scale restoration experiment, using Mediterranean techniques. The results reveal a notable regression since 2012, marked by an increase in dead matte, while phenological analysis highlights an increase in leaf area at the inner front and a decrease in leaf length at the outer front. Although an attempt at replanting has enabled technical skills to be acquired, definitive results can only be assessed in the coming years.

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Liste des tableaux et des figures

Introduction.....01

Chapitre 1 : Généralités.....05

1.1 Présentation de *Posidonia oceanica*.....06

1.2 Présentation des récifs barrières.....07

1.3 Rôles des récifs barrières.....13

1.4 Menaces et régression des récifs barrières.....13

1.5 Protection légale de *P. oceanica* et ses formations.....14

1.6 Cartographie de *P. oceanica* et de ses formations récifales.....15

1.7 La restauration des herbiers à *P. oceanica*.....16

Chapitre 2 : Matériel et Méthodes.....20

2.1 Présentation de la zone d'étude.....21

2.2 Cartographie du récif barrière de posidonie de l'Anse de kouali.....23

2.3 Etude des paramètres de vitalité.....24

2.3.1 Etude des paramètres lèpidochronologiques.....24

2.3.2 Etude des paramètres phénologiques.....25

2.3.3 Etude de la biomasse des feuilles et leur épiphytes.....27

2.4 Analyse granulométrique du sédiment.....27

2.5 Traitements statistiques.....28

2.6 Essai de transplantation de faisceaux de *P. oceanica* en niveau du récif barrière.....29

2.6.1 Les méthodes de restauration.....29

2.6.1.1 Méthode de restauration sur nappe de plastique.....29

2.6.1.2 Méthode de restauration sur nappe de doum « Palmier nain ».....30

2.6.1.3 Méthode de restauration sur des cadres en béton.....30

2.6.1.4 Méthode de restauration directe sur le substrat.....31

2.6.2	Collecte des faisceaux pour la restauration	32
2.6.3	Mise en place des transplants.....	33
2.6.4	Installation <i>in situ</i> des transplants.....	35
2.6.5	Essai de germination des graines de <i>P. oceanica</i> en aquarium.....	37
2.6.6	Le suivi de la restauration du <i>Posidonia oceanica</i>	39
 <u>Chapitre 3 : Résultats et discussion</u>		41
3.1	Cartographie et description du récif barrière à <i>P. oceanica</i>	42
3.2	Caractérisation de la vitalité du récif barrière.....	45
3.2.1	Paramètres phénologiques et de biomasse.....	45
3.2.1.1	Au niveau du front interne (SFI).....	45
3.2.1.2	Au niveau du front externe (SFE).....	47
3.2.2	Paramètres lépidochronologiques.....	49
3.2.2.1	Nombre d'écailles par cycle.....	49
3.2.2.2	La vitesse de croissance des rhizomes.....	50
3.2.3	Analyse granulométrique du sédiment.....	52
3.3	Le suivi des restaurations	55
Conclusion		61
Bibliographie		63
Annexes		72
Annexe de BMC		78

Liste des figures

Figure 1 : Morphologie de <i>P. oceanica</i>	06
Figure 2 : Photos montrant l'édification de la matte au niveau du récif barrière.....	07
Figure 3 : L'émersion des feuilles de posidonie par rapport à la surface de l'eau.....	07
Figure 4 : Le récif frangeant	08
Figure 5 : Le récif barrière avec un lagon de matte	09
Figure 6 : Le récif barrière avec un lagon de matte érodé	09
Figure 7 : Récif barrière avec un lagon géomorphologique	10
Figure 8 : Le récif barrière fossile.....	10
Figure 9 : Le faux récif barrière.....	11
Figure 10 : Le récif perpendiculaire.....	11
Figure 11 : La plateforme récifale.....	12
Figure 12 : Un micro-atoll.....	12
Figure 13 : carte représentant la localisation de l'anse de Kouali dans la baie de bousmail	21
Figure 14 : le cours d'eau central à l'anse de Kouali.....	22
Figure 15 : la turbidité enregistrée à l'anse de kouali.....	22
Figure 16 : (A) Photos illustrant la fixation du pentadécamètre sur le piquet central pour matérialiser les transects / (B) Photo illustrant la méthode de mesure de la hauteur de la matte	23
Figure 17 : les cycles dépisteur des écailles de <i>P. oceanica</i>	25
Figure 18 : les différent types de feuilles de <i>P. oceanica</i>	26
Figure 19 : le modèle de la nappe en plastique utilisé	29
Figure 20 : la nappe de palmier nain "Doum"manufacturée.....	30
Figure 21 : les étapes de fabrication des cadres en béton	31
Figure 22 : Modèles des tuteurs en fil galvanisé utilisés pour la fixation des transplants.	32
Figure 23 : Collecte des faisceaux pour les différentes méthodes de restauration.....	33
Figure 24 : les transplants fixés sur la nappe de palmier nain "Doum".....	34
Figure 25 : les transplants fixés sur les cadres en béton.....	34

Figure 26 : Localisation des différentes modalités de restauration au sein du récif barrière	35
Figure 27 : les différentes méthodes de restauration utilisées <i>in situ</i>	36
Figure 28 : photo pris par les membres de l'association écologie sans frontière des graines de <i>P. oceanica</i> collecte le long de l'île du grand Cavallo a Jijel	37
Figure 29 : Graines <i>P. oceanica</i>	38
Figure 30 : Aquarium oxygéné contenant les graines de <i>P. oceanica</i>	38
Figure 31 : Photos montrant des graines saines (A) et des graines détériorées couvertes d'une pellicule blanche (B)	38
Figure 32 : Cartographie des contours du récif barrière. Les numéros indiquant les points de mesure de hauteur de mat	42
Figure 33 : Photo montrant un point de mesure de la hauteur de la mat	43
Figure 34 : cartographie biocénétique du récif barrière à <i>Posidonia</i> à l'anse de kouali ..	44
Figure 35 : l'évolution d'une nombre moyen d'écailles par cycle dans l'ensemble des stations SFI et SFE	50
Figure 36 : variation interannuelles de la longueur des rhizomes	51
Figure 37 : les variations interannuelles de poids des rhizomes	51
Figure 38 : courbe de fréquence cumule du sédiment de l'intermatte (2024)	53
Figure 39 : les variations des pourcentages de taux de matière organique	55
Figure 40 : cadre en béton retrouvé sur la plage	57
Figure 41 : la nappe en plastique détachée du substrat	58
Figure 42 : la nappe de palmier doum détachée du substrat	58
Figure 43 : Retirer des faisceaux de la nappe de doum pour les réimplanter directement sur le substrat	58
Figure 44 : Les espèces retrouvées au niveau des transplants : (A) Poulpe, (B) <i>Padina pavonica</i>, (C) <i>Anemonia sulcata</i> (D) <i>Paracentrotus lividus</i>	59
Figure 45 : faisceaux avec de nouvelle racines	60

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeurs des hauteurs de matte mesurées au niveau des différents points du récif barrière	43
Tableau 2 : Paramètre phénologiques et de biomasses mesurées au niveau de la station SFI en 2024 et 1992. Les valeurs correspondent à la moyenne \pm écart-type.....	46
Tableau 3 : Paramètres phénologiques et de biomasses mesurées au niveau de la station SFE en 2024 et 1992. Les valeurs correspondent à la moyenne \pm écart-type.....	48
Tableau 4 : Comparaison des valeurs des indices granulométriques dans le sédiment de l'intermatte calculés en 2024 et 2012.	52
Tableau 6 : Calendrier de suivi des méthodes de transplantation mises en œuvre dans le récif barrière de l'anse de Kouali.	56

Introduction



Posidonia oceanica est une espèce endémique de la Méditerranée, occupant une place centrale dans les écosystèmes marins de cette région. Elle forme des herbiers qui colonisent les substrats meubles de l'étage infralittoral, principalement sur les fonds littoraux en méditerranée (PNUE-CAR/ASP, 2001). Ces herbiers sont essentiels pour la biodiversité marine, jouant un rôle écologique et économique de premier plan (Boudouresque *et al.*, 2006). Cependant, ils constituent aujourd'hui l'un des peuplements benthiques méditerranéens les plus menacés en raison des nuisances littorales (Bellan-Santini et Picard, 1984).

Les récifs barrières de Posidonies, structures morphologiques caractéristiques des herbiers de *P. oceanica*, sont retrouvés généralement dans les fonds des baies abritées, correspondant à des sites de mouillage privilégiés, ce qui les rend particulièrement vulnérables aux perturbations anthropiques telles que l'ancrage des bateaux et d'autres activités humaines (Boudouresque *et al.*, 2006). De nombreux récifs barrières qui étaient autrefois abondants ont été partiellement ou totalement détruits au fil du temps, essentiellement suite à la construction des ports (Boudouresque *et al.*, 2006).

La reconnaissance de la menace pesant sur les récifs barrières a conduit à leur inscription sur la liste des paysages marins menacés en Méditerranée (Boudouresque *et al.*, 1990). Cette classification souligne la nécessité de mesures spécifiques pour assurer leur protection, sous peine de voir ces écosystèmes disparaître définitivement des rivages méditerranéens. En Algérie, plusieurs récifs barrières ont été identifiés dans le passé, notamment dans la baie de Bou Ismaïl (Molinier et Picard, 1952 ; Le Gall, 1969) et à El Kala (pergent et pergent martini., 1991). Le récif barrière de l'anse de Kouali a fait l'objet de quelques études récentes, après avoir été décrit comme le plus prospère des récifs observés sur les côtes algériennes par Molinier et Picard (1952) :

Boumaza (1995) a consacré une partie de son étude à la cartographie et à l'étude de la vitalité du récif barrière durant un cycle annuel.

Seguini et Naceur (1996) ont établi une carte biosédimentaire de l'anse de Kouali et ont mis en évidence la présence du récif barrière.

Rebouh (1997) a étudié la biodiversité des épiphytes des feuilles de Posidonies de l'anse de Kouali
Bammahamed et Naimi (2012) ont établi une cartographie à petite échelle du récif barrière de l'anse de Kouali en utilisant la méthode des transects. Ils ont mis en évidence le caractère régressif de ce dernier, en limite supérieure.

Zerrouk (2016) a affiné la cartographie du récif barrière de l'anse de Kouali confirmant son caractère régressif matérialisé par une mosaïque de matte morte et de *Cymodocea nodosa*.

Mahjoub et Araour (2020) ont recensé à partir de photos satellitaires quelques récifs barrières le long de la côte algérienne, dont celui de Kouali.

MISRAOUI et al (2023) a établi un recensement et une caractérisation des récifs barrières de la côte algérienne dans Sept sites : trois sont détruits (Madagh II, plage Thalassothérapie, Bou Ismail), et quatre sont en régression (Tazzebujt, plage Les Vergés, île Cavallo, anse Kouali).

Objectifs de ce travail

Cette étude se propose dans un premier temps de faire un suivi cartographique du récif barrière de l'anse de Kouali afin de suivre sa dynamique régressive en comparant nos données avec celles de Bammhamed et Naimi (2012).

Dans un deuxième temps un suivi des paramètres de la vitalité du récif barrière à travers l'étude des paramètres phénologiques, lépidochronologiques et biomassiques est également réalisée.

Enfin, dans un troisième temps, nous avons procédé à une expérience de restauration, à petite échelle, en utilisant diverses techniques, déjà mises en œuvre depuis quelques années en Méditerranée.

Cette approche relative à la restauration de l'herbiers à *P. oceanica* nous a inspiré afin d'établir un **BUISSNES MODEL** de notre projet portant l'intitulé suivant : « **Création d'une microentreprise dédiée à la conservation et à la restauration des herbiers de Posidonies : puits de carbone bleu majeurs en Méditerranée** ».

Cette étude est scindée en plusieurs parties :

- **Une partie introductive** mettant en avant l'intérêt du suivi des récif-barrières et en particulier celui de l'anse de Kouali.
- **Le 1^{er} chapitre** introduit des connaissances de base portant sur les récifs barrières de *Posidonia oceanica*, la restauration et la préservation, ...etc.
- **Le 2^{ème} chapitre** présente la zone d'étude et les méthodes utilisées pour la cartographie et l'étude des paramètres de vitalité et les différentes techniques de restauration utilisées.
- **Le 3^{ème} chapitre** présente les résultats obtenus et leur discussion en les comparant à l'étude réalisée par Bammahamed et Naimi (2012) en ce qui concerne la cartographie et Boumaza (1993)

en ce qui concerne les paramètres de vitalité. Les résultats des suivis à court terme des techniques de restauration mises en place sont également discutés.

- Enfin, le travail est clôturé par une **conclusion** générale et des perspectives.

Généralités



1.1 Présentation de *Posidonia oceanica*

Posidonia oceanica (Linnaeus) Delille est une Magnoliophyte ayant la particularité d'être uniquement marine et endémique de la mer méditerranée (Boudouresque *et al.* , 2006). Elle y forme des herbiers denses et monospécifiques depuis la surface jusqu'à 40-45 m de profondeur, dans des zones où la clarté de l'eau est élevée (Procaccini *et al.* , 2003).

P. oceanica est constituée de racines adventives, de tiges rhizomateuses se terminant par des faisceaux de feuilles (Figure 1). Les rhizomes, bruns ligneux, sont soit rampants (rhizomes plagiotropes), assurant la croissance horizontale ainsi que la fixation au substrat grâce aux racines, soit dressés verticalement (rhizomes orthotropes) assurant la croissance en hauteur, évitant l'ensablement de la plante, dû à un apport sédimentaire continu, et permettant le développement de feuilles verticalement pour capter la lumière et les nutriments (Boudouresque et Meinesz, 1982). La différenciation entre rhizomes plagiotropes et orthotropes est en fonction de l'espace disponible, un rhizome orthotrope peut devenir plagiotrope, et vice-versa (Caye, 1980). L'enchevêtrement des rhizomes verticaux et horizontaux, les racines qui poussent sur les rhizomes et le sédiment composent une structure relativement solide et cohésive dénommée « mat » (Boudouresque *et al.* , 2006).

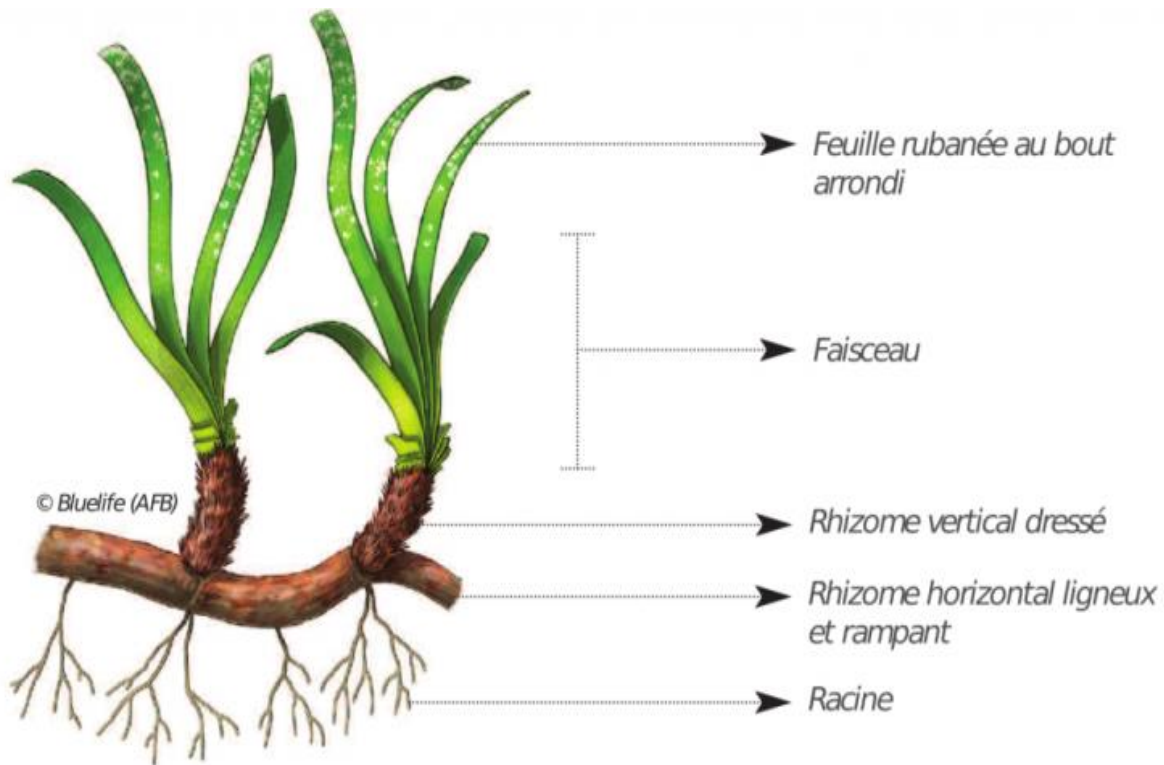


Figure 1 : Morphologie de *P. oceanica* (Bluelife OFB. png).

Au cours du temps, la matte s'élève lentement au-dessus du niveau initial à raison d'un mètre par siècle (Molinier et Picard, 1952) (Figure 2). Dans les zones abritées, près de la côte, l'herbier affleure la surface de l'eau, constituant un récif-barrière, séparé de la côte par un lagon constitué d'une biocénose des sables vaseux de mode calme (Molinier et Picard, 1952 ; Boudouresque et Meinesz, 1982).

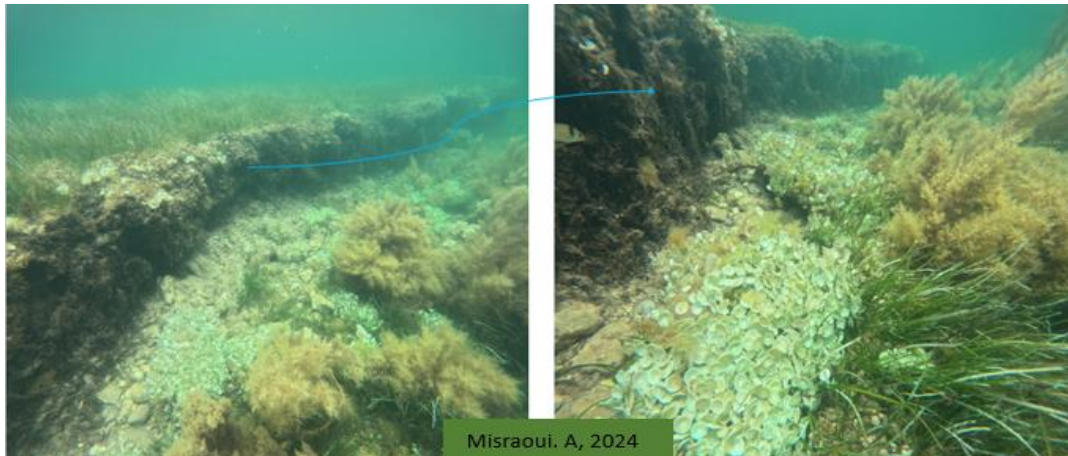


Figure 2 : Photos montrant l'édification de la matte au niveau du récif barrière

1. 2. Présentation des récifs barrières

Les récifs barrières de *P. oceanica* sont caractérisés par l'émersion des feuilles par rapport à la surface de l'eau, en particulier à marée basse, au printemps et au début de l'été, lorsque les feuilles atteignent leur longueur maximale d'environ 1 m. Une élévation continue de la matte favorise le développement d'un front d'émersion vers le large (Rouanet *et al.* , 2022) (Figure 3).



Figure 3 : l'émersion des feuilles de posidonie par rapport à la surface de l'eau (Misraoui. A 2023).

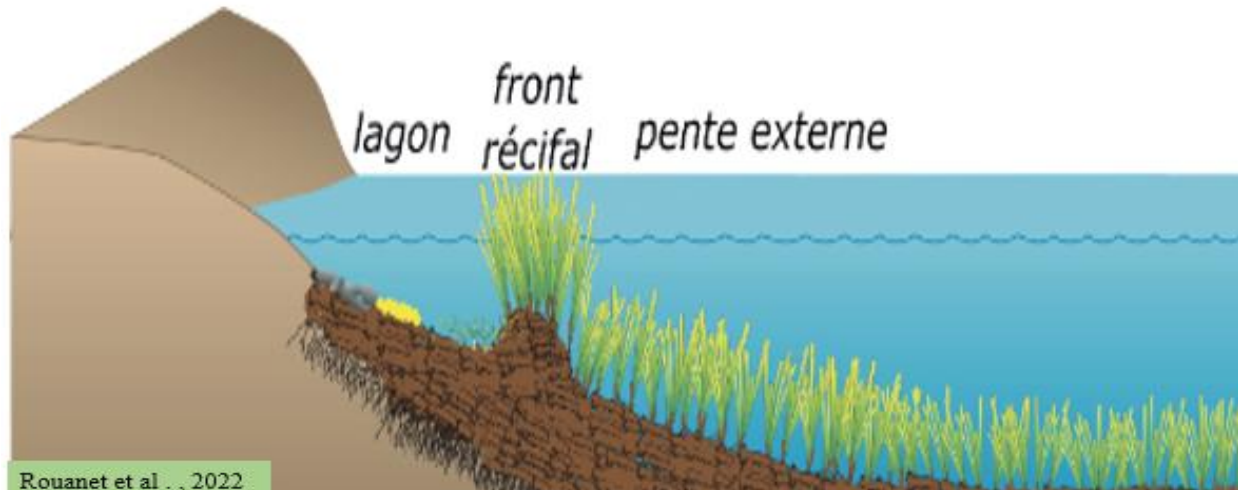


Figure 5 : Le récif barrière avec un lagon de matie (Rouanet et al. , 2022).

- Le **récif barrière avec un lagon de matie érodé (RBLME)** est semblable au RBLM, à la seule différence que le lagon de matie a été érodé, créant ainsi une profondeur variant sur plusieurs mètres. L'érosion peut être due aux forces naturelles (comme l'hydrodynamisme) ou provoquée par des dragages réalisés dans le but de rendre plus facile l'accès aux petits bateaux (Rouanet *et al.* , 2022) (Figure 6).

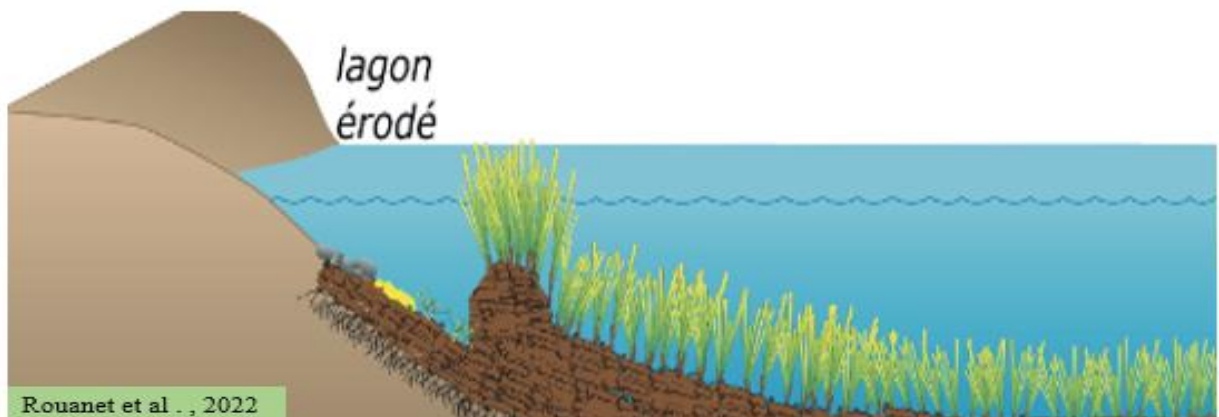


Figure 6 : Le récif barrière avec un lagon de matie érodé (Rouanet et al. , 2022).

- Le **récif barrière avec un lagon géomorphologique (RBLG)** se caractérise par un lagon profond et sans matie morte, résultant de la montée du niveau relatif de la mer. La formation de ce type est peu probable dans les zones où il n'y a pas eu d'affaissement récent du plateau (Rouanet *et al.* 2022) (Figure 7).

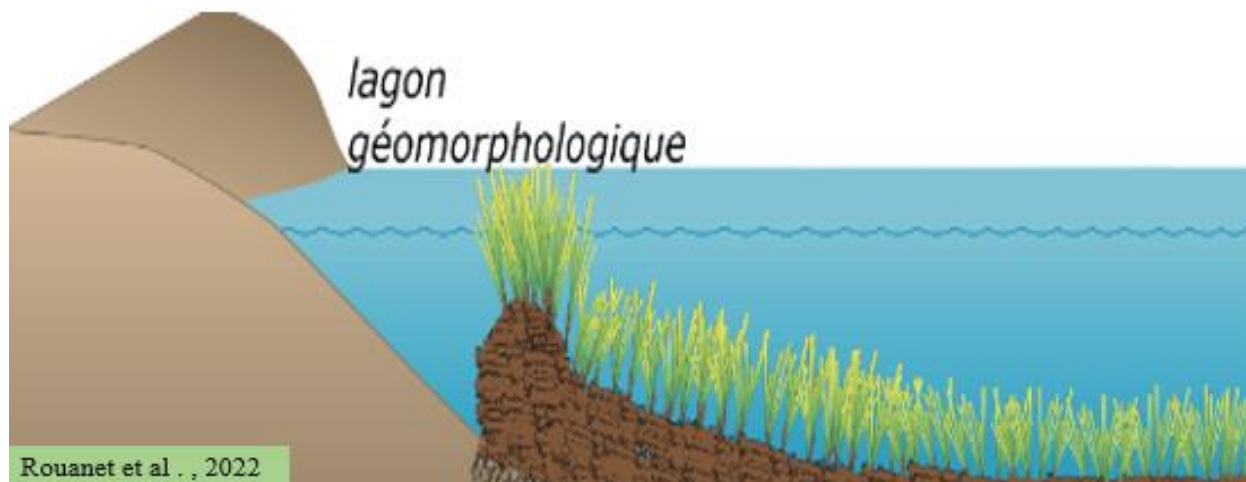


Figure 7 : Le récif barrière avec un lagon géomorphologique (Rouanet et al. , 2022).

- **Le récif barrière fossile (RBF)** conserve le profil original d'un récif barrière avec une émergence frontale et un lagon peu profond, bien que les posidonies vivantes aient disparu dans ce dernier. La progression du récif vers le large s'est arrêtée, et au fil du temps, l'érosion causée par les courants transformera la formation en une plaine submergée stérile (Rouanet et al. , 2022) (Figure 8).

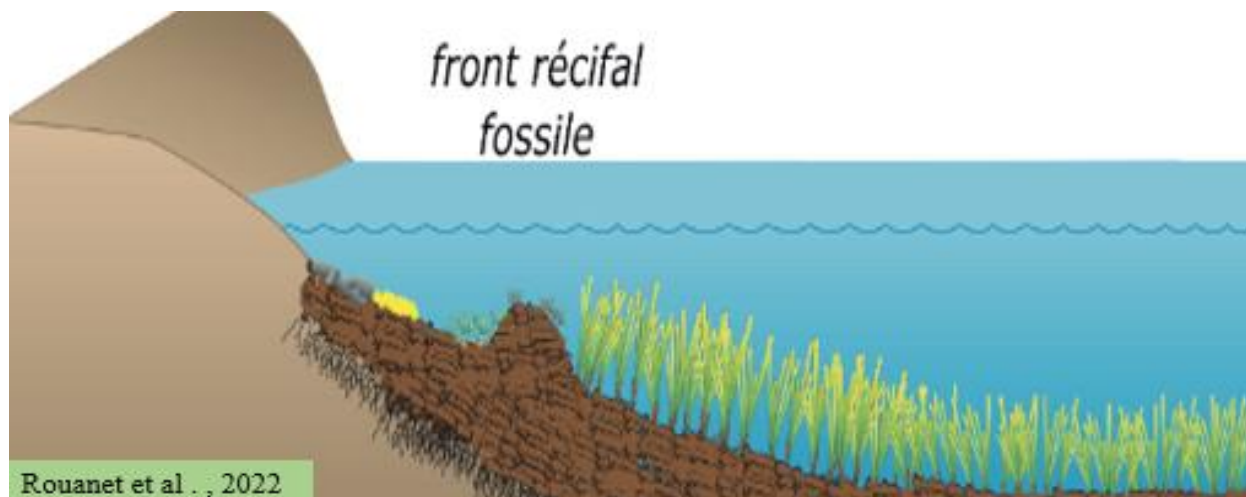


Figure 8 : Le Récif barrière fossile (Rouanet et al. ,2022).

- **Le faux récif barrière (FRB)** est un lagon géomorphologique séparé de la mer par une barre rocheuse peu profonde, où la posidonie s'installe, imitant un récif barrière (Rouanet et al. ,2022) (Figure 9).

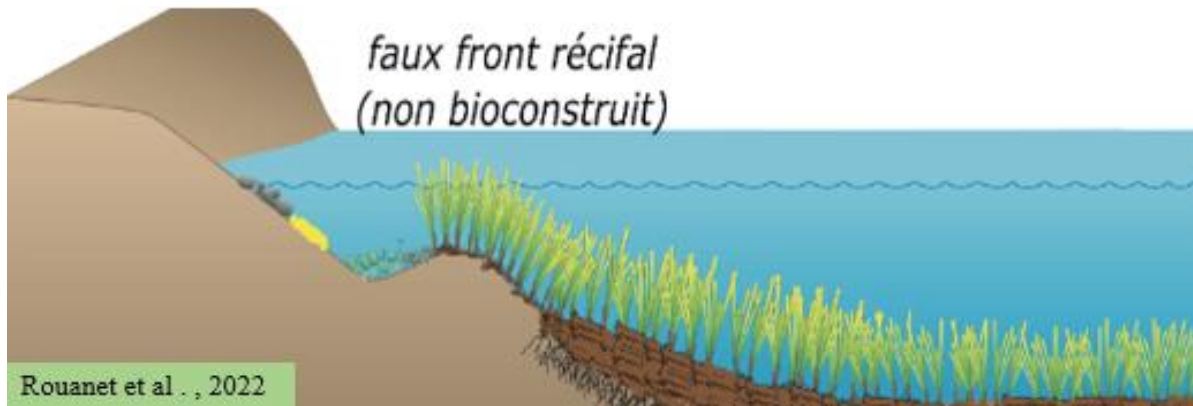


Figure 9 : Le faux récif barrière (Rouanet et al. , 2022).

- **Le récif perpendiculaire (PER)** est formé par deux cellules de courant opposées, représentant une forme initiale ou réduite du récif parallèle et orienté perpendiculairement à la côte (Rouanet et al. , 2022) (Figure10).

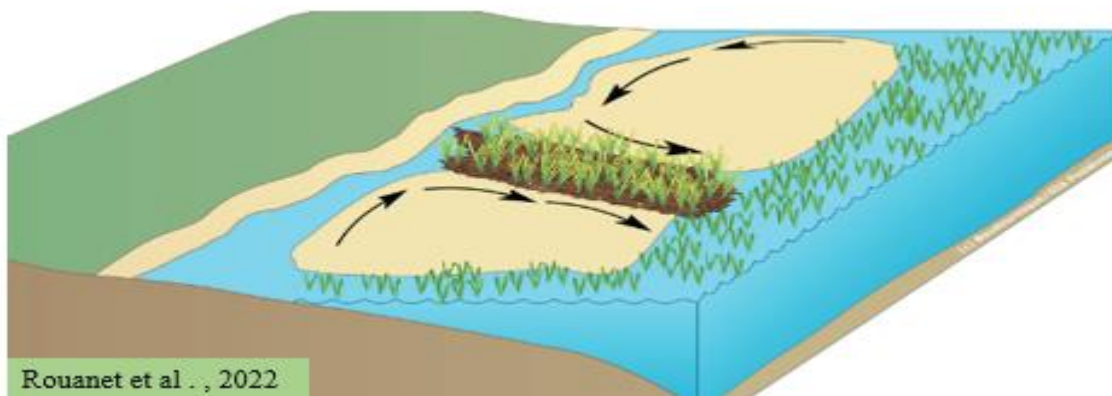


Figure 10 : Le récif perpendiculaire (Rouanet et al. , 2022).

- **La plateforme récifale (PR)** est un triangle de matte morte bordé de posidonies vivantes, potentiellement formé par des courants opposés ou deux récifs barrières progressant vers le large, bien que cette hypothèse soit débattue par les experts en hydrodynamisme (Rouanet et al. , 2022) (Figure 11).



Figure 11 : La plateforme récifale (Rouanet et al. , 2022).

- **Le micro-atoll (MA)**, une structure où les feuilles de posidonie forment un anneau de plusieurs mètres de diamètre. Les rhizomes plagiotropes se développent en périphérie de façon centrifuge, tandis que les pousses au centre meurent, laissant place à une zone de matte morte au milieu de l'anneau (Rouanet et al. , 2022) (Figure 12).



Figure 12 : Le micro-atoll (Rouanet et al. ,2022).

1. 3. Rôles des récifs barrières

Les récifs barrières jouent un rôle crucial dans la décantation et la sédimentation des particules en suspension dans la colonne d'eau et offre une protection bien adaptée pour l'atténuation de la houle (Boudouresque et Meinesz, 1982; Gambi *et al.* , 1990; Caye et Meinesz, 1992). D'un point de vue biomimétique, cette dynamique entre l'herbier et la houle pourrait inspirer un jour des procédés ondulants, permettant tout à la fois de protéger les côtes et de produire de l'énergie (Rouanet *et al.* , 2022). Ils fournissent un habitat et une source de nourriture indispensables à de nombreuses espèces marines, favorisant leur survie (Bell et Harmelin, 1982).

1.4 Menaces et régression des récifs barrières

Les formations récifales de *P. oceanica* se situent généralement dans les zones peu profondes, proches du rivage, et principalement dans des baies calmes et protégées le long du littoral méditerranéen. Ces espaces sont prisés par diverses activités humaines, qui peuvent imposer des pressions sur ces écosystèmes naturels. Une pression se définit comme un stress appliqué à l'environnement par une activité humaine, sans nécessairement altérer son état. En revanche, un impact se produit lorsqu'une pression entraîne une modification de l'état de l'écosystème (Rouanet *et al.* , 2022).

La principale cause du déclin des récifs barrières revient au fait que les baies, anses et criques à hydrodynamisme faible, où ils sont généralement présents, sont des zones idéales pour le mouillage des bateaux. En outre, la majorité des fonds de baies abrités ont été occupés par des ports qui ont recouvert la quasi-totalité des récifs barrières existants en Méditerranée. Les causes de régression et de disparition des récifs barrières citées par Vuignier et Bouladier (1989) sont :

- La pollution physique et les rejets d'effluents (agricoles, urbain, etc.).
- La sur-fréquentation par les plaisanciers (ancrage, échouage) (Augier et , Boudouresque, 1970).
- Le grossissement et « régénération » des plages qui entraînent un envasement au niveau du récif et un recul de la limite supérieure (Boudouresque *et al.* , 2006).
- L'introduction d'espèces non-indigènes.
- Les aménagements opérés au niveau du littoral modifiant le transit sédimentaire (construction d'épis, de digues, de port, d'abri de pêche, etc.).

1.5 Protection légale de *P. oceanica* et ses formations

Les quelques structures identifiées à ce jour, dans des secteurs très localisés et peu anthropisés, sont sans commune mesure avec l'extension passée de cette écomorphose. Il est clair que la majorité des récifs barrières à *P. oceanica* ont aujourd'hui disparu alors qu'ils constituent une structure unique dans la biosphère. Ces structures sont également à l'origine de la mise en place de biotopes eurythermes et euryhalins (avec la biocénose qui leur est associée) tout à fait particuliers (lagons) (Boudouresque *et al.* , 2016).

Les récifs barrières de *P. oceanica*, du fait de leur importance écologique et patrimoniale, et de leur faible et lente capacité de résilience, ont bénéficiés d'une protection juridique qui devrait leur assurer une certaine pérennité.

La Convention de Barcelone, adoptée en 1976, constitue la convention-clé pour la protection des espaces et des espèces en Méditerranée. Le Plan d'Action pour la Conservation de la Végétation Marine en mer Méditerranée, est l'un des 4 plans d'action adoptés dans le cadre de cette Convention et la préservation des récifs barrières de *P. oceanica* est l'une de ses priorités. Les actions requises pour atteindre les objectifs de ce plan d'action se résument comme suit :

- Légiférer au niveau régional afin de protéger les espèces et espaces d'intérêt écologique.
- Élaborer des recherches scientifiques où les données seront recueillies, traitées et partagées.
- Mettre en place des aires marines protégées pour conserver les herbiers et leurs formations.
- Éduquer, sensibiliser et former le public.

En Algérie, 2 lois concourent à la protection légale de *P. oceanica* et des formations qu'elle constitue :

La loi relative à la protection et à la valorisation du littoral (n° 02-02 du 22 Dhou El Kaada 1422, correspondant au 5 février 2002, parue dans le Journal Officiel n° 10 du 12 février 2002) indique que : « l'occupation et l'utilisation des sols littoraux doivent préserver les espaces terrestres et marins remarquables ou nécessaires au maintien des équilibres naturels. Sont concernés par la

présente disposition, [...] les récifs coralliens, les herbiers sous-marins et les formes ou formations côtières sous-marines ». Par conséquent aucun travail d'aménagement ne doit être entrepris dans ces espaces naturels à l'exception toutefois des installations légères destinées à leur gestion.

La Loi du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement, et de son décret d'application du 4 janvier 2012, fixant la liste des espèces végétales non cultivées et protégées (Journal officiel n°03 du 18 janvier 2012). Le décret interdit : «*la destruction, la coupe, la mutilation, l'arrachage, la cueillette de végétaux de ces espèces ou leurs fructifications, ou de toute autre forme prise par ces espèces au cours de leur cycle biologique, leur transport, leur utilisation, leur mise en vente ou leur achat, ainsi que la détention de spécimens prélevés dans leur milieu naturel* » (sic). Le décret prévoit également des autorisations de prélèvement de ces espèces, dont les modalités d'obtention restent à fixer.

1.6 Cartographie de *P. oceanica* et de ses formations récifales

Les données disponibles sur la distribution des Magnoliophytes marines en Méditerranée, en particulier les herbiers à *P. oceanica* montrent, qu'en dépit d'une augmentation des connaissances, seules quelques données quantitatives dispersées sont accessibles. L'information se limite encore souvent à la simple présence ou absence de ces habitats (Giakoumi *et al.* , 2013).

La cartographie des herbiers à *P. oceanica* est devenue une priorité pour leur protection. Les méthodes disponibles sont variées et de plus en plus performantes, chacune ayant ses avantages et inconvénients selon le contexte d'intervention (profondeur), l'état des connaissances du milieu, les objectifs fixés, la précision requise et l'étendue des zones à inventorier (Pergent *et al.* , 1995 ; Pasqualini *et al.* , 2001).

La cartographie des récifs barrières et des herbiers marins ne se limite pas à leur localisation, mais permet également d'évaluer l'état des écosystèmes, d'identifier les zones vulnérables et de fournir des données cruciales pour les programmes de conservation. Grâce aux technologies avancées, comme les SIG, il est désormais possible de recueillir des données précises et d'explorer des zones

auparavant inaccessibles, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour la protection des herbiers marins et la biodiversité côtière. (Bianchi et Morri, 2000).

En Algérie, les études sur la cartographie des herbiers de Posidonies sont rares et fragmentées. L'absence de données cartographiques sur la couverture des récifs barrières entrave la planification de leur conservation. Par conséquent, la protection des formations récifales nécessite d'abord leur localisation et l'estimation des surfaces qu'elles occupent. La cartographie est un outil essentiel pour une description exhaustive, permettant de suivre leur évolution spatiotemporelle, de diagnostiquer leur état de conservation et d'identifier les menaces à l'origine de leur dégradation, voire de leur disparition (Pasqualini *et al.* , 1998).

1.7 Restauration des herbiers à *P. oceanica*

La restauration des herbiers à *P. oceanica* est devenue une priorité en raison de la diminution alarmante de ces derniers sous l'impact des activités humaines. L'objectif ultime de la restauration de ces herbiers est de rétablir l'équilibre écologique et de fournir des bénéfices socio-économiques durables (Ferrer-Gallego et Prado, 2015 ; Pergent-Martini *et al.* , 2019).

On parle de restauration lorsqu'une espèce est réintroduite dans une région où elle a existé dans le passé, et d'où elle a disparu du fait de l'homme (Boudouresque *et al.* , 2006).

L'utilisation des techniques sur des surfaces limitées (i. e. dégâts dus aux ancrages) décrits par Soltan et Francour (2000) permet de limiter l'expansion de la régression et de recoloniser les surfaces endommagées à condition que les facteurs de destruction aient été arrêtés ou réduits (Vangeluwe *et al.* , 2001).

Des expériences de restauration de *P. oceanica* ont montré que la morphologie des pousses (rhizomes à croissance orthotrope ou plagiotrope), la longueur de rhizome prélevée ainsi que la densité de réimplantation jouent un rôle dans la survie des transplants (Meinesz *et al.*, 1992). Parmi les différentes dispositions des transplants orthotropes testées par Molenaar et Meinesz (1995), les meilleurs résultats ont été obtenus lorsque les transplants étaient placés proches les uns des autres (moins de 15 cm entre pousses adjacentes) (Vangeluwe *et al.*,. 2001).

Pour une restauration réussite et opérationnelle selon Pergent-Martini *et al.* (2024) il est nécessaire de :

- Présenter et de décrire des études de cas illustrant des mesures de restauration de *P. oceanica* réussies.
- Analyser les expériences antérieures infructueuses afin d'identifier les causes de l'échec.
- Étudier les principaux sujets sur lesquels la recherche et le développement seraient nécessaires, incluant les étapes successives telles que la justification de la nécessité de restaurer, la mise en œuvre de la planification, la sélection du site, les mesures concrètes de restauration, ainsi que le suivi et l'évaluation des résultats.

Les techniques mises au point pour la réimplantation de l'herbier à *P. oceanica* sont les suivantes :

- Mise en place de dalles en ciment percées de trous dans lesquels sont placées les boutures (Maggi, 1973).
- Mise en place de cadres en ciment au centre desquels sont placées un grand nombre de boutures retenues par un grillage (Cooper, 1976, Chessa et Fresi, 1994).
- Utilisation de grillages plastiques ou métalliques, posés à plat sur le fond, sur lesquels sont fixées les boutures (Larkum, 1976 ; Piazzzi et Cinelli, 1995 ; Piazzzi *et al.* , 1998).
- Fixation des boutures directement sur le fond au moyen de piquets ("tuteurs") ou de crochets (Molenaar, 1992 ; Charbonnel *et al.* , 1995).
- Creusement de trous dans lesquels sont placés des blocs de matre (mottes) (Addy, 1947 ; Dennison et Alberte, 1986 ; Chessa et Fresi, 1994).
- Utilisation de filets en matière biodégradable (Djaafri *et al.*, 2014).
- Mise en place de jeunes individus (plantules) ayant germé en laboratoire (Addy, 1947 ; Cooper, 1976 ; Piazzzi et Cinelli, 1995 ; Piazzzi *et al.* , 2000).

Les résultats obtenus à jour ont montré que la meilleure saison de transplantation de *P. oceanica* pour des meilleurs taux de survie et de développement des boutures est le printemps pour les boutures plagiotropes avec un taux moyen de survie de 92% et l'automne pour les boutures orthotropes avec un taux de survie de 45% (Molenaar et Meinesz, 1992). En outre, les boutures plagiotropes donnent de meilleurs résultats que les boutures orthotropes et leur croissance est plus

rapide (Meinesz *et al.* , 1992 ; Molenaar *et al.* , 1993 ; Piazzzi et Cinelli, 1995 ; Piazzzi *et al.* , 1998 ; 2000).

Les réimplantations doivent s'intégrer dans une stratégie globale de gestion des herbiers à *P. oceanica* à l'échelle d'une baie ou d'une région. Cette stratégie doit prendre en compte les éléments suivants (Boudouresque *et al.* , 1994) :

- (i) Surface totale des herbiers existant.
- (ii) Surface perdue chaque année du fait de la régression et causes de cette régression.
- (iii) Surface gagnée chaque année du fait de la régénération naturelle (si elle existe).
- (iv) Surface que l'on peut espérer gagner par réimplantation, avec un échéancier à 10, 20 et 50 ans.
- (v) Coût des réimplantations, et comparaison des effets d'un investissement identique alternatif dans la maîtrise des causes de la régression
- (vi) En tout état de cause, un essai portant sur un lot témoin restreint, suivi pendant 3 années au moins, est nécessaire. Seul un résultat favorable peut justifier une opération à grande échelle (Boudouresque, 2001).

En Algérie, trois (3) essai de réimplantation ont été effectués

- La première expérience de restauration de Posidonie a été effectuée en 2009 dans la wilaya de Boumerdès (Est d'Alger) par les membres du club Nautilus de Dellys, dans le cadre d'un financement IUCN. Elle a consisté en la fixation des boutures sur des grilles en fer, des cylindres en pvc dans lesquels les boutures ont été insérées, en utilisant un système de fixation pour garantir qu'elles restent en place. Les cylindres perforés étaient ensuite immergés dans l'eau, permettant aux boutures de s'adapter au milieu marin tout en étant protégées par le PVC et enfin par transplantation direct ([https : //youtu. be/7FFRcld1ESI?si=BkxPHTVG8984REBU](https://youtu.be/7FFRcld1ESI?si=BkxPHTVG8984REBU))

- La seconde expérience de restauration de Posidonie a été réalisée en 2019 dans la wilaya d'Oran, sous la supervision de l'association écologique marine Barbarous (2019). Elle a consisté en la réimplantation simultanée avec des algues brunes de 100 individus de posidonie et cystosiera. Dans le cadre des recherches approfondies sur la création, optimisation et contrôle des habitats marins. Cette expérience pilote a multi objectifs permet de mieux comprendre certains paramètres

in situ sur deux espèces menacées, qui jouent des rôles majeures pour le bon fonctionnement du milieu marin côtier ([https : //youtu. be/ZUdp6ZTsXkc?si=JtLXIXBuNHAOpmBf](https://youtu.be/ZUdp6ZTsXkc?si=JtLXIXBuNHAOpmBf))

- la troisième expérience de restauration de Posidonie a été réalisée en 2019 dans la wilaya d'Oran, sous la supervision de l'association écologique marine Barbarous (2019). Elle a consisté en la fixation de plus de 600 boutures de posidonie d'une surface de 11 m² dans un fond désert à 23 m de profondeur caractérisé par un substrat meuble sableux où les habitats improductifs et pollués. Après un mois le milieu est devenu productif et dépollué avec beaucoup de juvéniles de poissons ([https : //youtu. be/Mc3XDfVSIKk?si=aSb1F2-LWac8KJB7](https://youtu.be/Mc3XDfVSIKk?si=aSb1F2-LWac8KJB7))

Matériel et méthodes



2.1 Présentation de la zone d'étude

L'anse de Kouali, située à l'est du village touristique CET de Tipaza à 70 km à l'ouest d'Alger, dans la partie occidentale de la baie de Bou Ismaïl (Figure 13).

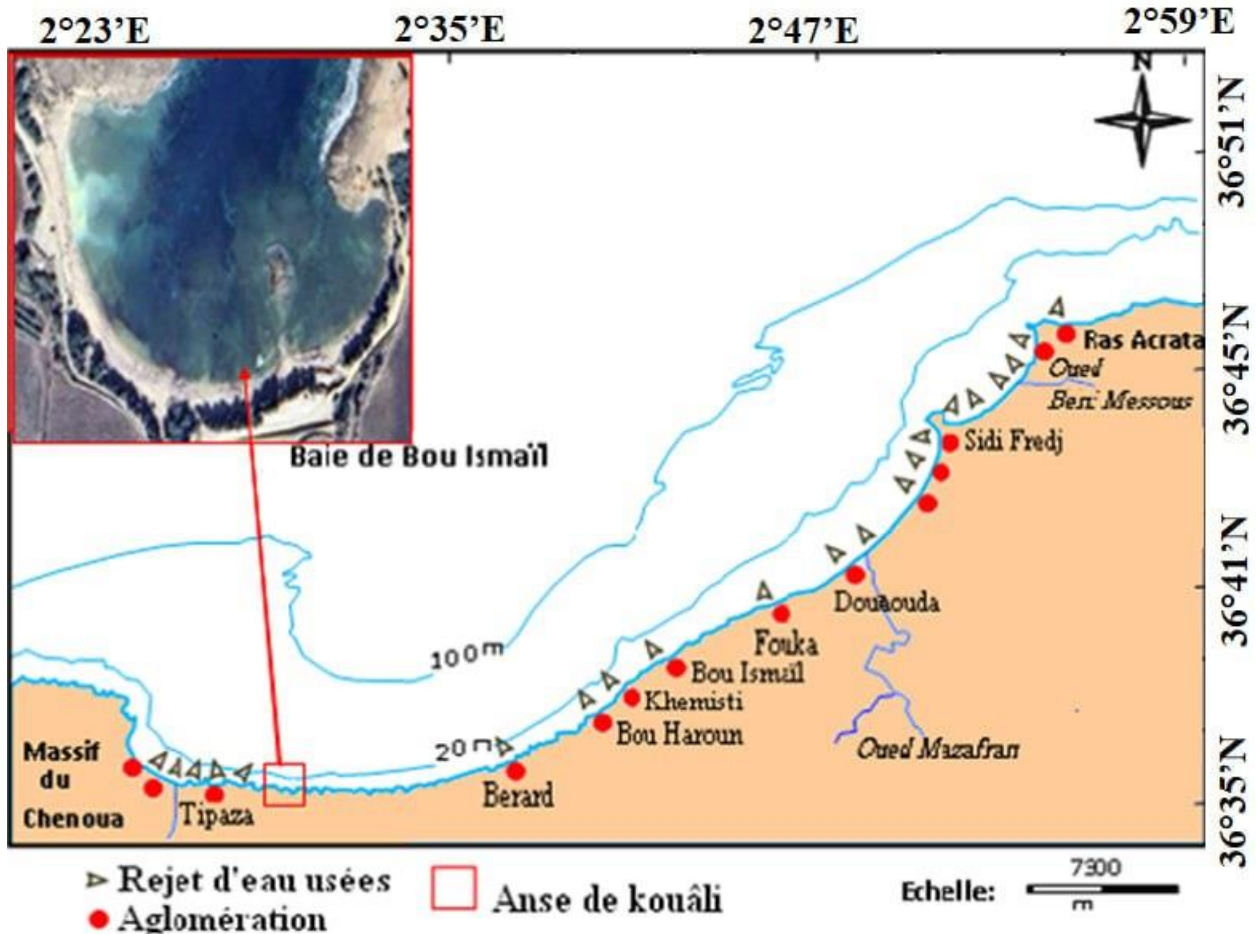


Figure 13 : Carte représentant la localisation de l'Anse de Kouali dans la Baie de Bou Ismaïl (PAC, 2005 ; Google Earth, 2024).

L'anse de Kouali occupe une surface de 5 Km², elle est l'une des anses les plus abritées de la baie de Bou Ismaïl, en raison de la présence d'un goulet, non loin du rivage, qui isole le fond et le protège de la houle du large (Le Gall, 1969). L'herbier à *P. oceanica* de l'Anse de Kouali s'étend entre 0.3 et 20 m de profondeur en moyenne et se développe sur substrat dur. Sa productivité primaire est l'une des plus importantes enregistrées en Méditerranée (Boumaza et Semroud, 2000). En outre, cette station est caractérisée par la présence d'un certain nombre de paysages marins tels le récif barrière de *P. oceanica* et les trottoirs à Vermets, qui constituent des paysages marins menacés de Méditerranée (Bouderesque *et al.*, 1990).

Le réseau hydrographique qui débouche au niveau de l'anse de Kouali est constitué de l'oued Gasbayan à l'ouest, un petit cours d'eau au centre reliant l'oued Serris et l'oued Hadjidji et un ravin à l'est (Amrouche, 2005) (Figure 14). Bamahammed et Naïmi (2012) avait signalé que le cours d'eau central charriait des eaux usées générant une forte turbidité (Figures 15A et 15B). Lors de nos sorties le débit était nettement moins important comparativement à celui constaté en 2010 (Boumaza Comm. Pers).



Figure 14 : le cours d'eau central à l'anse de Kouali



Figure 15 : la turbidité enregistrée l'anse de Kouali en 2012 (A) et 2024 (B) .

2.2 Cartographie du récif barrière de posidonies de l'Anse de Kouali

La méthode utilisée pour la cartographie du récif barrière est celle des transects, elle consiste, à partir d'un piquet central, matérialisé par une tige métallique, placé au centre de la zone d'étude et positionné au moyen d'un GPS (une acquisition longue d'environ 10' permet une bonne précision), de tendre un penta décamètre jusqu'à des points situés à la périphérie du récif barrière afin d'en réaliser le contouring. Les distances du point central vers les points périphériques sont mesurées ainsi que leur orientation à l'aide d'un compas de relèvement (2° de résolution).

En outre, la hauteur de la matre est mesurée au niveau de chacun des points périphériques à l'aide d'une règle graduée (Figures 16A et 16B). L'ensemble des données recueillies sont notées sur une plaque en PVC puis traitées à l'aide du Logiciel Arc Gis (Version 10. 8) afin de réaliser la cartographie du récif barrière. Ces mesures précises et méthodiques nous permettrons d'obtenir une cartographie à petite échelle du récif barrière de l'anse de Kouali.

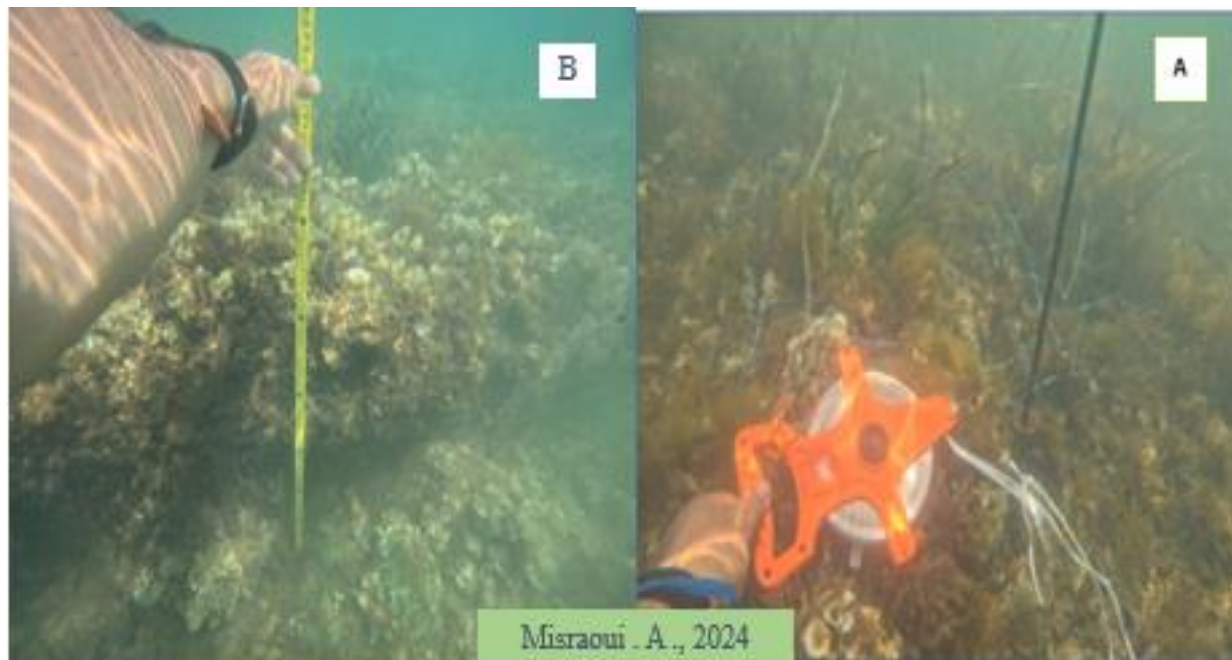


Figure 16 : (A) Photos illustrant la fixation du penta décamètre sur le piquet central pour matérialiser les transects. (B) Photo illustrant la méthode de mesure de la hauteur de la matre.

2.3 Etude des paramètres de vitalité

Le prélèvement des faisceaux destinés aux études des paramètres lépidochronologiques, phénologiques et de biomasses a été réalisé le 27 juin 2024 au niveau du récif barrière de l'anse de Kouali. Deux (2) stations ont été choisies : La première station, est située au niveau du front interne du récif barrière à une profondeur comprise entre 0.3 et de 0.5 m (SFI) et. La seconde station se trouve au niveau du front externe du récif-barrière, à une profondeur comprise entre 0.7 et 1.5 m de profondeur (SFE). Quinze (15) faisceaux orthotropes de *P. oceanica* ont été prélevés au niveau de chacune des stations. Les faisceaux collectés ont été transportés dans une glacière, puis conservés dans un congélateur jusqu'à leur traitement au laboratoire.

2.3.1 Etude des paramètres lépidochronologiques

La découverte de la lépidochronologie, plus particulièrement la possibilité de rétrodater avec précision les tronçons de rhizomes, permet d'évaluer de façon précise la vitesse de croissance, la production consacrée à l'allongement des rhizomes ainsi que le nombre de feuilles produites annuellement (Pergent, 1993).

Une fois les faisceaux décongelés et nettoyés soigneusement pour éliminer tout résidu, les écailles sont détachées en respectant l'ordre distique d'insertion, car les écailles sont emboîtées les unes dans les autres. La dissection des écailles se fait à partir des plus anciennes vers les plus récentes et leur épaisseur est appréciée au toucher (Rico et Pergent, 1990). Lorsque l'épaisseur est minimale, le rhizome est coupé au niveau de son insertion, ainsi une série de tronçons de rhizomes, délimités par 2 écailles fines sont numérotés en fonction de l'année à laquelle ils appartiennent, puis ils sont mesurés et pesés. Le nombre d'écailles y afférent est également comptabilisé (Figure 17).

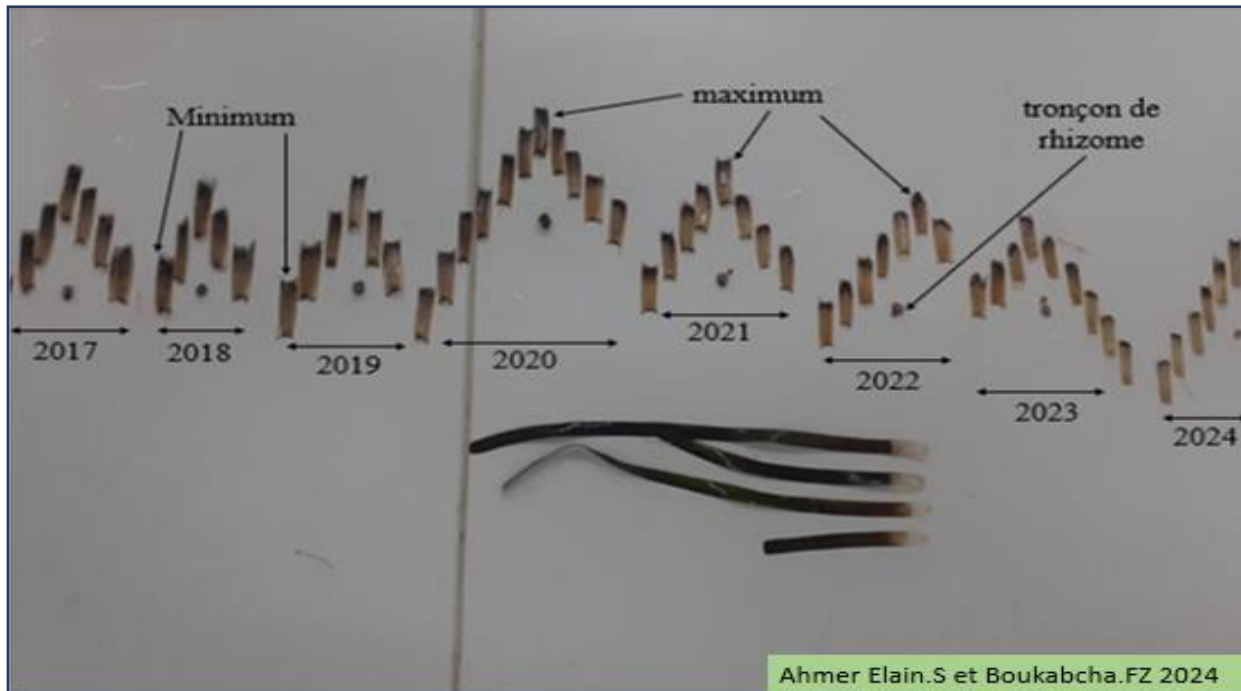


Figure 17 : les cycles d'épaisseur des écailles de *P. oceanica*.

2.3.2 Etude des paramètres phénologiques

Les faisceaux ayant servi à l'étude lépidochronologique servent aussi à l'étude des paramètres phénologiques. Les feuilles sont décortiquées en respectant l'ordre distique de leur insertion. En fonction de la maturité des feuilles, celles-ci sont classées en 3 catégories (Figure 18) comme préconisé par Giraud (1979) :

- Feuilles adultes : de plus de 50 mm de long et pourvues d'un pétiole supérieur ou égal à 2 mm
- Feuilles intermédiaires : de plus de 50 mm de long dépourvues de pétiole ou dont le pétiole est inférieur à 2 mm
- Feuilles juvéniles : sans pétiole et de longueur n'excédant pas 50 mm (non prises en compte lors de cette étude).

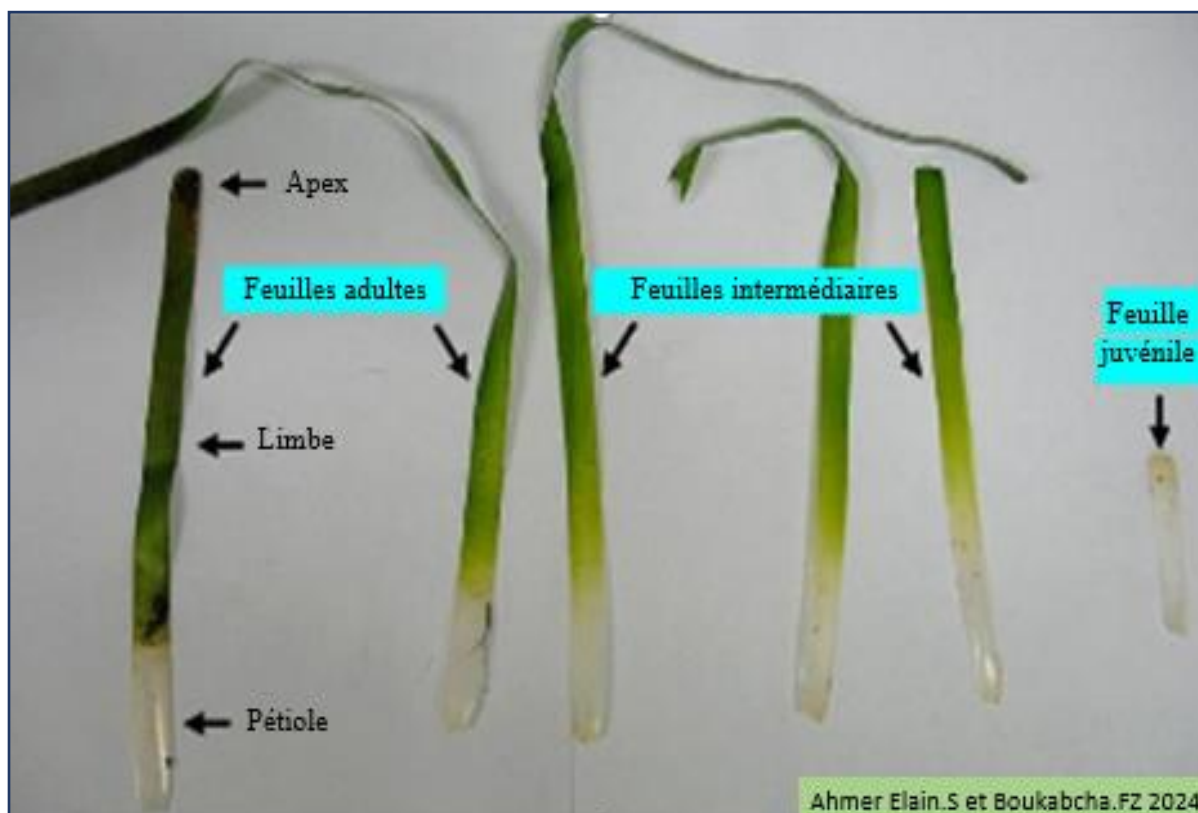


Figure 18 : les différents types de feuilles de *P. oceanica*.

Pour chaque feuille, on a réalisé les mesures suivantes :

- Longueur totale de la feuille
- Longueur du pétiole
- Largeur de la feuille

Lorsque les mesures portant sur l'ensemble des faisceaux sont terminées, les paramètres suivants sont calculés :

- Le nombre, la longueur la largeur et la surface foliaire moyens des feuilles adultes et intermédiaires par faisceau.
- Le Coefficient A : il correspond au pourcentage de feuilles ayant perdues leur apex. En effet, l'extrémité des feuilles ou apex peut être entière ou brisée, ce qui correspond soit à une consommation par les herbivores soit à l'action de l'hydrodynamisme favorisée par la présence des épiphytes (Boudouresque *et al.* , 2006).

- La surface foliaire (SF) : exprimée en cm^2 /faisceau (Drew, 1971), elle est calculée pour chaque catégorie de feuille à partir des équations suivantes :

$$SF = [\sum (LF \times IF) \text{ par faisceau}] / \text{nombre de feuille par faisceaux} \quad (1)$$

Avec :

SF = Surface foliaire moyenne des feuilles

LF = Longueur moyenne des feuilles

IF = Largeur moyenne des feuilles

2.3.3 Etude de la biomasse des feuilles et de leurs épiphytes

Les lots des feuilles adultes et intermédiaires groupés par faisceau sont débarrassés de leurs épiphytes, à l'aide d'une lame de rasoir, sont rincés à l'eau, puis séchés séparément à l'étuve pendant 48 heures à 70°C (le poids est alors stabilisé) (Benhomme, *et al.* 1982). La biomasse est exprimée en g Ps/faisceau. Les épiphytes des feuilles adultes et intermédiaires sont également séchés à l'étuve pendant 48 heures à 70°C et pesés. La biomasse est alors exprimée en mg Ps/faisceau.

2.4 Analyse granulométrique du sédiment

Trois (3) échantillons de sédiments d'intermatte ont été échantillonnés le 27 juin 2024 au niveau du récif barrière à l'anse de Kouali à l'aide d'une boîte cylindrique, à laquelle un sachet en plastique est rattaché à l'une de son extrémité, afin de recueillir le sédiment. Une fois au laboratoire et selon la norme NF P94-056, les échantillons sont placés dans des boîtes de Pétri et séchés à l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures. Après ce premier séchage, 200g de sédiment sont pris comme poids initial et sont rincés à l'eau pour éliminer la fraction pélitique, au travers d'un tamis de $63\ \mu\text{m}$, avec l'aide d'une agitation manuelle du tamis. La fraction restante est remise dans des boîtes de Pétri et séchée à l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures, puis pesée et sa granulométrie est réalisée mécaniquement pendant 10 mn sur des tamis de norme AFNOR, de maille 0.063 ; 0.125 ; 0.25 ; 0.5 ; 1 ; 2 mm Chaque refus de tamis est pesé et est exprimé en pourcentage du poids total. Le mode de représentation des distributions granulométriques utilisé est le diagramme semi-log. Les tailles sont représentées sur l'axe des abscisses en échelle

logarithmique de base 10 (en général en mm) et les ordonnées en échelle arithmétique de 0 à 100 %.

Les paramètres granulométriques utilisés sont :

- La taille moyenne des sédiments (TM), qui permet de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des sédiments. Les différentes limites utilisées par Folk et Ward (1957) sont données en annexe 1.
- L'indice de tri de Folk (S0), qui donne une idée de l'étalement de la courbe autour de son grain moyen. Les différents stades du triage utilisés par Folk (1954) sont donnés en annexe 1.
- L'indice de symétrie de la distribution (SKi), qui indique un étalement de la courbe granulométrique plus ou moins important vers les sédiments fins ou les sédiments grossiers. Les limites et la nomenclature utilisées par Folk et Ward (1957) sont données en annexe 1.
- Le triage de Folk (DFI) traduit les réponses du milieu sédimentaire en fonction des apports de matériaux et des conditions hydrodynamiques. Ce paramètre est calculé à partir des valeurs des quartiles et de la médiane données en annexe 1.
- L'indice hydrodynamique (FH) fournit une indication sur le potentiel de transport sédimentaire. Lorsque cet indice est négatif, cela suggère que les sédiments sont difficilement mobilisables. À l'inverse, un indice positif indique que les sédiments peuvent être mis en mouvement (Annexe 1).

En outre, nous avons déterminé le pourcentage de la matière organique contenue dans les sédiments de l'intermatte après incinération de ces derniers dans un four à moufle réglé à une température de 550°C. La différence des 2 poids P1 (Poids initial) et P2 (Poids final) correspond au poids de la matière organique (MO). Son pourcentage dans les sédiments est obtenu à partir de la formule suivante :

$$MO\% = P1 - P2 / P1 * 100 \quad (2)$$

2.5 Traitements statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant la version 4. 4. 1 de R Commander pour Windows (Open source). Les comparaisons de moyennes sont réalisées à l'aide du test de

Student, en respectant les conditions de son application qui sont la normalité des distributions et l'égalité des variances. Les tests sont réalisés au seuil de signification de 5%.

2.6 Essais de restauration de faisceaux de *P. oceanica* au niveau du récif barrière

Des essais de transplantation expérimentaux de faisceaux de *P. oceanica* ont été réalisés au niveau du récif barrière de l'anse de Kouali en utilisant différentes méthodes.

2.6.1 Méthodes de restauration

2.6.1.1 Méthode de restauration sur nappe de plastique

Nous avons utilisé une nappe de plastique de dimension de 1,5 m de longueur et 1,3 m de largeur avec une maille de 10 cm de diamètre (Figure 19). Cette technique aide à protéger les transplants des menaces environnementales, telles que l'érosion côtière, les tempêtes, les variations de température, et les perturbations causées par les activités humaines, facilitant ainsi leur établissement et leur croissance (Pergent et Pergent-Martini, 1990).



Figure 19 : le modèle de la nappe en plastique utilisé.

2.6.1.2 Méthode de restauration sur nappe de Doum « Palmier nain »

Cette méthode originale baptisée « Nappe en Doum », a été mise au point suite à notre souhait d'utiliser un matériau biodégradable produit sur le territoire algérien. Cette grille a été

confectionnée manuellement par un artisan selon des spécifications précises : une largeur de 50 cm, une longueur de 1 m, et un maillage de 5 cm de diamètre. Elle est entourée d'une bande de 10 cm de largeur avec un maillage serré, assurant ainsi une rigidité accrue et un point de fixation optimale (Figure 20).

Le doum, collecté dans la forêt de Traghnia (Ténès), a été séché avant d'être utilisé dans la fabrication de la nappe. L'utilisation de matériaux biodégradables permet non seulement de minimiser l'impact environnemental, mais aussi de favoriser une intégration plus harmonieuse dans l'écosystème marin. Cette approche allie durabilité et efficacité, offrant une solution viable pour divers projets écologiques et de conservation marine. En se dégradant naturellement, ces matériaux réduisent la pollution et préservent la biodiversité (Smith *et al.* , 2018).



Figure 20 : la nappe de palmier nain "Doum" manufacturée.

2.6.1.3 Méthode de restauration sur des cadres en béton

Cette technique de transplantation de *P. oceanica*, est basée sur l'utilisation de cadres quadrilatéraux en béton de 50 cm de côté et de 5 cm d'épaisseur. Les cadres sont renforcés par une grille constituée à partir de fil galvanisé. Les mailles en forme de losange mesurent 10 cm de

côté. La fabrication des cadres a été faite à partir d'un mélange de ciment, de sédiments et de gravier, soigneusement mélangé avec de l'eau jusqu'à obtention d'une consistance homogène (Figure 21). Une fois le mélange prêt, nous avons rempli le moule avec ce dernier, en veillant à ce que la grille soit bien intégrée dans le béton pour renforcer la structure. Le moule a ensuite été mis à sécher pendant 48 heures pour permettre au béton de durcir complètement et d'atteindre sa résistance optimale. La proportion de ciment utilisée dans les cadres doit être réduite au maximum afin d'assurer une dégradation rapide, tout en maintenant une solidité suffisante pour éviter que les cadres ne soient trop fragiles. Cette technique permet de créer des structures à la fois robustes et durables, tout en utilisant des matériaux couramment disponibles et peu coûteux (Nguyen, 2005).

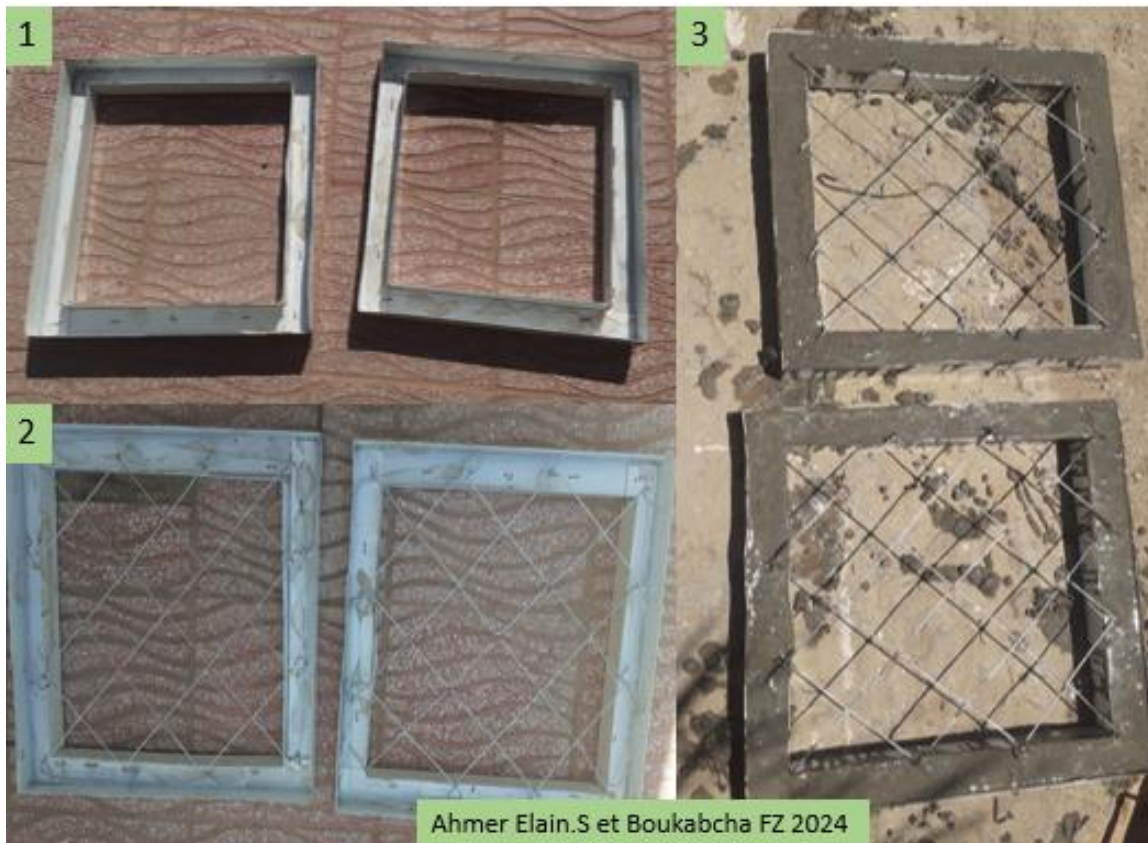


Figure 21 : les étapes de fabrication des cadres en béton.

2.6.1.4 Méthode de restauration directe sur le substrat

Cette méthodologie préconisée par Meinesz *et al.* (1988) consiste à fixer, des boutures de *P. oceanica* directement sur le substrat à l'aide de tuteurs en fil galvanisé en forme de U de 30 cm de long (Figure 22). Cette méthode permet d'assurer une stabilisation adéquate des boutures, favorisant ainsi leur enracinement et leur croissance dans l'environnement sous-marin. Les tuteurs

galvanisés offrent une résistance à la corrosion, garantissant la durabilité et l'efficacité de la fixation sur le long terme.



Figure 22 : Modèles des tuteurs en fil galvanisé utilisés pour la fixation des transplants.

2.6.2 Collecte des faisceaux pour la restauration

Les faisceaux de *P. oceania* détachés naturellement et retrouvés au sein du récif barrière de l'anse de Kouali ont été utilisés lors de la mise en œuvre des différentes méthodes de transplantations citées ci-dessus. Un total de 60 faisceaux a été collecté. Les transplants sélectionnés sont soit orthotropes, dépourvu de racines et portant un ou plusieurs faisceaux de feuilles, soit plagiotropes portant 2 à 3 faisceaux de feuilles. Ces différents types de transplants seront mis en place sur au niveau de la matte morte du récif barrière afin d'étudier l'évolution du développement de chaque type de transplant.

La collecte des transplants s'est faite le même jour que l'opération de transplantation (Figure 23) afin d'éviter un stress supplémentaire à la plante et d'augmenter les chances de réussite de la transplantation. Pendant toute la durée de la fixation des transplants sur les 2 nappes et les cadres

en béton, les transplants sont constamment immergés dans une bassine remplie d'eau de mer pour éviter la déshydratation jusqu'à leur transplantation dans le milieu.



Figure 23 : Collecte des faisceaux pour les différentes méthodes de transplantations.

2.6.3 Mise en place des transplants

Les transplants ont été fixés en position verticale sur les grilles à l'aide d'attaches en plastique, de manière à ce que le rhizome dépasse de quelques centimètres sous la grille. Les attaches doivent être suffisamment serrées pour maintenir les boutures en place, mais assez lâches pour permettre leur croissance. Ces manipulations ont été effectuées dans une bassine remplie d'eau de mer afin de minimiser le stress sur les transplants. Chaque grille (en plastique, en doum et cadre en ciment) a ainsi été constituée, chacune portant 10 à 15 transplants orthotropes et plagiotropes disposés en quinconce, de manière à conserver une distance d'environ 10 cm entre les transplants. Cette disposition permet d'étudier les différences de développement entre les transplants orthotropes et plagiotropes (Figures 24 et 25)



Figure 24 : les transplants fixés sur la nappe de palmier nain "Doum".



Figure 25 : les transplants fixés sur les cadres en béton.

2.6.4 Installation *in situ* des transplants

Les différentes méthodologies de transplantation utilisées dans le cadre de cette étude ont été placées sur de la matre morte de *P. oceanica*, à une profondeur comprise entre 0.5 et 1.5 m, en plongée en apnée. Les différents supports de transplants ont été positionnés relativement proches les uns des autres en prenant soin de noter leur position à l'aide d'un GPS afin de faciliter le retour sur site pour le suivi des transplants (Figure 26). Toutes les grilles ont été fixés sur la matre à l'aide de tuteurs en fil galvanisé, enfoncés profondément à l'aide d'une massue, garantissant ainsi une stabilité optimale. Elles ont été disposées de manière à ce que les extrémités des rhizomes affleurent la surface de la matre morte (Figure 27).

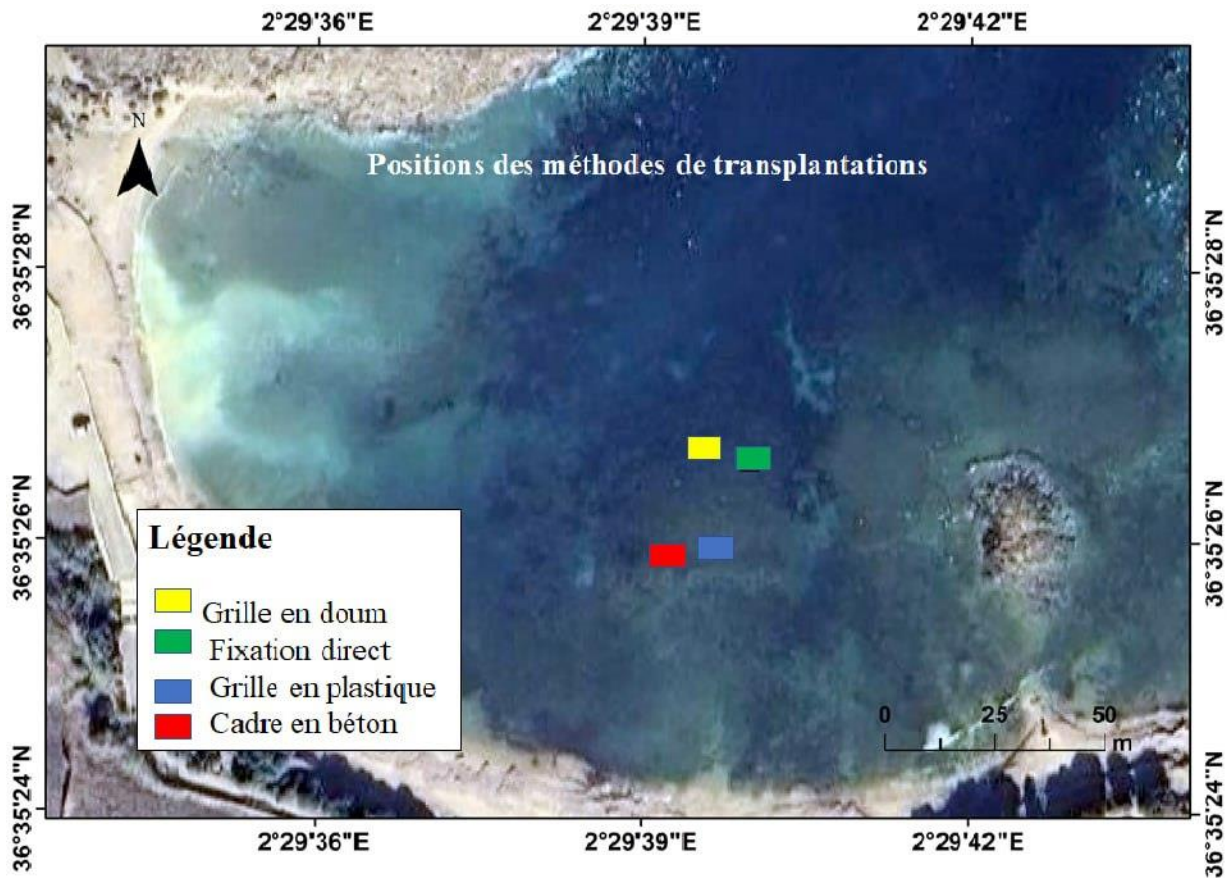


Figure 26 : Localisation des différentes modalités de transplantation au sein du récif barrière.






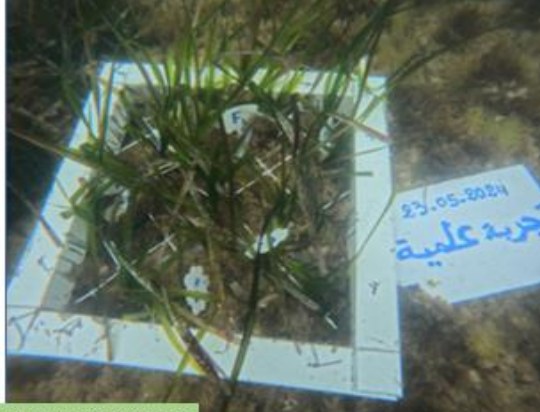

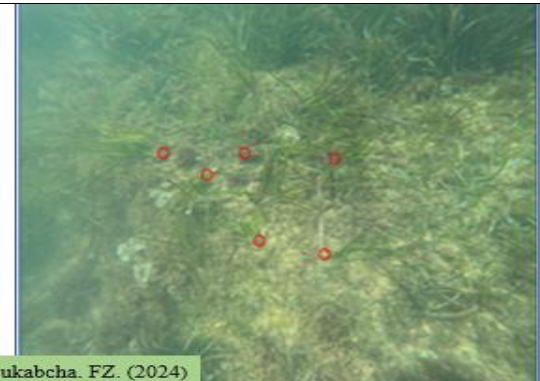
<p>Transplantation sur Nappe de plastique</p>		
<p>Transplantation sur Nappe de Doum</p>		
<p>Transplantation sur Des cadres en béton</p>		
<p>Transplantation directe Sur le substrat</p>		

Figure 27 : les différentes méthodes de restauration utilisées in situ.

2.6.5 Essai de germination des graines de *P. oceanica* en aquarium

Une méthode simple et économique qui consiste à faire germer des graines de Posidonie retrouvées en épaves sur les plages en aquarium, puis de transplanter les jeunes pousses en vue de restaurer les herbiers de Posidonie dégradés. La collecte des grains échoués est une méthode peu coûteuse et rapide.

La signalisation de la présence de graines de *P. oceanica* échouées le long de l'île du Grand Cavallo à Jijel par les membres de l'Association Écologie Sans Frontière sur leur réseau social en date du 11 mai 2024 (Figure 28) a été pour nous une opportunité de faire un essai de germination de ces dernières en aquarium et de tenter une transplantation des jeunes pousses dans le milieu naturel.

Nous avons donc pris contact avec cette association qui nous a aimablement transmis une douzaine de graines qu'ils ont récoltées en date du 12 mai 2024, puis acheminées au laboratoire et mises en aquarium le 19 mai 2024 (Figures 29 et 30). Le 21 mai, les graines ont été transférées dans des récipients compartimentés remplis de sable fin, imitant les conditions naturelles des fonds marins (Figure 31 A et B). Cette méthode permet de favoriser l'ancrage des plantules tout en assurant une distribution homogène et en évitant la compétition entre les graines.



Figure 28 : Photo pris par les membres de l'association Ecologie sans frontière des graines de *P. oceanica* collectées le long de l'île du Grand Cavallo à Jijel. (<https://www.facebook.com/share/p/dqc4wV3z42L4yVF8/?mibextid=oFDknk>).

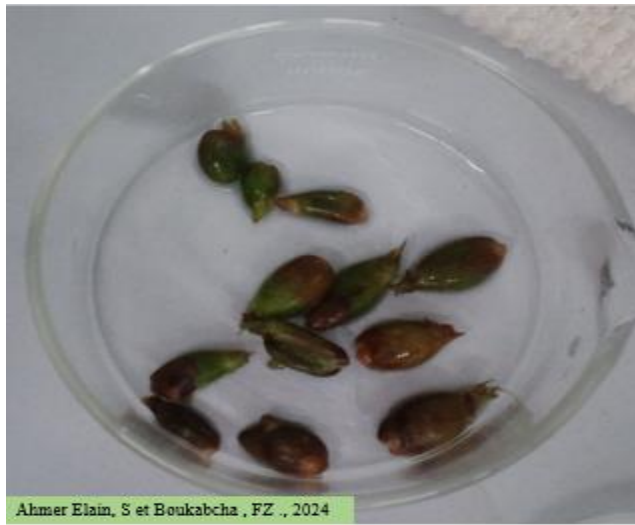


Figure 29 : Graines *P. oceanica*.

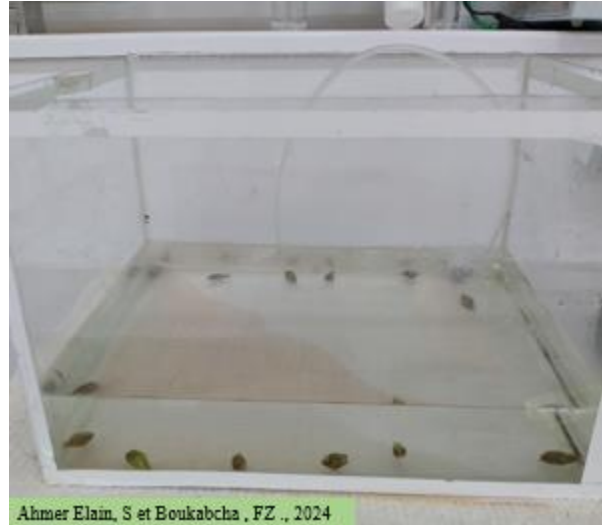


Figure 30 : Aquarium oxygéné contenant les graines de *P. oceanica*.

Cette étape de stockage permet de maintenir des conditions optimales en termes de température, salinité et oxygénation, garantissant ainsi l'intégrité des échantillons. Les conditions de culture en aquarium pendant la période des essais ont été les suivantes (Alagna *et al.*, 2010) :

- Flux d'eau : Ouvert / Fermé
- Température : 20-22 °C
- Densité : 12 graines
- Lumière : 64-89 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

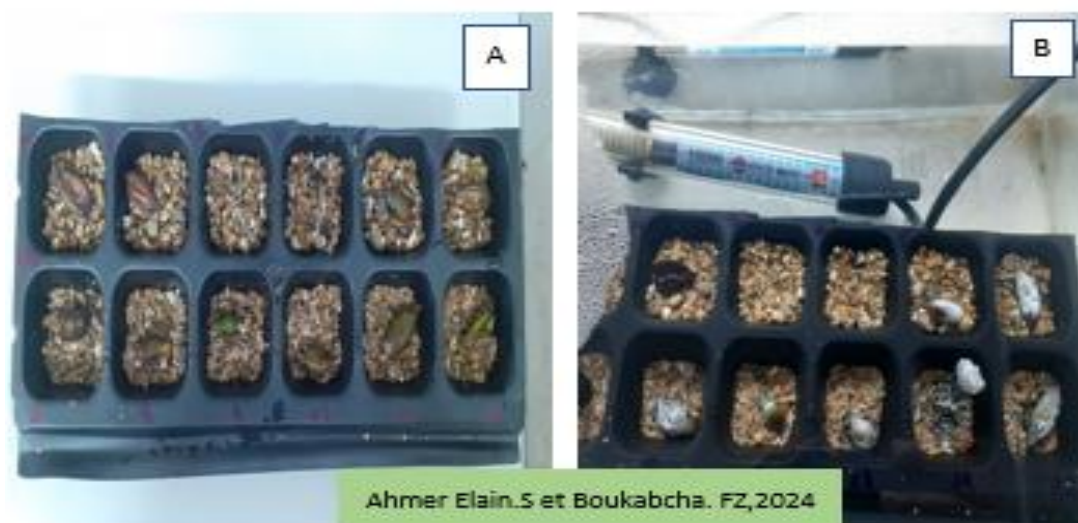


Figure 31 : Photos montrant des graines saines(A) et des graines détériorées couvertes d'une pellicule blanche (B).

En plus de la détérioration générale, un noircissement progressif des graines a été observé au fil des jours, suggérant un début possible de contamination. Par ailleurs, certaines graines présentaient des signes de moisissure, probablement causés par des conditions de transport et de conservation inadéquates. Nous avons donc pris la décision de rechercher l'origine de cette détérioration, avec l'aide de l'ingénieur de laboratoire M. Djerrai, en effectuant des analyses microbiologiques pour caractériser la cause de cette contamination. Les résultats ont détecté la présence de coliformes fécaux, de coliformes totaux, ainsi que de champignons (Annexe 3), indiquant un niveau de contamination important. Par conséquent, cette méthode de restauration initialement prévue a été abandonnée.

2.6.6 Le suivi de la restauration du *Posidonia oceanica*

- le Taux de survie des faisceaux transplantés : Ce taux est souvent mesuré en comparant le nombre de faisceaux vivants immédiatement après la transplantation et à intervalles réguliers (Balestri *et al.* 2003).

- la densité des faisceaux et des rhizomes : La densité des faisceaux de feuilles est un indicateur crucial de la santé de la prairie. Une densité élevée suggère une bonne adaptation au nouvel environnement. De plus, la densité des rhizomes, qui sont les structures souterraines de la plante, est un indicateur de la capacité de la prairie à se développer et à se régénérer (Molenaar et Meinesz.,1995)

- Présence d'espèces associées : Les prairies de *Posidonia oceanica* abritent une riche biodiversité. Le suivi de la présence et de l'abondance des espèces associées, comme certains mollusques, crustacés, et poissons, est essentiel pour évaluer la fonction écologique de la prairie transplantée (Francour *et al.*, 1999).

- État des herbiers transplantés par rapport aux herbiers naturels : Comparer l'état des herbiers transplantés avec celui des herbiers naturels situés à proximité permet de vérifier si les conditions du site de transplantation sont adéquates et si les faisceaux transplantés se développent de manière comparable à un herbier naturel. (Giraud, 1979)

Résultats et discussions



3.1 Cartographie et description du récif barrière à *P. oceanica*

L'utilisation du logiciel ArcGIS 10. 8 et d'une image satellitaire géoréférencée obtenue via SAS Planète a permis de cartographier avec précision les contours du récif barrière à *P. oceanica* (Figure 32). Les mesures de la hauteur de la matte effectuées au niveau des différents points indiqués sur la figure 32 montrent que la hauteur de celle-ci varie considérablement, allant de 15 à 70 cm (Tableau 1, Figure 33). Les résultats montrent que l'édification de la matte semble plus importante au niveau du côté est que du côté ouest du récif barrière. Ces variations semblent être influencées par plusieurs facteurs environnementaux, notamment les courants marins et l'apport en sédiments [Pergent et Pergent-Martini, 1990] .

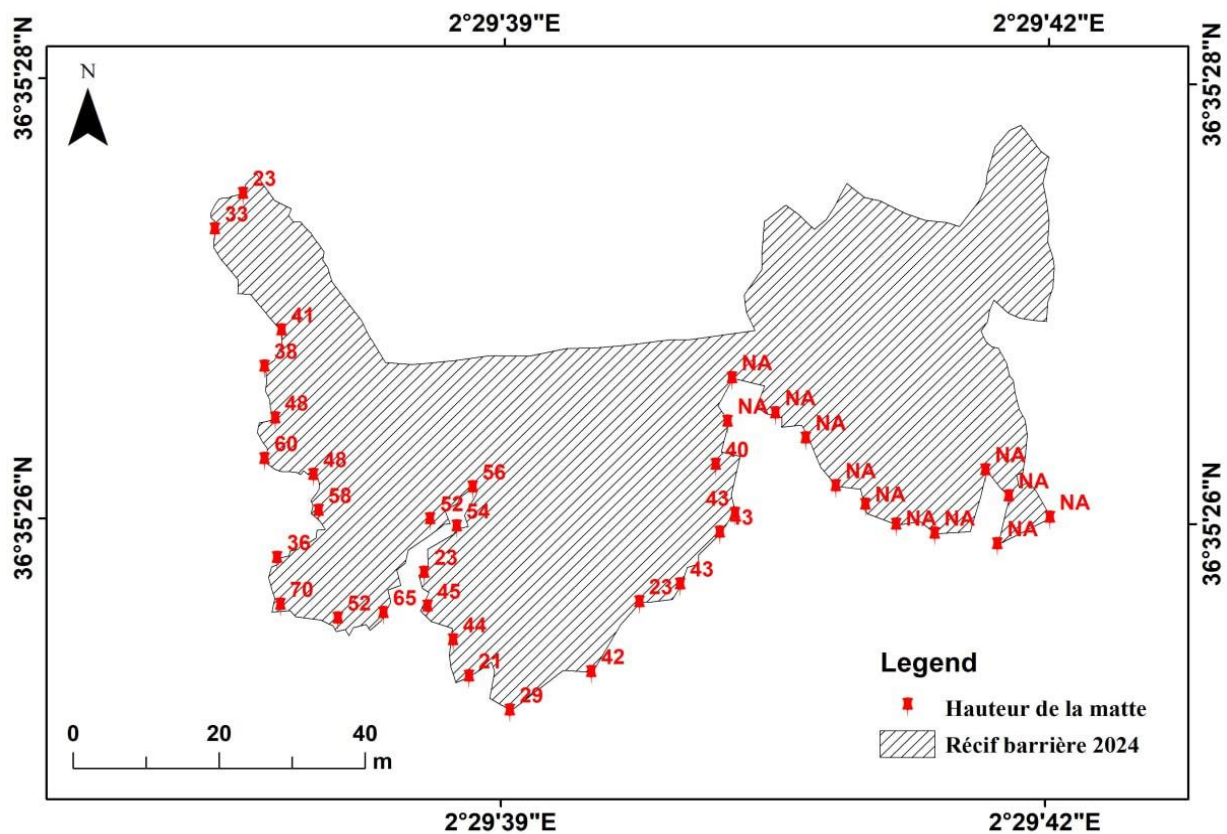


Figure 32 : Cartographie des contours du récif barrière. Les numéros indiquant les points de mesure de la hauteur de la matte.

Tableau 1 : Valeurs des hauteurs de matte mesurées au niveau des différents points du récif barrière.

Numéros des différents points de mesure	Hauteur de la matte (cm)	Numéros des différents points de mesure	Hauteur de la matte (cm)
1	33	12	54
2	32	13	56
3	28	14	52
4	35	15	65
5	21	16	52
6	31	17	70
7	17	18	36
8	20	19	58
9	15	20	48
10	19	21	60
11	41	22	48



Figure 33 : Photo montrant un point de mesure de la hauteur de la matte.

Ce travail de cartographie nous a également permis d'estimer les surfaces occupées par *P. oceanica* et celles occupées par la matte morte. (Figure 34).

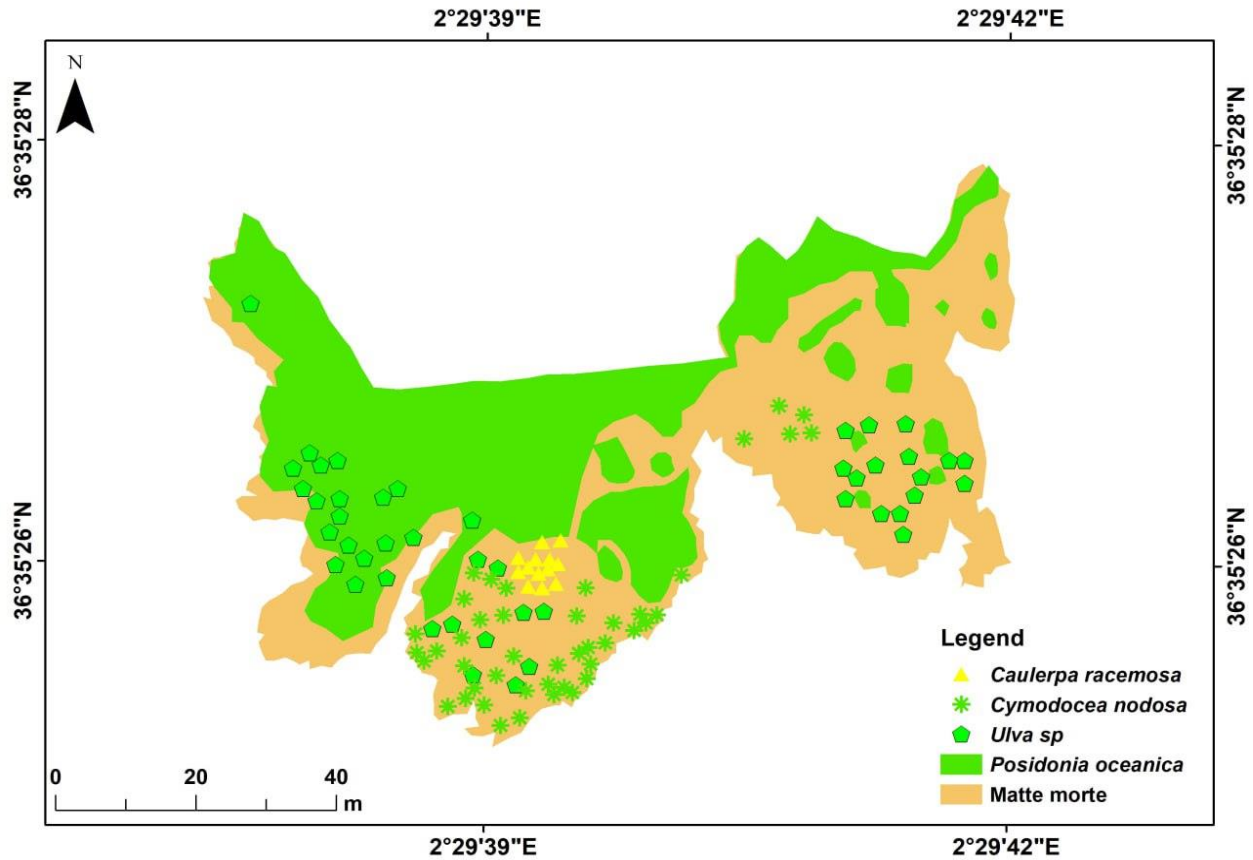


Figure 34 : Cartographie biocénotique du récif barrière à *P. oceanica* de l'anse de Kouali.

La carte obtenue montre une expansion de la surface occupée par des Posidonie vivantes comparativement à celle estimée par Bamehammed et Naimi en 2012 ; à l'anse de Kouali, avec une surface passant de 1785 m² en 2012 à 2193 m² en 2024. En parallèle, une diminution des surfaces occupées par la matte morte – essentiellement occupée par *Cymodocea nodosa* et *Caulerpa Cylindracea* - ont diminuées en 2024 passant ainsi à 2379 m² contre 2875 m² estimée en 2012. Cette tendance, reflète une lente recolonisation après la régression observée en 2012 suite aux rejets drainés au niveau du cours d'eau central de l'anse de Kouali. Cependant, l'invasion accrue par l'espèce invasive *Caulerpa cylindracea* et la présence d'*Ulva* sp au niveau du font interne du récif barrière ainsi que de sa partie centrale indiquent une pression environnementale persistante pouvant à terme étouffer *P. oceanica* et perturber cet écosystème fragile, comme rapporté par Cabioch *et al.*, (2002) et Boukourt, (2015). Bonhomme et al. 2015 ont qualifié le récif barrière de l'anse de Kouali d'un Récif Barrière avec Lagon de Matte, on se basant sur les travaux de Molinier et Picard 1952, Le Gall 1969 et Boumaza 1995. Les observations que nous

avons faites lors de nos sorties sur le terrain confirment la typologie établie par Boudouresque et al. En 2014, Bonhomme et al. En 2015 et Rouanet et al. En 2022.

3. 2 Caractérisation de la vitalité du récif barrière

3.2.1 Paramètres phénologique et de biomasse

Les paramètres biométriques constituent de bons indicateurs de la transparence de l'eau (Ruiz et Romero, 2003), de l'enrichissement du milieu (Leoni *et al.*, 2006) et de la pollution par les rejets urbains et industriels (Balestri *et al.*, 2003). De ce fait, ils font partie des descripteurs utilisés en routine pour rendre compte de la vitalité de *P. oceanica* (Pergent-Martini *et al.*, 2005).

Les différents paramètres biométriques mesurés lors de cette étude au niveau des stations SFI et SFE sont comparés à ceux obtenus par Boumaza (1992) qui a utilisé les mêmes protocoles que ceux utilisés dans le cadre de cette étude, et ce, afin de déterminer la dynamique évolutive du récif barrière de l'anse de Kouali en ce qui concerne sa vitalité (Tableau 2,3)

3.2.1.1 Au niveau du Front interne (SFI)

La surface foliaire, considérée comme un paramètre synthétique de la plante, dans la mesure où il intègre l'ensemble des paramètres biométriques mesurés (longueur, largeur et nombre de feuilles), montre une augmentation significative en 2024 comparativement à 1992 la fois pour les feuilles adultes et les feuilles intermédiaires. En ce qui concerne la surface foliaire des feuilles adultes, cette augmentation est à mettre en lien avec une augmentation significative de la longueur et de la largeur des feuilles. Tandis que pour la surface des feuilles intermédiaires, une augmentation de leur nombre est également notée en plus de la longueur et de la largeur.

Tableau 2 : Paramètre phénologiques et de biomasses mesurées au niveau de la station SFI en 2024 et 1992. Les valeurs correspondent à la moyenne \pm écart-type. Pour chaque paramètre, la dernière colonne indique si la différence entre les 2 années est significative (***) $p < 0.01$; * $p < 0.05$) ou non (ns)

SFI	Présente étude (2024)	Boumaza (1992)	
Nombre de feuilles adultes	2.53 ± 0.92	3.60 ± 0.68	***
Nombre de feuilles intermédiaires	2.07 ± 0.80	1.15 ± 0.37	***
Longueur des feuilles adultes (mm)	357.79 ± 156.25	222.85 ± 51.98	**
Longueur des bases (mm)	28.45 ± 10.24	13.24 ± 2.09	***
Longueur des feuilles intermédiaires (mm)	282.26 ± 152.01	130.13 ± 55.70	**
Largeur des feuilles adultes (mm)	8.87 ± 0.77	7.80 ± 0.70	***
Largeur des feuilles intermédiaires (mm)	8.45 ± 1.10	7.41 ± 0.67	**
Coefficient A des feuilles adultes (%)	76.32 %	55.56 %	/
Coefficient A des feuilles intermédiaires (%)	3.33 %	4.35 %	/
Surface foliaire des feuilles adultes (cm ²)	32.50 ± 16.57	17.54 ± 4.86	**
Surface foliaire des feuilles intermédiaires (cm ²)	25.04 ± 16.48	9.72 ± 4.36	**
Biomasse des feuilles adultes (g)	0.5 ± 0.36	0.35 ± 0.11	ns
Biomasse des feuilles intermédiaires (g)	0.23 ± 0.13	0.06 ± 0.03	***
Biomasse des épiphytes des feuilles adultes (mg)	168.07 ± 509.29	107.37 ± 72.55	ns
Biomasse des épiphytes des feuilles intermédiaires (mg)	4.68 ± 4.54	1.10 ± 1.54	**

Quant à la biomasse des feuilles adultes, les résultats ne montrent pas de différence significative entre les 1992 et 2024. Cependant, pour les feuilles intermédiaires, une augmentation significative de leur biomasse est observée en 2024 ($0,23 \pm 0,13$ g) par rapport à 1992 ($0,06 \pm 0,03$ g). Pour ce qui est de la biomasse des épiphytes, seule celle des feuilles intermédiaires a augmenté de manière significative, passant de $1,10 \pm 1,54$ mg en 1992 à $4,68 \pm 4,54$ mg en 2024.

Le coefficient A révèle un broutage plus intense sur les feuilles adultes, il passe de 55,56 % à 76,32 %, tandis que celui des feuilles intermédiaires a légèrement diminué (Tableau 3).

Synthèse des résultats et discussion

Un des résultats marquant de cette étude au niveau de la station SFI est l'augmentation du nombre de feuilles intermédiaires en 2024 comparativement à 1992. Le maintien du nombre de jeunes feuilles, se retrouve lorsque la plante est confrontée à une diminution de l'intensité lumineuse résultant de l'augmentation de la profondeur ou de la turbidité (Dalla Via *et al.*, 1998 ; Boumaza, 2015). En effet, l'augmentation de la turbidité au sein du site suite aux divers rejets charriés par le cours d'eau est à même d'entraîner ce type de réaction chez *P. oceanica*.

L'augmentation de la surface foliaire des feuilles adultes et intermédiaires est concomitante avec une diminution de la densité observée *in situ* (Boumaza, comm. Pers.) a déjà été rapportée par Gobert (2002), lors d'un suivi pluriannuel dans la baie de Calvi. Cette relation pourrait correspondre à une stratégie de croissance de *P. oceanica* par rapport aux ressources disponibles, notamment la lumière (Marbà et Duarte, 2003).

Quant à l'augmentation de biomasse des épiphytes en 2024, elle fait suite à l'augmentation de l'enrichissement du milieu en éléments nutritifs, suite aux rejets drainés par le cours d'eau, qui entraîne une augmentation de la biomasse algale comme rapporté par Boumaza (2015), et ce particulièrement en été lorsque la lumière et la température sont à leur maximum. Cette augmentation de la biomasse des épiphytes est à même d'expliquer l'augmentation du coefficient A de Giraud des feuilles adultes enregistré en 2024, tendance généralement rapportée dans la littérature (Leoni *et al.*, 2006 ; Boumaza, 2015).

3.2.1.2 Au niveau du Front externe (SFE)

Les analyses des résultats obtenus montrent une diminution significative de la surface foliaire des feuilles adultes et intermédiaires en 2024 comparativement à 1992 et par conséquent la même tendance est observée pour la biomasse de ces 2 catégories de feuilles. Cette diminution fait suite à une diminution notable du nombre de feuilles adultes et à une diminution de la longueur des

feuilles intermédiaires. Quant à la biomasse des épiphytes des feuilles adultes celle-ci a également diminué, tandis que pour les feuilles intermédiaires aucune différence significative n'est enregistrée.

Quant au coefficient A de Giraud, seul celui des feuilles intermédiaires a montré une augmentation notable.

Tableau 3 : Paramètres phénologiques et de biomasses mesurées au niveau de la station SFE en 2024 et 1992. Les valeurs correspondent à la moyenne \pm écart-type. Pour chaque paramètre, la dernière colonne indique si la différence entre les 2 années est significative (***) $p < 0.01$; * $p < 0.05$) ou non (ns).

SFE	Présente étude (2024)	Boumaza (1992)	
Nombre de feuilles adultes	2.67 \pm 0.62	3.55 \pm 0.69	***
Nombre de feuilles intermédiaires	1.40 \pm 0.51	1.05 \pm 0.23	*
Longueur des feuilles adultes (mm)	621.79 \pm 208	734.57 \pm 137.97	ns
Longueur des bases (mm)	44.37 \pm 11.53	35.71 \pm 6.49	*
Longueur des feuilles intermédiaires (mm)	520.43 \pm 233.84	739.97 \pm 251.36	*
Largeur des feuilles adultes (mm)	9.54 \pm 0.67	9.95 \pm 0.56	ns
Largeur des feuilles intermédiaires (mm)	9.30 \pm 0.82	9.41 \pm 0.48	ns
Coefficient A des feuilles adultes (%)	70	88.73	/
Coefficient A des feuilles intermédiaires (%)	15.79	8.45	/
Surface foliaire des feuilles adultes (cm ²)	60.26 \pm 22.83	73.43 \pm 16.35	*
Surface foliaire des feuilles intermédiaires (cm ²)	48.81 \pm 24.41	69.93 \pm 25.53	*
Biomasse des feuilles adultes (g)	0.92 \pm 0.45	1.25 \pm 0.42	*
Biomasse des feuilles intermédiaires (g)	0.26 \pm 0.11	0.34 \pm 0.30	ns
Biomasse des épiphytes des feuilles adultes (mg)	52.75 \pm 63.23	122.38 \pm 95.53	*
Biomasse des épiphytes des feuilles intermédiaires (mg)	2.45 \pm 02.65	1.84 \pm 1.61	ns

Synthèse des résultats et discussion

Les principales observations découlant de la comparaison de nos résultats à ceux de Boumaza (1992) sont similaires à celles observées au niveau de la station SFI, en ce qui concerne le nombre de feuilles. Inversement, une diminution de la surface foliaire des feuilles adultes et intermédiaires est observée, cette réponse différentielle à l'enrichissement du milieu a déjà été observée par Boumaza (2015) qui a comparé les réponses des paramètres biométriques de *P. oceanica* au niveau d'une station superficielle et d'une station profonde. La diminution de la surface foliaire est liée à la diminution de la longueur des feuilles adultes et intermédiaires. En effet, la diminution de la longueur des feuilles suite à l'augmentation de la turbidité ou de l'enrichissement est souvent rapportée dans la littérature. Cette diminution permettrait, d'une part, de réduire la demande en carbone pour la croissance, et d'autre part, de maximiser l'exposition des feuilles à la lumière, tout en réduisant la demande respiratoire des parties âgées de la plante, comme rapporté pour *Posidonia sinuosa* (Boumaza, 2015 et les références citées)

En revanche, l'augmentation de la biomasse des épiphytes sur les feuilles intermédiaires pourrait refléter un changement dans la composition des communautés épiphytiques, potentiellement influencé par des facteurs environnementaux différents selon Ballesteros (2007), ce qui pourrait expliquer l'augmentation du coefficient A de Giraud enregistré en 2024 pour cette catégorie de feuilles.

3.2.2 Paramètres lépidochronologiques

3.2.2.1 Nombre d'écailles par cycle

Les résultats relatifs à l'étude lépidochronologique de 2024, présentés dans la Figure 35, mettent en évidence des variations annuelles du nombre d'écailles par cycle et donc du nombre de feuilles produites annuellement pour les stations SFI et SFE entre 2018 et 2022.

Ces variations interannuelles sont généralement liées, d'une part, à des facteurs exogènes, tels que la lumière, l'hydrodynamisme et la température et d'autre part, à des facteurs endogènes, telle que la floraison (Pergent, 1988 ; Rico-Raimondino, 1995).

Néanmoins, es variations interannuelles ne semblent pas synchrones entre les 2 stations ; contrairement à ce qui a été observé en 2024 au niveau des mêmes stations. Cependant au regard du faible nombre d'échantillons relatifs à ces années lépidochronologiques traitées, cette tendance devra être confirmée en traitant un nombre plus important de faisceaux pour ne pas faire d'interprétation erronée.

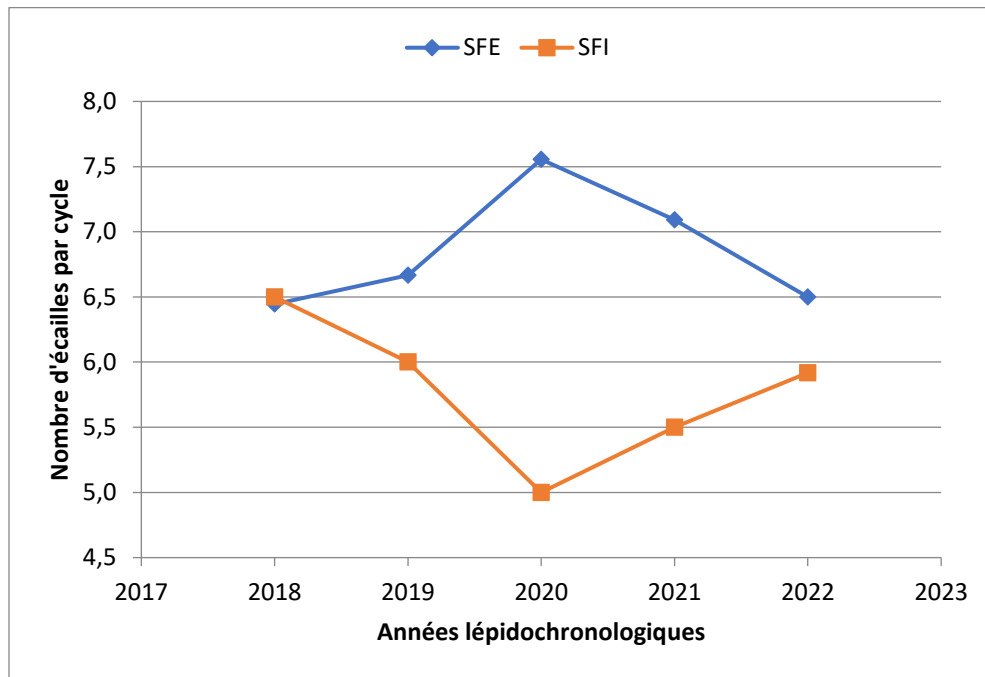


Figure 35 : Evolution du nombre moyen d'écaïlles par cycle dans l'ensemble des stations SFI et SFE

3.2.2.2. Vitesse de croissance de rhizomes

Les variations interannuelles de la vitesse de croissance des rhizomes semblent synchrones à celles de la production annuelle des feuilles. Cette tendance a été rapporté par Boumaza (1993) au niveau des mêmes stations et Pergent et Pergent-Martini (1994) en Corse. La production foliaire entraîne une augmentation de la croissance des rhizomes sur lesquels elles sont insérées.

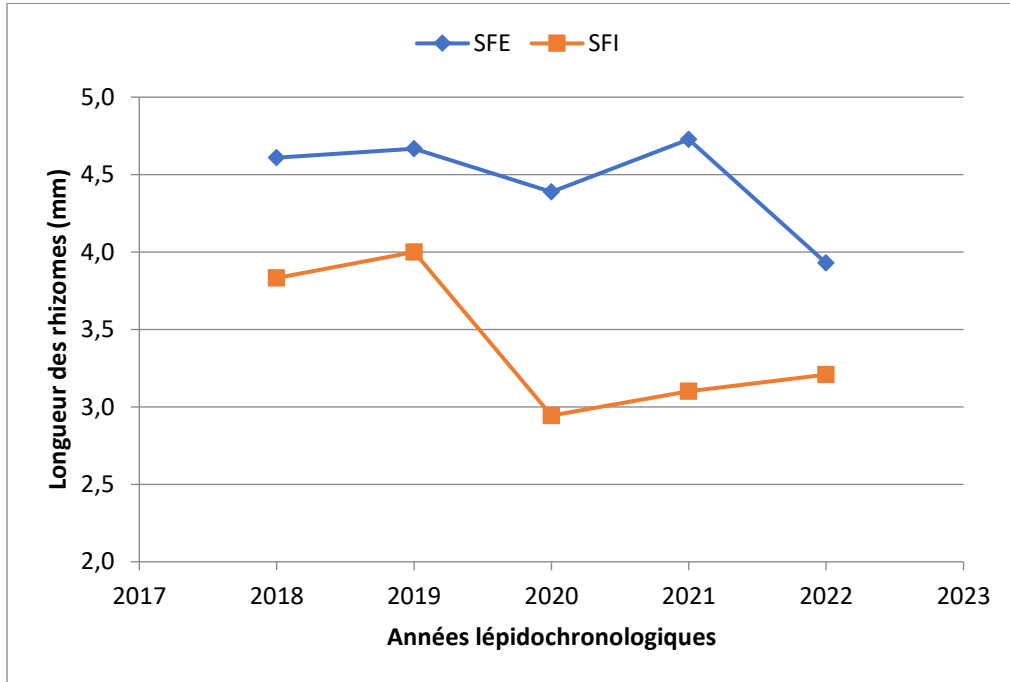


Figure 36 : Variations interannuelles de la longueur des rhizomes.

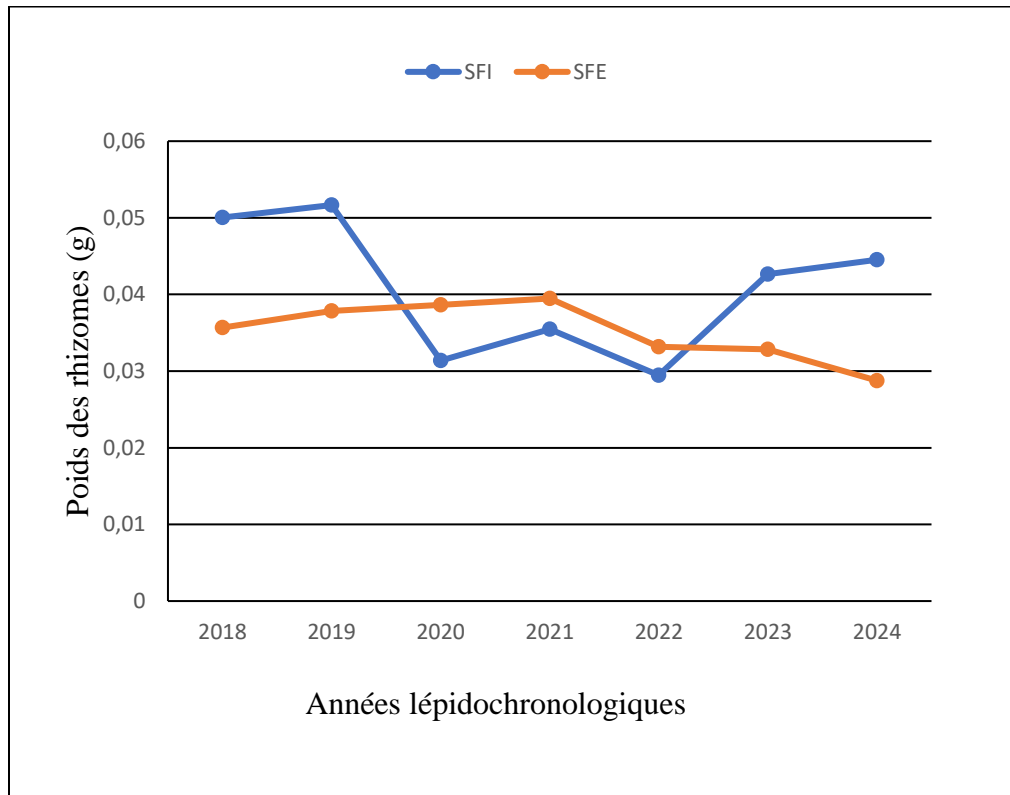


Figure 37 : les variations interannuelles de poids des rhizomes

Le résultat obtenu montre les variations de la production des rhizomes entre les stations SFI et SFE sur plusieurs années lépidochronologiques, reflétant ainsi les dynamiques de croissance et les différences environnementales entre les deux stations. Ces fluctuations sont conformes aux études antérieures qui ont démontré que la production des rhizomes est étroitement liée à la vitesse de croissance et aux conditions environnementales locales (BOUDOURESQUE et al., 1983; PERGENT, 1988).

Les travaux de BOUDOURESQUE et al. (1983) montrent également que la croissance des rhizomes peut être affectée par des processus biologiques internes, tels que l'allongement des rhizomes, qui ne se stabilise qu'après trois ans de croissance. Cela pourrait expliquer les fluctuations importantes observées dans les premières années à SFI. De plus, les études de SEMROUD (1993) et RICO-RAIMONDINO (1995) confirment que les conditions environnementales locales, comme la densité des faisceaux et les variations de sédimentation, peuvent avoir un impact significatif sur la production des rhizomes.

3.2.3 Analyse granulométrique du sédiment

Les résultats de l'analyse granulométrique correspondant à la moyenne des 3 répliques échantillonnées au niveau de l'intermatte au centre du récif barrière. (annexe 1). La courbe des fréquences cumulées est d'allure sigmoïde indiquant un seul stock sédimentaire (Figure 38). Les différents indices calculés sont comparés à ceux obtenus par Bamahammed et Naimi (2012) (Tableau 4).

Tableau 4: Comparaison des valeurs des indices granulométriques dans le sédiment de l'intermatte calculés en 2024 et 2012.

Indices	Présente étude (2024)	Bammhamed et Naimi (2012)
TM (μm)	0.28	0.39
S0	1.50	3.1
SKI	1.14	-0.33
DFI	0.12	0.22
FH	1.28	1.37

La taille moyenne (TM) qui permet de classer le sédiment, en allant du sable fin aux granules, indique que les valeurs obtenues en 2024 correspondent à des sables classés très fins tandis qu'en 2012 le sédiment correspondait à du sable fin.

L'indice S_o , révèle que les sédiments de 2024 sont moyennement classés, alors qu'en 2012 les sédiments étaient très mal classés

L'indice d'asymétrie (SKI) positif obtenu en 2024 indique une dominance des particules fines, alors que l'asymétrie négative obtenue en 2012 reflète des particules plus grossières.

Le triage (DFI) révèle que le sédiment est très bien trié en 2024, tout comme en 2012. Ces résultats indiquent que le sédiment de l'intermatte est constitué de particules de taille homogène.

Enfin, l'indice hydrodynamique (FH) présente des valeurs similaires pour les années 2024 et 2012 et correspondent à des sédiments peut être mis en mouvement selon Francour *et al.* (1991). Cette similitude suggère que les conditions hydrodynamiques sont restées relativement stables

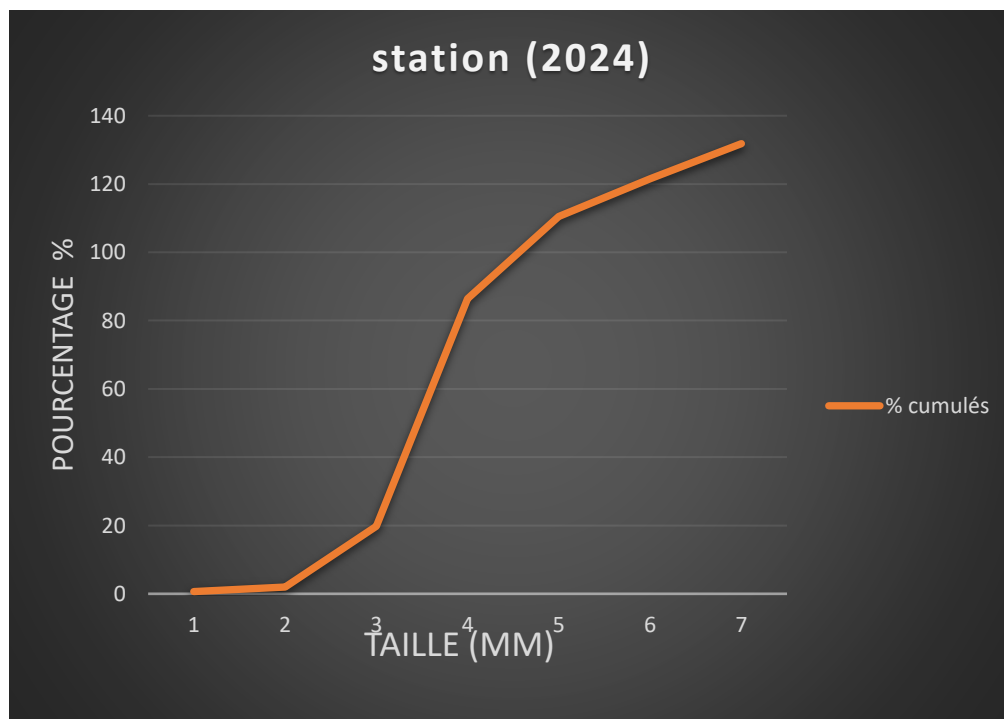


Figure 38 : Courbes de fréquences cumulées du sédiment de l'intermatte (2024).

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent une nette différence entre les deux périodes étudiées. En 2024, les sédiments sont classifiés comme du « sable très fin », conformément à la classification de Folk et Ward (1957), alors qu'en 2012, ils correspondaient à du sable grossier. Cette évolution peut refléter une diminution des apports sédimentaires grossiers, probablement en raison de modifications environnementales locales (Blott et Pye, 2001). De plus, l'indice de tri ($So = 1.50$ en 2024) suggère une meilleure uniformité des sédiments en comparaison avec ceux de 2012 ($So = 3.1$), indiquant un milieu plus stable et homogène (Blott et Pye, 2001).

L'asymétrie positive en 2024 ($SK = 1,20$) indique une prédominance des particules fines, ce qui peut être lié à une énergie hydrodynamique plus faible ou à un apport sédimentaire différent (Boggs, 2006). En revanche, l'asymétrie négative observée en 2012 ($SK = -0.33$) correspond à des particules plus grossières, cohérentes avec un environnement plus turbulent à cette époque (Bamahammed et Naimi, 2012). Enfin, le meilleur tri des sédiments enregistré en 2024 ($DFI = 0.12$) par rapport à 2012 ($DFI = 0.22$) pourrait suggérer une évolution vers une sédimentation plus uniforme, bien que les conditions hydrodynamiques globales semblent avoir peu changé, comme en témoigne l'indice FH similaire (Blott et Pye, 2001).

En outre, Les variations des taux de matière organique dans les sédiments observées entre les stations S1, S2, et S3 peuvent s'expliquer par divers facteurs environnementaux. Selon Duarte (1990), dans les zones où les courants marins sont faibles, la matière organique a tendance à s'accumuler, ce qui pourrait expliquer le taux plus élevé à la station S2 (3,7%). Inversement, les courants plus forts à la station S3 pourraient être responsables de son taux plus bas (3,1%).

La composition des sédiments influence également ces variations. Pergent et al. (1997) indiquent que les sédiments fins retiennent plus de matière organique, ce qui pourrait expliquer les différences entre les stations. De plus, la décomposition de la matière organique, influencée par l'activité microbienne (Romero et al., 1994), pourrait être plus intense à certaines stations, contribuant ainsi à des taux plus élevés.

Toutefois, des taux élevés de matière organique, comme à S2, peuvent réduire l'oxygénation des sédiments et affecter la faune benthique (Holmer et Bondgaard, 2001). Enfin, Waycott et al. (2009) ont noté que les herbiers marins, tels que ceux de *Posidonia oceanica*, sont des indicateurs sensibles des changements environnementaux, ce qui rend les variations observées dans les taux de matière organique pertinentes pour comprendre la santé de l'écosystème

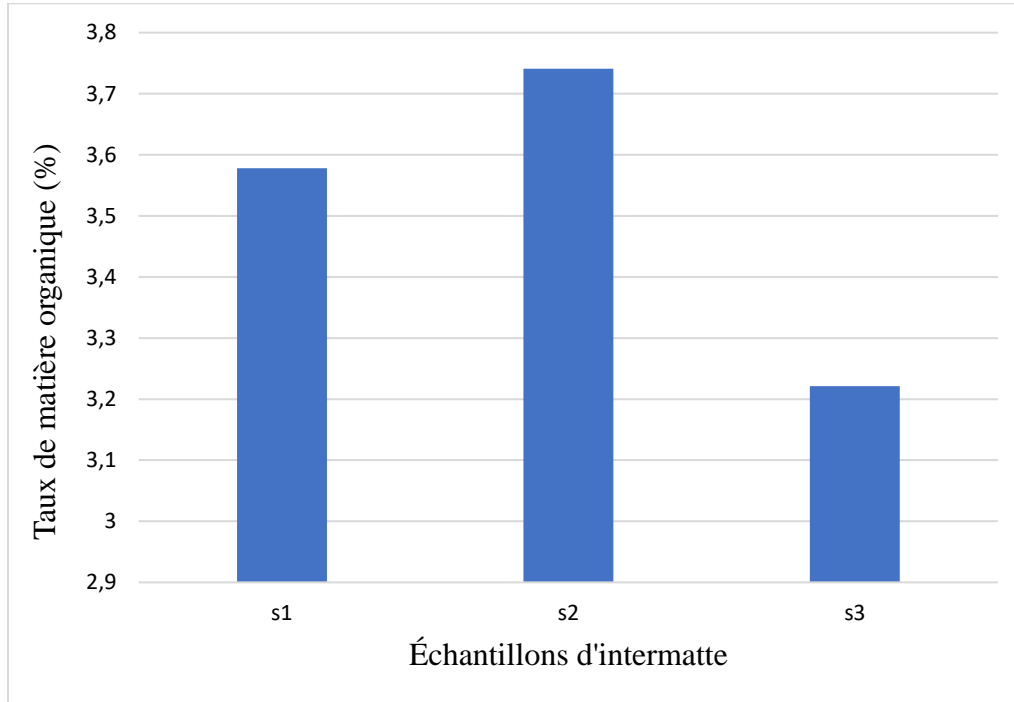


Figure 39 : les variations des pourcentages de taux de matière organique

3.3 Suivi des transplantations

Le suivi a été effectué essentiellement grâce à des photographies des grilles prises *in situ* lors de leur mise en place et comparées à celles prises lors des suivis. Le suivi a consisté à vérifier si chaque type de transplantation présentait toujours le même nombre des faisceaux foliaires bien vivants. Le calendrier de suivi est donné dans le tableau 5 :

Tableau 5 : Calendrier de suivi des méthodes de transplantation mises en œuvre dans le récif barrière de l'anse de Kouali.

Méthode de transplantation	10-06-2024	27-06-2024	02-07-2024
Sur nappe De plastique	La nappe a comporté 11 faisceaux en bonne santé et bien ancrés sur la matre morte.	Les faisceaux sont toujours en bonne santé avec un détachement de la nappe du substrat. Nous l'avons	Les faisceaux sont toujours en bonne santé avec la perte de 6 faisceaux et la détente de la nappe du substrat (Figure 41)

		resolidarisé à l'aide d'autres tuteurs.	
Sur nappe De Doum	/	La nappe a comporté de 14 faisceaux bien fixés sur la nappe et installée sur la matre morte.	La nappe a été retrouvée totalement détachée du substrat et déplacée de son emplacement d'origine, avec l'installation de plusieurs espèces (Figures 44). Les faisceaux ont été retirés de la nappe de Doum et replantés directement dans le substrat, après le retrait de la nappe. Une formation de racines (Figure 45) a été observée dans l'un des faisceaux (Figure 43)
Dans les cadres En béton	10 faisceaux ont été fixés sur grille du cadre.	Le cadre en béton a été retiré et retrouvé sur la plage. Nous avons remplacé un autre avec 15 faisceaux	Le deuxième cadre en béton malheureusement a été volé et nous n'avons pas pu le retrouver. La seule trace retrouvée est la plaque de signalisation (Figure 40)
Fixation des transplants directement sur Le substrat	/	/	Fixation de 14 faisceaux récupérés de la nappe de Doum à l'aide des tuteurs

Lors du suivi des transplants des faisceaux de *P. oceanica* transplantés sans racines, ont été retrouvés après un certain temps pourvus de racines (Figure 45), indiquant une réponse adaptative des boutures au nouvel environnement de transplantation. Les racines formées dans certains faisceaux étaient visiblement saines et bien ancrées dans le substrat, suggérant un enracinement réussi et la possibilité de survie à long terme des boutures.

Lors des suivis, certaines espèces étaient retrouvées à proximité des transplants

-L'oursin *Paracentrotus lividus* (Figure 44)

- L'anémone méditerranéenne *Anemonia sulcata* (Figure 44)

- Le poulpe (Figure 44)

Le suivi des transplants de *Posidonia oceanica* à court terme a montré des signes encourageants de succès, notamment grâce à des méthodes de transplantation soignées et un suivi rigoureux. Les taux de survie initiaux sont généralement élevés, bien que les conditions environnementales instables puissent parfois compromettre les résultats (Boudouresque *et al.*, 2012). Des études récentes montrent que les sites protégés, combinés à des pratiques de gestion durable, jouent un rôle crucial dans la réussite des projets de restauration des herbiers de *Posidonia oceanica* (Cabaço *et al.*, 2008)



Figure 40 : Cadre en béton retrouvé sur la plage.

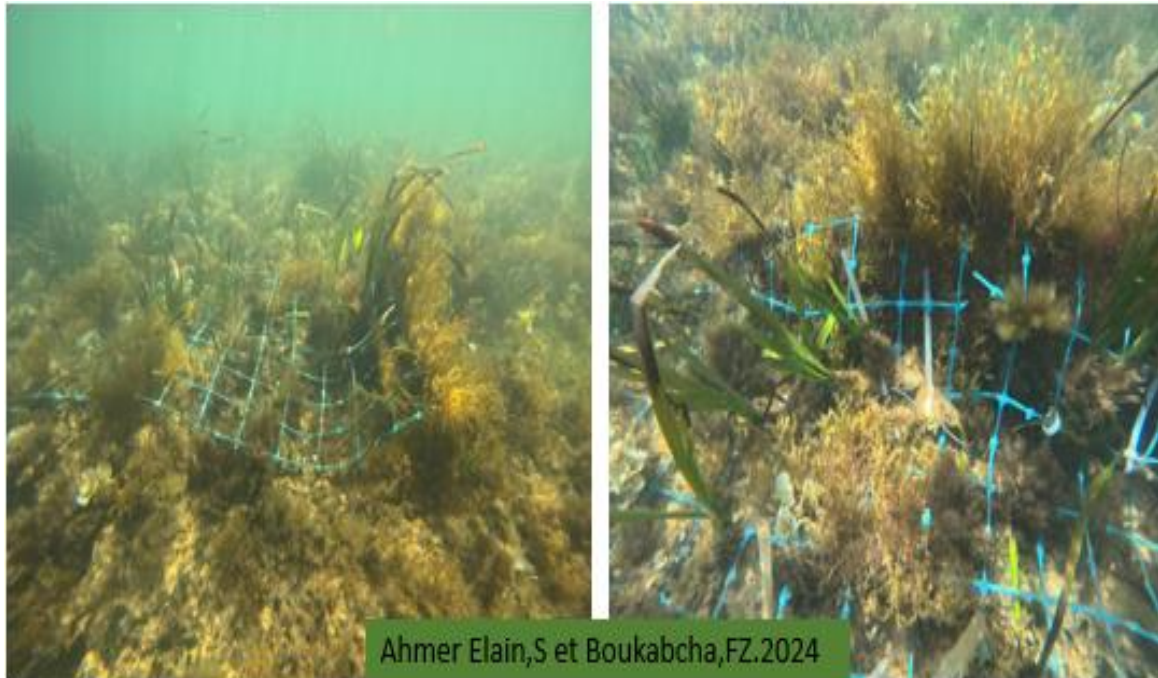


Figure 41 : La nappe en plastique détaché du substrat

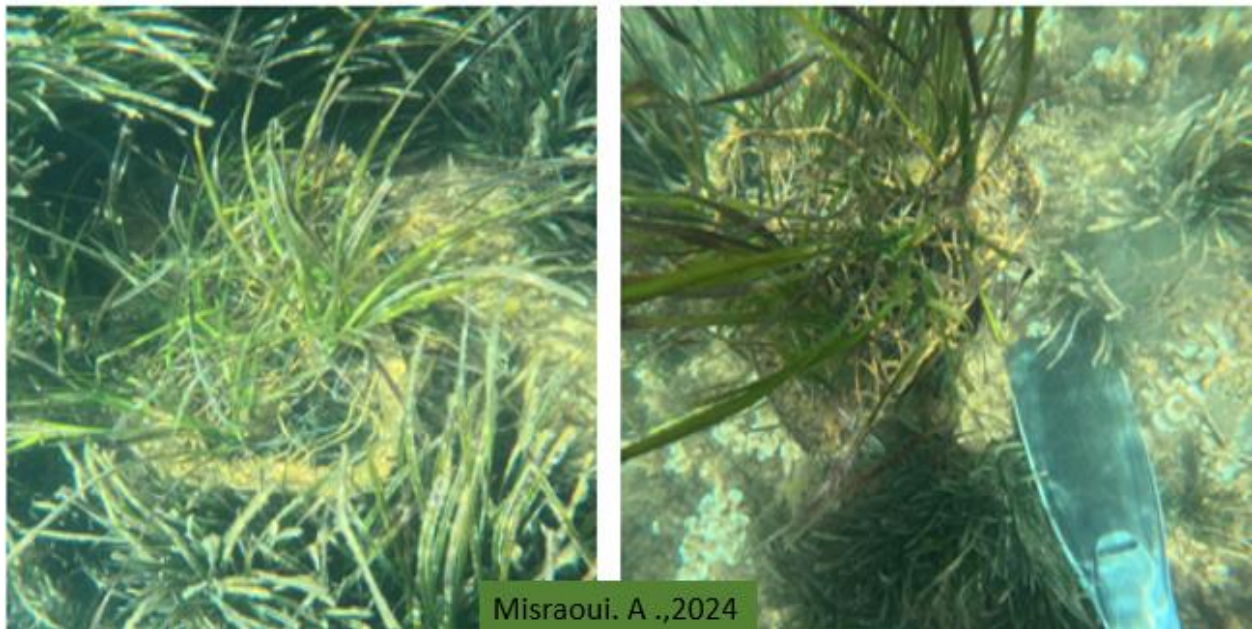


Figure 42 : la nappe de palmier nain Doum détachée du substrat



Figure 43 : Retirer des faisceaux de la nappe de doum pour les réimplanter directement sur le substrat.



Figure 44 : Les espèces retrouvées au niveau des transplants : (A) Poulpe, (B) *Padina pavonica* , (C)*Anemonia sulcata* (D) *Paracentrotus lividus* .



Figure 45 : Faisceau avec de nouvelle racines

Conclusion



CONCLUSION

Le présent travail a permis de réaliser un état des lieux du récif barrière de *P. oceanica* dans l'anse de Kouali. La présence de ce récif barrière qui conférait une valeur écologique, biologique et patrimoniale élevée à la zone d'étude montre malheureusement des signes de régression en termes de surface occupée comme en témoigne la comparaison des résultats de cartographie obtenus avec la cartographie réalisée en 2012. En effet, la surface de la matte morte est en nette progression comparativement à celle de l'herbier vivant

L'analyse phénologique a mis en lumière des variations significatives entre 1992 et 2024, en ce qui concerne celles enregistrées au niveau du front interne et du front externe du récif barrière. En effet, au niveau du front interne, qui correspond à la station la plus proche du rejet, montre l'une augmentation de la surface foliaire. Cette réaction de la plante semble constituer une réponse lorsqu'une diminution de la densité est observée. Quant à l'augmentation de la biomasse des épiphytes, elle est concomitante à un enrichissement du milieu suite aux rejets. En revanche, au niveau du front externe c'est une diminution notable de la longueur des feuilles qui a entraîné une diminution de la surface foliaire., La diminution de la longueur des feuilles suite à l'augmentation de la turbidité ou de l'enrichissement est souvent rapportée dans la littérature.

Par ailleurs, l'essai de réimplantation réalisé nous a permis d'acquérir la technique et de réaliser que la transplantation en zone superficielle, hormis le fait qu'elle soit plus aisée, pose des problèmes liés à l'hydrodynamisme, qui a tendance à désolidariser les structures de réimplantation du substrat mais également à l'incivisme des estivants qui à deux reprises ont arraché les structures en béton, qui étaient plus visibles ; et ce, malgré l'écriteau que nous avons installé spécifiant qu'il s'agit d'une expérience scientifique.

Quant aux chances de réussite des essais de transplantations que nous avons réalisés, même si nous restons optimistes, ne pourront être évalués que dans quelques années comme rapporté dans la littérature.

Références



Références bibliographiques

Addy, C.E. (1947). Eelgrass planting guide. Maryland conservationist, usa, vol. 24, p. 16-17.

Alagna, K.E., Peccerillo, A., Martin, S., & Donati, C. (2010). Tertiary to present evolution of orogenic magmatism in italy. In: m. Beltrando, a. Peccerillo, m. Mattei, s. Conticelli, & c. Doglioni (eds.), the geology of italy: tectonics and life along plate margins. Journal of the virtual explorer, electronic edition, issn 1441-8142, vol. 36, p. 18

Amarouche ,N.(2005). Contribution à l'étude de l'accumulation et de la mémorisation des métaux traces (hg, zn, cu) par *Posidonia oceanica* (linnaeus) delile dans la baie de bou ismail. (thèse de magister). Ecologie marine. Bab ezzouar : usthb,p . 140.

Augier, H., & Boudouresque, C. F. (1970). Végétation marine de l'île de port-cros (parc national). Vi.-le récif-barrière de posidonies. Vol. 30, n° 221, p. E228.

Balestri, E., Cinelli, F., Lardicci, C. (2003). Spatial variation in *Posidonia oceanica* structural, morphological and dynamic features in a northwestern mediterranean coastal area: a multi-scale analysis. Vol. 250, p. 60.

Ballesteros, E., Cebrián, E., Alcoverro, T. (2007). Mortality of shoots of *Posidonia oceanica* following meadow invasion by the red alga *lophocladia lallemandii*. Botanica marina, vol. 50, p.p. 8–13.

Bamahammed, L., & Naimi, M. (2012). Cartographie du récif barrière à *Posidonia oceanica* de l'anse de kouali. (mémoire de master). delly brahim : enssmal, p. 32.

Bell, J. D., & Harmelin-Vivien, M. L. (1982). Fish fauna of french mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. 1- community structure. Vol. 10, p.p. 337-347.

Bellan-Santini, D., & Picard, J. (1984). Conséquences de la régression des herbiers de posidonies pour le benthos animal des milieux méditerranéens. In international workshop on *Posidonia oceanica* beds. Marseilles: gis posidonie publ p.p. 423-429

Bellan-Santini, D., Lacaze, J.C., Et Poizat, C. (1994). Les biocénoses marines et littorales de méditerranée : synthèse, menaces et perspectives. Muséum national d'histoire naturelle, vol. 19, p. 246.

Bianchi, C.N. & Morri, C. (2000). Marine biodiversity of the mediterranean sea: situation, problems and prospects for future research. Marine pollution bulletin, vol. 40, n° 5, p.p. 367-376.

Blott, S. J., & Pye, K. (2001). Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth surface processes and landforms, vol. 26, n° 11, p.p. 1237-1248.

REFERENCES

- Boggs, S. (2006).** Principles of sedimentology and stratigraphy (4th ed.). Pearson prentice hall.
- Bonhomme, D., Boudouresque, C. F., Astruch, P., Bonhomme, J., Bonhomme, P., Goujard, A., & Thibaut, T. (2015).** Typology of the reef formations of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*, and the discovery of extensive reefs in the gulf of hyères (provence, mediterranean). Vol. 29, p.p. 41-73.
- Bonhomme, M.G., Gauthier-Lafaye, F., & Weber, F. (1982).** An example of lower proterozoic sediments: the francevillian in gabon. Précambrien recherche, mémoire de recherche. Centre de sédimentologie et géochimie de la surface, c.n.r.s. Université louis pasteur, 1 rue blessing, 67084 strasbourg cedex, france. p.p. 87-102.
- Boudouresque . C., Meinesz ,A .(1982) .** Découverte de l’herbier de posidonies . Cahier du parc national de port-cros 4, p . 79 .
- Boudouresque C,F., Bernard,G., Bonhomme,P., Charbonnel,E., Diviacco ,G., Meinesz ,A ., Pergent, G ., Pergent-Martini C., Ruitton S ., Tunesi, L.(2006) .** Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica* . Ramoge pub, p . 202
- Boudouresque, c.f., jeudy de grissac, a. (1983).** L'herbier à *Posidonia oceanica* en méditerranée : les interactions entre la plante et le sédiment. Journal de recherche océanographique, vol. 8, n° 2-3, pp. 99-122.
- Boudouresque, C. F., Verlaque, M. (2001).** Ecology of paracentrotus lividus. Developments in aquaculture and fisheries science. Elsevier. **Vol. 32, p.p.177-216.**
- Boudouresque, C. F., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., Diviacco, G., Meinesz, A., Tunesi, L. (2012).** *Protection and conservation of Posidonia oceanica meadows*. Monaco : RAMOGE and RAC/SPA, p. 202.
- Boudouresque, C.F., Ballesteros, E., Ben Maiz, N., Boisset, F., Bouladier, E., Cinelli, F., Cirik, S., Cormaci, M., Jeudy De Grissac, A., Laborel, J., Lanfranco, E., Lundberg, B., Mayhoub, H., Meinesz, A., Panayotidis, P., Semroud, R., Sinnassamy, J.M., Span, A. & Vuignier, G. (1990).** Livre rouge des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de méditerranée. Athènes : map technical reports series n°43, pnue, iucn & gis posidonie, p. 250
- Boudouresque, C.F., Meinesz, A., Ledoyer, M., Vitiello, P. (1994).** Les herbiers à phanérogames marines. In: les biocénoses marines et littorales de méditerranée: synthèse, menaces et perspectives. Bellan-santini, d., lacaze, j.c., poizat, c. (eds) ; paris : muséum national d'histoire naturelle publ , p.p. 98-118.
- Boudouresque, Charles F. (2014).** Insights into the diversity of the biodiversity concept. Sci. Rep. Port-cros natl. Park, vol. 28, n° 1, p. 65-86
- Boudouresque, C. F., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., Thibaut, T., & Verlaque, M. (2016).** The necromass of the *Posidonia oceanica* seagrass meadow: fate, role, ecosystem services and vulnerability. Hydrobiologia, 781, p.p. 25-42.

REFERENCES

- Boukourt, R. (2015).** Contribution à la cartographie des habitats marins dans le cadre d'une étude d'impact. Mémoire de magister. Gestion et surveillance du milieu marin et littoral. Alger : enssmal, p.p. 1-67.
- Boumaza, N. (1992).** Article sur l'administration locale et la culture. Territoires. Correspondance municipale, vol. 326, n° 1, p. 6-8.
- Boumaza, S. (1993).** La pollution marine et la protection des écosystèmes en méditerranée. Revue des sciences de l'environnement, vol. 12, n° 3, p.p. 145-160.
- Boumaza, S. (1995).** Phénologie, biomasse, lépidochronologie et production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de l'anse de kouali, tipaza (algérie). thèse de magister. Ecologie marine. Dely brahim. Enssmal, p. 154
- Boumaza, S. (2015).** Caractérisation d'un herbier à *Posidonia oceanica* soumis à des rejets d'effluents, thèse de doctorat. Ecologie marine. bab zouar, usthb. P. 112.
- Boumaza, S., Semroud, R. (2000).** evaluation of past and present primary production in *Posidonia oceanica* beds from the cove of kouâli (tipaza, algeria) using the lepidochronological method, vol. 7 n°2, p.p.26-30.
- Cabaço, S., Santos, R. & Duarte, C. M. (2008).** The impact of sediment burial and erosion on seagrasses: a review. Estuarine, coastal and shelf science, vol. 79, n° 3, p.p. 354-366.
- Cabioch, Guy, Pelletier, Bernard, Boré, Jean-Yves, Panché, Julien, Et Perrier, Jean-Michel (2002).** Campagne boisalis 1 : cartographie multifaisceaux et dragages des pentes du récif barrière est (poindimié) et sud-est (garo) de nouvelle-calédonie. Transport et débarquement du matériel de forage sur l'îlot bayes. Rapport de mission, document non publié. Nouméa : institut de recherche pour le développement (ird).
- Caye, G., Meinesz, A. (1992).** Analyse des modalités de la multiplication végétative et de la reproduction sexuée de *Posidonia oceanica* et de ses conséquences sur la constitution génétique des herbiers. rapp comm int mer médit, 33, 32.
- Caye, G. (1980).** Analyse du polymorphisme caulinaire chez *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Bull. Soc. Bot. Fr., lett. Bot., vol. 127, n° 3, p.p. 257-262.
- Charbonnel, E., Molenaar, H., Gravez, V. (1995).** Réimplantation de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* dans le golfe de marseille (bouches-du-rhône). Rapport final 1991-1995. Degt ville de marseille et gis posidonie publ., p.93.

REFERENCES

- Chessa, L. A., & Fresi, E. (1994).** Conservazione e gestione delle praterie di posidonia. In monbailliu, x. & torre, a. (éds). La gestione degli ambienti costieri e insulari del mediterraneo. Roma : edizioni del sole, p. 63.
- Cooper, L. A. (1976).** Demonstration of a mental analog of an external rotation. Perception & psychophysics, vol. 19, n° 4, p.p. 296-302.
- Dalla Via, J., Sturmbauer, C., Schönweger, G., Sötz, E., Mathekowitsch, S., Stifter, M., & Rieger, R. (1998).** Light gradients and meadow structure in *Posidonia oceanica*: ecomorphological and functional correlates. Marine ecology progress series, vol. 163, p.p.267-278.
- Dennison, W.C. & Alberte, R.S. (1986).** Photosynthetic responses of seagrasses to light and sediment burial. Journal of experimental marine biology and ecology, vol. 98, n° 3, p.p. 219-241.
- Drew, E.A. (1971).** Physiology of marine plants. In: c.b. Miller (ed.), marine ecology. New york : academic press, p.p. 101-120.
- Djaafri, M., Kalloum, S., Khelafi, M., Tahri, A., Salem, F., Kaidi, K., ... & Amahrouch, A. (2014).** Amélioration de la digestion anaérobie des déchets ménagers (déchets de restaurant) en utilisant un prétraitement physique. Revue des Energies Renouvelables, SIENR, vol .14, p.p.93-98.
- Ferrer-Gallego, P. P., Prado, P. (2015).** Socioeconomic valuation of seagrass ecosystem services: case study of a natura 2000 site in the spanish mediterranean. Ocean & coastal management, vol. 116, p.p. 80-92.
- Folk, R. L. (1954).** The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. The journal of geology, vol. 62, n° 4, p.p. 344-359.
- Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957).** Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of sedimentary research, vol. 27, n° 1, p. 3-26.
- Soltan, D., & Francour, P. (2000).** Système de surveillance des peuplements benthiques des étangs de Berre et de Vaïne: mise au point d'une nouvelle stratégie= Monitoring system of benthic macrophytes communities in Berre and Vaïne lagoons: development of a new strategy. Journal de Recherche Océanographique, p.p. 3-4.
- Francour, P. (1991).** The effect of protection level on a coastal fish community at scandola, corsica. Revue d'écologie, vol. 46, n° 1, p.p. 65-81.
- Francour, P., Harmelin-Vivien, M., Harmelin, J.G. & Duclerc, J. (1999).** Impact of caulerpa taxifolia on mediterranean fish assemblages: a five-year study. Marine ecology progress series, vol. 185, p.p. 297-307.

REFERENCES

- Le Gall, J. (1969).** Ecology of marine benthic algae. *Marine biology review*, vol. 45, n° 2, p.p. 115-136.
- Gambi, M., Nowell, A., & Jumars, P. (1990).** Flume observations on flow dynamics in *Zostera marina* (eelgrass) beds. vol. 61, p. 169.
- Giakoumi, S., Sini, M., Gerovasileiou, V., Mazor, T., Beher, J., Possingham, H.P., Abdulla, A., Cinar, M.E., Dendrinis, P., Gucu, A.C., Karamanlidis, A.A., Rodic, P., Panayotidis, P., Taskin, E., Jaklin, A., Voultziadou, E., Webster, C., Zenetos, A., Katsanevakis, S. (2013).** Ecoregion-based conservation planning in the mediterranean: dealing with large-scale heterogeneity. *Plos one*, vol. 8, n° 10, p.114
- Giraud, G. (1979).** Observations sur l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile autour de l'île d'ischia (italie). Vol. 113, n° 4, p. 274.
- Gobert, S. (2002).** Ecophysiologie de la posidonie (*Posidonia oceanica*) dans un contexte de pollution côtière. Thèse de doctorat. *Ecologie marine*. Liège : université de liège, p. 320.
- Holmer, M. & Bondgaard, E.J. (2001).** Photosynthetic activity and oxidative stress in seagrasses exposed to organic loading. *Marine ecology progress series*, vol. 218, p.p. 149-158.
- Larkum, A.W.D. (1976).** Ecology of botany bay. 1. Growth of *Posidonia australis* (brown) hook f. In botany bay and other bays of the sydney basin. *Austr. J. Mar. Freshwater res.*, vol. 27, p.p. 117-127.
- Leoni, V., Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Vela, A., & Pergent, G. (2006).** Morphological responses of *Posidonia oceanica* to experimental nutrient enrichment of the canopy water. Vol. 339, n° 1, p. 14
- Maggi, P. (1973).** Le problème de la disparition des herbiers à posidonies dans le golfe de giens (var). *Sci. Pêche*. Vol. 221, p.p. 7-20.
- Mahdjoub, M, A., Araour, L.(2020).** Recensement et cartographie des formations récifales des côtes algériennes. Mémoire d'ingénieur. *Biodiversité et gestion des écosystèmes*. Enssmal .p, 78
- Marbà, N. & Duarte, C.M. (2003).** Seagrass growth and survival as responses to increases in sediment nutrient content. *Marine ecology progress series*, vol. 261, p.p. 289-294.
- Meinesz, A., De Vaugelas, J., Hesse, B. & Mari, X. (1988).** Spread of the introduced tropical green alga *Caulerpa taxifolia* in northern mediterranean waters. *Marine ecology progress series*, vol. 44, p.p. 63-72.
- Meinesz, A., Molenaar, H., Bellone, E., & Loques, F. (1992).** Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. I. Effects of rhizome length and transplantation season in orthotropic shoots. *Marine ecology*, vol. 13, n° 2, p.p. 163-174.

REFERENCES

- Misraoui, A., Boumaza, S., Sengouga, A., Semroud, R., Mokrane, Z. (2023).** State of knowledge of the *Posidonia oceanica* barrier reefs in Algeria. 4th International Workshop Biodiversity and Management of Exploited Ecosystems. Dely Brahim Algeria.
- Molenaar, H. & Meinesz, A. (1995).** Survival and colonization of the tropical alga caulerpa taxifolia in the mediterranean sea. Marine pollution bulletin, vol. 30, n° 6, p.p. 420-429.
- Molenaar, H. (1992).** Etude de la transplantation de boutures de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Modélisation de l'architecture et du mode de croissance (thèse de doctorat). Université nice sophia-antipolis, france, 221 p.
- Molenaar, H., Meinesz, A. (1992).** Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. Ii. Effects of depth changes on transplanted orthotropic shoots. Mar. Ecol. Prog. Ser., vol. 13, n° 2, p.p. 175-185.
- Molenaar, H., Meinesz, A., Caye, G. (1993).** Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. Survival and development in different morphological types of transplanted cuttings. Bot. Mar., vol. 36, p.p. 481-488.
- Molinière, J., Picard, J. (1952).** Études biologiques sur les herbiers de phanérogames marines à l'ouest d'Alger. Bull. Trav. Stat. Aquic. Pêchecastiglione, n.s., 4, p.p. 1-34
- Nguyen, N.V. (2005).** Coastal habitat degradation in southeast Asia. Journal of coastal management, vol. 33, n° 3, p. 105-112.
- Pasqualini, S., Batini, P., Ederli, L., Porceddu, A., Piccioni, C., De Marchis, F., & Antonelli, M. (2001).** Effects of short-term ozone fumigation on tobacco plants: response of the scavenging system and expression of the glutathione reductase. Plant, cell and environment, vol. 24, n° 2, p.p. 245-252.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Clabaut, P., Pergent, G. (1998).** Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side scan sonar: application off the island of Corsica (France). Estuarine, coastal and shelf science. Vol. 47, n° 3, p.p. 359-367.
- Pergent, G. (1987).** Recherches lépidochronologiques chez *Posidonia oceanica* (Potamogetonaceae). Fluctuations des paramètres anatomiques et morphologiques des écailles des rhizomes. Thèse de doct. Océanol., univ. Aix-Marseille II, Fr., p.p. 1-853.
- Pergent, G. (1990).** Lepidochronological analysis of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: a standardized approach, aquatic botany, vol. 37, n° 1, p. 54.
- Pergent, G. Et Pergent-Martini, C. (1990).** Some applications of lepidochronological analysis in the seagrass *Posidonia oceanica*. Vol. 33, n° 4, p.p. 299-310.
- Pergent, G., & Pergent-Martini, C. (1991).** Leaf renewal cycle and primary production of *Posidonia oceanica* in the bay of Lacco Ameno (Ischia, Italy) using lepidochronological analysis. Aquatic botany, vol. 42, n° 1, p.p. 49-66.

REFERENCES

- Pergent, G., & Pergent-Martini, C., Bouderesque, C. (1995).** Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en méditerranée: état des connaissances. Vol. 54, p. 3-27
- Pergent-Martini, C., André, S., Castejon, I., Deter, J., Frau, F., Gerakaris, V., Mancini, G., Molenaar, H., Montefalcone, M., Oprandi, A., Pergent, G., Poursanidis, D., Royo, L., Terrados, J., Tomasello, A., Ventura, D., Villers, F. (2024).** Guidelines for *Posidonia oceanica* restoration. Rapport d'activité, document non publié. Paris : french biodiversity agency (ofb) & university of corsica pasquale paoli (ucpp).
- Pergent-Martini, C., Borum, J., Brun, F. G., Franco, J., Pergent, G. (2019).** Changes in mediterranean seagrass depth range at its shallow limits. Aquatic botany, vol. 156, p.p. 1-7.
- Pergent-Martini, C., Leoni, V., Pasqualini, V., Ardizzone, G.D., Balestri, E., Bedini, R., Belluscio, A., Belsher, T., Borg, J., Boudouresque, C.F., Bouquegneau, J.M., Buia, M.C., Calvo, S., Cebrian, J., Cebrian, E., Charbonnel, E., Cinelli, F., Cossu, A., Di Maida, G., Dural, B., Francour, P., Gobert, S., Lepoint, G., Meinesz, A., Molenaar, H., Mansour, H.M., Panayotidis, P., Peirano, A., Pergent, G., Piazzzi, L., Pirrotta, M., Relini, G., Romero, J., Sanchez-Lizaso, J.L., Semroud, R., Sembri, P., Shili, A., Tomasello, A., Velimirov, B. (2005).** Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: use and application. Ecological indicators, vol. 5, n° 3, p.p. 213-230.
- Pergent-Martini, C., Rico-Raimondino, V., & Pergent, G. (1994).** Primary production of *Posidonia oceanica* in the mediterranean basin. Marine biology, vol. 120, p.p. 9-15.
- Piazzzi, L., Balestri, E., & Cinelli, F. (2000).** Grazing of inflorescences of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Marine ecology progress series, vol. 196, p.p. 581-584.
- Piazzzi, L., Balestri, E., Magri, M., & Cinelli, F. (1998).** Experimental transplanting of *Posidonia oceanica* (L.) Delile into a disturbed habitat in the mediterranean sea. Marine ecology progress series, vol. 150, p.p. 593-602.
- Piazzzi, L., Cinelli, E. (1995).** Restoration of the littoral sea bottom by means of transplantation of cuttings and sprouts. In:cinelli, f., fresi, e., lorenzi, c., mucedola, a. (eds) (1995). *Posidonia oceanica*, a contribution to the preservation of a major mediterranean marine ecosystem. Revista marittima publ., roma, p.p. 69-71.
- Pnue /PAM-Car/Asp (2001).** Rapport sur l'état de la biodiversité marine. Rapport d'activité, document non publié. Tunis : pnue.
- Procaccini, G., Dattolo, E., Ruocco, M. (2003).** Genetic diversity and connectivity in the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: state of art and future directions . Cahiers de biologie marine , 64 , p.p : 105-114

REFERENCES

- Rabouh, M. (1997).** Contribution à l'étude qualitative et quantitative de la flore épiphyte des feuilles de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) delile de l'anse de kouali (tipaza). (Thèse de doctorat). Écologie marine. Enssmal. Alger, p. 110
- Rico, G. & Pergent, G. (1990).** Ecologie de la posidonie : relations entre l'espèce et l'environnement. Bulletin de la société botanique de France, vol. 137, n° 3, p.p. 225-237.
- Rico-Raimondino, V. (1995).** Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à *Posidonia oceanica*. Thèse de doct. D'écologie, univ. Aix-marseille ii, fr., p.p. 1-248.
- Romero, J., Pérez, M., Mateo, M.A. & Sala, E. (1994).** The belowground organs of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* as a biogeochemical sink. Aquatic botany, vol. 47, n° 1, p.p. 13-19.
- Rouanet, E., Schohn, T., Pergent, G. (2022).** Atlas des formations récifales à *Posidonia oceanica* en méditerranée française: explorations des roches et canyons sous-marins des côtes françaises. Marseille. Gis posidonie, p. 75
- Ruiz, J.M., & Romero, J. (2003).** Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. Vol. 46, n° 12, p. 1533.
- Seguini, R. & Naceur, H. (1996).** Effets des contaminants marins sur les écosystèmes de la région méditerranéenne. Actes du colloque sur la protection de la méditerranée, tunis, p.p. 87-102.
- Semroud, R. (1993).** Contribution à la connaissance de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (L.) Delile dans la région d'alger (algérie) étude de quelques compartiments. Thèse de doct. D'état, alger : u.s.t.h.b, p.p. 1-218.
- Smith, T.M., York, P.H. & Sherman, C.D.H. (2018).** Predicting seagrass decline due to climate change in temperate australian waters. Global change biology, vol. 24, n° 2, p.p. 458-472.
- Vangeluwe, D., Lepoint, G., Bouquegneau, M., Gobert, S. (2001).** Effets de la transplantation sur les pousses de *Posidonia oceanica*, vol. 54, n° 4, p.p. 223-230
- Vuignier, G., Bouladier, E. (1989).** Livre rouge - gérard vuignier - des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de méditerranée [en ligne] : troisième esquisse, mai 1989. [consulté le 15/05/2020]. Disponible sur le web : <https://portals.iucn.org/library/node/6841>
- Ward, L.G. (1957).** Coastal dynamics and sediment transport in marine environments. Journal of coastal research, vol. 3, n° 1, p.p. 101-115.
- Waycott, M., Et Al. (2009).** Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. Proceedings of the national academy of sciences, vol. 106, n° 30, p.p. 12377-12381.

REFERENCES

Zerrouk, C.(2016). Cartographie de la limite supérieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* et du trottoir à vermetes dans la région de tipaza. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Enssmal ,p. 95

Annexe



Annexe 01 : la granulométrie

Classification des grains de sable Folk et Ward, 1957)

Diamètre du grain	Classification
< 110 µm	Sable fin
110-150 µm	Sable fin
150-250 µm	Sable moyen
250-500 µm	Sable grossier
> 500 µm	Sable très grossier

Indice So permet d'apprécier le degré de classement d'un sédiment (Fournier J. , et al2012)

Valeur de l'indice So	Degré de classement
1 à 1. 17	Très bien classé
1. 17 à 1. 20	Bien classé
1. 20 à 1. 35	Assez bien classé
1. 35 à 1. 87	Moyennement classé
1. 87 à 2. 75	Mal classé
> 2. 75	Très mal classé

Limites d'asymétrie des particules par rapport à la médiane (Crosaz, 1995)

SK<1	Asymétrie du coti grossier a la médiane.
SK=1	Asymétrie a la médiane.
SK>1	Asymétrie du cote fin a la médiane.

Le triage de folk (DFI) (la norme NF P94-056)

DFI<0. 35	Très bien trié
0. 35<DFI<0. 50	Bien trié
0. 50<DFI<1	Moyennement trié
1<DFI<2	Peu trié
2<DFI<4	Très peu trié
4<DFI	Pas trié

L'indice hydrodynamique (FH) (la norme NF P94-056)

Fraction grossière	> 2 mm
Fraction moyenne	2 à 0. 5 mm
Fraction fine	0. 5 à 0. 063 mm
Fraction pétilles	< 0. 063 mm



Figure 03 : 1/ le pesage de 200g 2/ le rinçage 3/ préparation de la série de tamisage 4/ l'opération de tamisage

Annexe 02 : la matière organique



Figure 04 : 1/ les trois échantillons utilisés 2/ les deux répliquent pour chaque échantillon

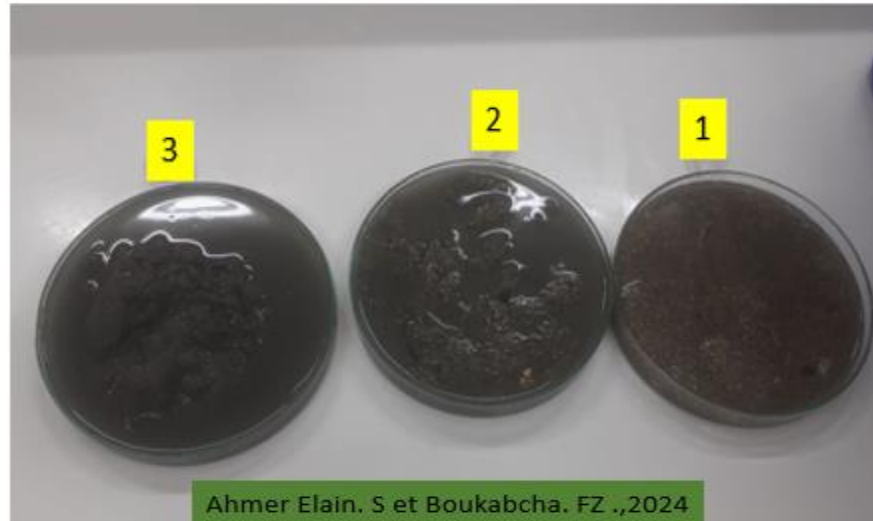


Figure 05 : les trois échantillons utilisés pour mesurer la matière organique

Annexe 03 : la restauration



Figure 06 : la pollution en niveau de l'Anse de kouali



Figure 07 : une graine contaminate

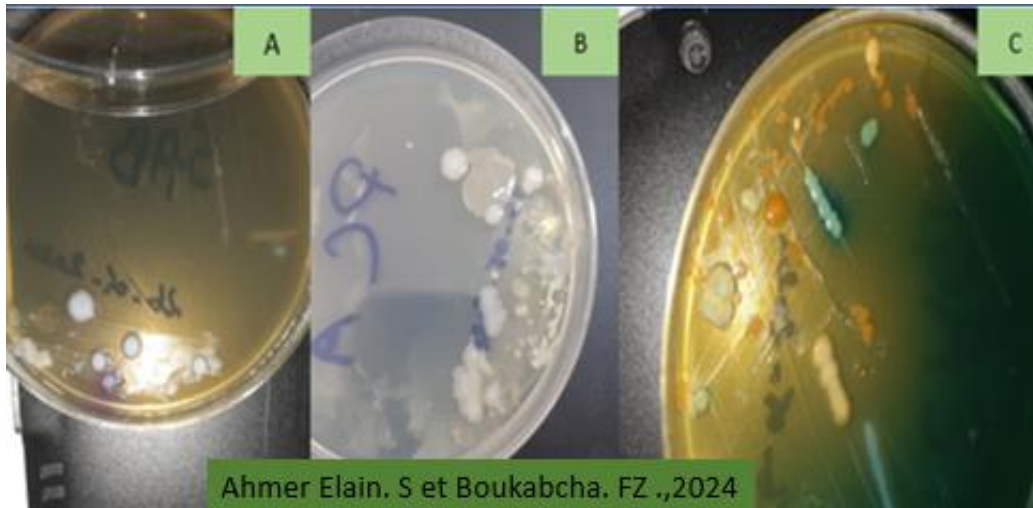


Figure 07 : Les résultats obtenus par l'analyse microbiologique des grains de *Posidonia oceanica*. (A : champignons, B : des coliformes fécaux, C : des coliformes fécaux)

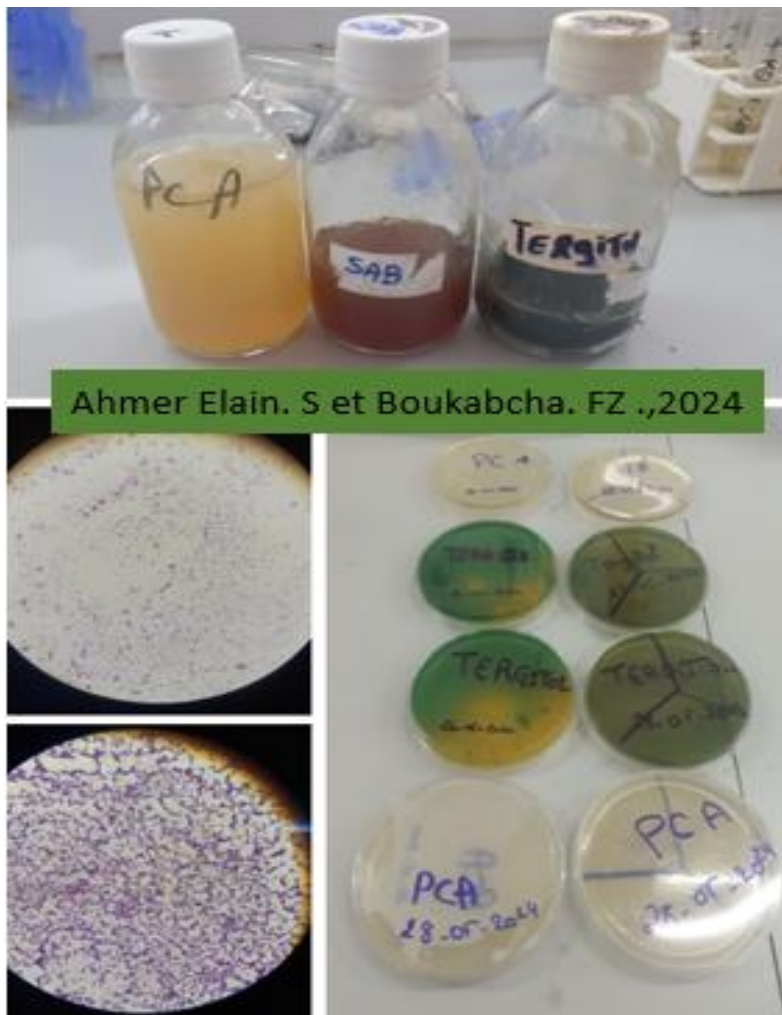


Figure 08 : certaines photos lors les analyses bactériologiques





Figure 09 : certaines espèces retrouvées sur la plage de kouali A, B/ *Codium fragile novae-zelandiae*. C/*Aegagropile* de *Posidonia oceanica*. D/ *Ulva lactuca* L

BMC



Carte d'information

Équipe d'encadrement		
Encadrant principal Mme SALIMA BOUMAZA	Maître-assistante A (ENSSMAL)	
Co-encadrant MR ALI MISRAOUI	Assistant (ENSSMAL)	

Équipe de projet		
Mme Ahmer Elain Soumia	Ingénierie de l'environnement marin et côtier(ENSSMAL)	
Mme Boukabcha Fatma Zohra	Ingénierie de l'environnement marin et côtier(ENSSMAL)	

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à rendre hommage à Allah, le tout-puissant, pour ses innombrables bienfaits et pour m'avoir accordé la force, la connaissance et la confiance en moi. Et la persévérance nécessaire pour mener à bien cette entreprise.

Je suis reconnaissant à **Mme Maouel Djamila**, l'examinatrice, pour son évaluation approfondie et ses précieuses recommandations, qui ont sans aucun doute contribué à la réussite du projet.

En outre, je remercie l'École nationale des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral (ENSSMAL) pour avoir mis à ma disposition le matériel nécessaire à la réalisation de ce travail.

Enfin, j'aimerais remercier l'incubateur scolaire « **Blue Start** » pour leur mentorat, leurs conseils et leur soutien financier potentiel, qui joueront sans aucun doute un rôle essentiel dans le développement et la mise en œuvre de cette microentreprise

Table des matières

1. Introduction.....	77
1. Présentation du projet.....	78
1.1 conception du projet (la solution proposée).....	78
1.2 Les Valeurs proposée	78
1.3 L'équipe de travail	79
1.4 Objectifs du projet.....	79
1.5 calendrier de réalisation du projet	80
2. Aspects innovants.....	80
3. Analyse stratégique du marché.....	80
3.1 Le segment du marché.....	80
3.2 La mesure de l'intensité de la concurrence.....	81
3.3 La stratégie marketing.....	82
4. Plan de production et organisation.....	82
4.1 Le processus de production.....	82
4.2 L'approvisionnement.....	84
4.3 La main d'œuvre.....	84
4.4 Les principaux partenaires.....	85
5. Plan financier.....	85
5.1 Les coûts et les charges.....	85
5.2 Le chiffre d'affaires.....	86
5.3 Les comptes de résultats escomptés.....	87
5.4 Le plan de trésorerie.....	88
6. Prototype expérimental.....	88

Introduction

La conservation et à la restauration des herbiers de posidonie représente une initiative innovante et stratégique, axée sur la préservation de l'un des écosystèmes marins les plus importants de la Méditerranée. La posidonie (*Posidonia oceanica*), une plante sous-marine endémique de la région méditerranéenne, joue un rôle crucial dans la régulation du climat et la protection de la biodiversité marine. Considérée comme un puits de carbone bleu majeur, elle a la capacité d'absorber et de stocker le dioxyde de carbone (CO₂) à un rythme nettement supérieur à celui des forêts terrestres, tout en contribuant à la stabilisation des fonds marins, à la prévention de l'érosion côtière et à la création d'habitats essentiels pour de nombreuses espèces marines.

Cependant, malgré son importance écologique, les herbiers de posidonie sont gravement menacés par diverses pressions anthropiques, telles que la pollution, la construction côtière, la pêche destructrice et le tourisme non durable. Face à ces défis, la création d'une microentreprise dédiée à leur conservation et restauration s'impose comme une réponse proactive et durable. Ce projet s'inscrit dans une démarche de développement durable en conciliant protection de l'environnement, valorisation des services écosystémiques et création d'opportunités économiques pour les communautés locales.

La création de cette microentreprise représente un modèle de développement durable qui allie conservation environnementale, participation communautaire et innovation économique. Elle contribuera à la protection d'un écosystème marin vital tout en participant activement à la lutte contre le changement climatique à travers la restauration de ces puits de carbone bleu que sont les herbiers de posidonie. Ce projet, implanté en Méditerranée et notamment en Algérie, pourra servir de modèle pour d'autres initiatives similaires dans la région et au-delà.

1. Présentation du projet

1.1 Conception du projet (solution proposée)

Le profil de notre projet est : microentreprise avec une innovation technologique selon nomenclature des activités économiques du ministère du commerce et de la promotion des exportations et centre national du registre du commerce le code de note activité est le 101101 qui sont Tous travaux de défense, de restauration des sols et de mise en valeur des terres (lutte contre l'érosion : construction des banquettes, reboisement des pentes.

Le projet **PosiMed Guardians** se focalise sur les services environnementaux liés au carbone bleu, avec pour mission la restauration et la préservation des écosystèmes marins, en particulier les herbiers de posidonie. Grâce à des technologies avancées telles que la télédétection et la surveillance sous-marine, il vise à cartographier, suivre et restaurer ces habitats essentiels. En parallèle, le projet génère des crédits carbone certifiés, destinés au marché international. Il comprend également des activités d'écotourisme durable et de sensibilisation des communautés locales. Un Business Model Canvas (BMC) a été élaboré pour structurer la création d'une entité spécialisée, conformément au Règlement 1275, afin d'évaluer et réduire les pressions anthropiques sur les écosystèmes marins

1.2 Les valeurs proposées

Nous proposons une solution innovante pour compenser l'empreinte carbone en restaurant les herbiers de Posidonies, favorisant ainsi la séquestration du carbone bleu et soutenant un tourisme écologique durable. Ce projet, pionnier en Algérie, génère des crédits carbone certifiés par des standards internationaux, renforçant la crédibilité environnementale des entreprises. Nos services flexibles s'adaptent aux besoins spécifiques de chaque entreprise, facilitant la protection de la biodiversité marine et la résilience côtière. Travailler avec nous améliore votre image de marque, réduit les coûts grâce à des crédits carbone compétitifs, et minimise les risques environnementaux et réglementaires. Nous offrons un accès facilité à des solutions écologiques novatrices, optimisant vos opérations tout en vous alignant sur des objectifs de durabilité

1.3 Équipe de travail









équipe du projet se compose de deux membres aux compétences complémentaires : Soumia Ahmer Elain et Boukabcha Fatmazohra. Soumia Ahmer Elain, coordinatrice des opérations, possède une solide formation en biologie marine, en gestion de projet, et en gestion des écosystèmes marins. Sa spécialisation en cartographie lui permet d'analyser et de planifier de manière optimale les zones de restauration des herbiers, garantissant ainsi l'efficacité des interventions. Boukabcha Fatmazohra, en tant que chargée de communication, a suivi des formations en communication environnementale, en marketing digital, et en développement des partenariats. Son expertise en télédétection lui confère les compétences nécessaires pour surveiller les écosystèmes marins à distance et collecter des données essentielles pour le suivi du projet. L'équipe organise des réunions hebdomadaires afin d'assurer le suivi des activités et la répartition des tâches. Pour une collaboration fluide, elle utilise des plateformes en ligne comme Trello et maintient une communication continue via un groupe de messagerie instantanée

Le projet de restauration des herbiers marins et de crédits carbone se distingue par plusieurs innovations. Il propose une nouvelle solution pour la compensation des émissions de CO2

1.4 Objectifs du projet

Notre objectif est de devenir le leader des crédits carbone liés à la restauration des herbiers marins en Algérie en cinq ans. À court terme, nous lancerons une plateforme numérique, établirons des partenariats et obtiendrons des certifications pour restaurer les herbiers et contribuer à la séquestration de CO2. À moyen terme, nous augmenterons notre part de marché en collaborant avec des entreprises majeures, tout en développant l'écotourisme et en élargissant les projets de restauration à d'autres régions côtières. À long terme, nous visons à consolider notre position en Méditerranée, réduire les émissions à grande échelle et renforcer les communautés côtières. Nous prévoyons de capturer 5-10 % du marché à court terme, 15-20 % à moyen terme, et 30-40 % à long terme

1.5 Calendrier de réalisation du projet

Les travaux			Les mois							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1		Études de faisabilité et choix des sites	✓	✓						
2		Partenariats et financement		✓	✓					
3		Acquisition des équipements et technologies		✓	✓					
4		Lancement de la plateforme numérique				✓	✓			
5		Restauration des herbiers marins					✓	✓	✓	
6		Organisation d'événements de sensibilisation						✓	✓	
7		Évaluation de l'impact environnemental								✓
8		Expansion des sites et renforcement des partenariats								✓

2. Aspects innovants

Le projet de restauration des herbiers marins et de crédits carbone se distingue par plusieurs innovations. Il propose une nouvelle solution pour la compensation des émissions de CO₂ en Algérie via la vente de crédits carbone certifiés issus de la restauration d'écosystèmes marins, répondant ainsi à une demande croissante. Sur le plan technologique, il utilise des capteurs sous-marins et la cartographie par drone pour surveiller les herbiers et développer une plateforme numérique facilitant la vente des crédits carbone. Ce projet s'inscrit dans une dynamique mondiale de lutte contre le changement climatique en combinant restauration des écosystèmes côtiers, développement de l'écotourisme durable et renforcement des capacités locales. Il introduit un modèle innovant en Algérie pour capter du CO₂ via les herbiers marins, tout en alignant ses actions sur les standards internationaux.

3. Analyse stratégique du marché

3.1 Le segment du marché

Le marché potentiel pour nos produits et services inclut un éventail diversifié d'entités telles que Sonatrach, le Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA), Sonelgaz, ainsi que plusieurs

agences et centres de recherche, dont l'Agence Nationale pour les Changements Climatiques (ANCC), l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), le Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) et le Centre National de Recherche en Environnement (CNRE). Nous ciblons également les collectivités locales telles que Bejaia, Oran, Skikda, Djijel, et Mostaganem, ainsi que l'Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ISMAL) et l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN). Ce choix de marché cible est motivé par la pertinence de nos offres vis-à-vis des besoins spécifiques de ces organisations, qui jouent un rôle clé dans la gestion des ressources naturelles, la lutte contre les changements climatiques, et la préservation de l'environnement. Nous avons identifié un potentiel substantiel pour conclure des contrats d'achat avec ces clients stratégiques, en raison de leur engagement envers des solutions innovantes et durables, alignées avec les objectifs de développement durable.

3.2 Mesure de l'intensité de la concurrence

Le projet de microentreprise dédié à la restauration des herbiers de Posidonies en Algérie est confronté à une concurrence directe et indirecte. Les ONG locales et internationales actives dans la conservation écologique possèdent des réseaux bien établis et un savoir-faire reconnu, ce qui peut limiter l'accès aux partenariats. Les instituts de recherche marine, qui mènent des études sur les écosystèmes marins, peuvent également constituer une concurrence sérieuse pour l'obtention de subventions et de contrats gouvernementaux. Les entreprises écologiques émergentes, axées sur la restauration marine et la compensation carbone, cherchent également à monétiser la conservation, augmentant ainsi la compétition. Bien que les entreprises d'énergies renouvelables ne travaillent pas directement dans la conservation marine, elles rivalisent pour les financements liés à la transition écologique. Les industries du tourisme, qui dépendent des écosystèmes marins sans nécessairement contribuer à leur restauration, représentent également une concurrence indirecte. Enfin, l'agriculture intensive et les industries polluantes peuvent nuire aux écosystèmes marins, réduisant ainsi l'efficacité des efforts de restauration. La concurrence directe est élevée, en raison de la domination des ONG et des instituts de recherche dans le domaine, rendant l'accès aux ressources très compétitif. Cependant, la restauration des herbiers de Posidonies est un secteur encore émergent, ce qui offre l'opportunité de se positionner en tant que pionnier, à condition de

développer une solide stratégie de différenciation. La concurrence indirecte dépendra largement des politiques gouvernementales et de l'intérêt public pour la conservation marine.

3.3 La stratégie marketing

La stratégie marketing repose sur plusieurs étapes essentielles. Il est important de commencer par une analyse de la concurrence pour mieux positionner la microentreprise. Ensuite, il faut cibler les clients potentiels comme les organisations environnementales, autorités locales, entreprises ou touristes intéressés par l'écotourisme. Le positionnement doit se baser sur une proposition de valeur unique, en mettant en avant l'expertise dans la restauration des herbiers de posidonie et leur importance écologique.

La diversification des canaux de communication est cruciale, avec la création d'un site web, l'utilisation des réseaux sociaux, et la collaboration avec des ONG et institutions. Les campagnes de sensibilisation, comme des ateliers, conférences, et visites guidées, jouent un rôle clé pour engager le public. Côté financement, le crowdfunding, les subventions et partenariats sont des options à explorer. Enfin, il est indispensable d'évaluer les résultats des actions marketing et de recueillir des témoignages pour ajuster la stratégie et renforcer la confiance des partenaires et clients

4. Plan de production et d'organisation

4.1 Le processus de production

- Collecte des boutures

Sélection et collecte des boutures de Posidonie dans les zones marines désignées. Contrôle de la qualité et de la viabilité des boutures pour garantir une réussite de la transplantation.

- Préparation et Transport

Nettoyage et préparation des boutures pour le transport vers les sites de restauration marins avec des conditions optimales de préservation (humidité, température).

- Sélection du site de plantation

Identification des zones de restauration en fonction de la qualité des eaux et des conditions favorables à la croissance de la Posidonie. et l'évaluation de la biodiversité et des conditions physiques du fond marin.

- Plantation des boutures

Plantation des boutures selon des méthodes écologiquement durables. et l'utilisation de structures de fixation adaptées pour assurer leur enracinement.

- Suivi et évaluation

Suivi régulier de la croissance des herbiers et de leur contribution à la séquestration du carbone. Par l'utilisation de capteurs et de drones pour surveiller les herbiers et mesurer leur développement.

- Certification et rapport d'impact

Analyse des données pour calculer les crédits carbone générés par la restauration. Et crée des Certification par des organismes reconnus (GIEC, etc.) et délivrance des crédits carbone.

- Communication et sensibilisation

Publication des résultats et partage des impacts avec les parties prenantes (entreprises, gouvernement, grand public). et la Promotion des bénéfices du projet pour l'image des entreprises et le soutien aux objectifs climatiques.

- Préparation des rapports finaux pour les partenaires. et Offrir des solutions supplémentaires pour améliorer leur engagement environnemental.



4.2 L'Approvisionnement

L'approvisionnement est une étape essentielle pour assurer le bon déroulement des activités de conservation et de restauration. Il se compose de trois aspects clés :

Politique d'Achat : Nous définissons une politique d'achat rigoureuse pour les matières premières, matériaux, fournitures et équipements nécessaires à nos opérations. Cette politique veille à ce que tous les achats respectent des normes élevées de qualité et de durabilité, afin d'optimiser l'efficacité de nos interventions tout en respectant les principes de développement durable.

Fournisseurs : Nous sélectionnons soigneusement les fournisseurs les plus importants, en priorisant ceux qui offrent des produits de haute qualité et démontrent un engagement envers des pratiques durables. Cette sélection garantit que nous travaillons avec des partenaires fiables qui soutiennent notre mission de conservation.

Politique de Paiement et Délais de Réception : Nous établissons des politiques claires concernant les modalités de paiement et les délais de réception des commandes. Cela permet d'assurer un approvisionnement fluide et ponctuel, aligné avec les besoins opérationnels de notre microentreprise, tout en maintenant des relations de travail efficaces avec nos fournisseurs.

4.3 La main d'œuvre

Le projet de restauration des herbiers de Posidonies a le potentiel de créer environ [nombre de postes estimé] postes. La main-d'œuvre nécessaire sera diversifiée, comprenant des techniciens environnementaux, des scientifiques spécialisés en écosystèmes marins, ainsi que des travailleurs qualifiés dans la manutention et la restauration d'écosystèmes naturels. Ces postes seront principalement localisés dans les régions côtières où les herbiers de Posidonies sont présents, notamment dans les zones telles que [emplacements spécifiques]. Nous aurons également besoin d'experts en gestion de projets environnementaux pour coordonner les efforts sur le terrain. Il est possible de recourir à de la manutention manuelle pour certaines tâches spécifiques, comme le transport et la plantation des boutures, nécessitant ainsi des travailleurs formés à ces opérations délicates

4.4 Les Principaux partenaires

Le succès de notre projet repose sur un réseau de partenariats diversifiés et stratégiques. Parmi eux, l'Agence nationale pour les changements climatiques (ANCC) et le Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables apportent un soutien institutionnel clé pour aligner nos actions sur les politiques nationales. Les collectivités locales (wilayas) facilitent l'application concrète de nos initiatives sur le terrain. En parallèle, les entreprises du secteur énergétique et industriel collaborent avec nous pour développer des solutions de compensation carbone, essentielles à la réussite de nos efforts de restauration des écosystèmes marins. Nous bénéficions également du soutien d'ONG locales et internationales spécialisées dans la conservation marine, renforçant ainsi notre impact sur la biodiversité. Les universités et centres de recherche (ENSSMAL, USTHB, USTO) jouent un rôle primordial en fournissant une expertise scientifique, tandis que le Commissariat National du Littoral (CNL) et le CNRDPA assurent un appui technique et institutionnel. De plus, les entreprises algériennes intéressées par la compensation carbone ainsi que les programmes de crédits carbone bleu (nationaux et internationaux) contribuent à la valorisation de nos actions en matière de séquestration du carbone. Enfin, des acteurs du tourisme durable, comme les tour-opérateurs et les hôtels, et des programmes de financement environnemental tels que le PNUD et le GEF, complètent ce réseau en apportant un soutien économique et en favorisant un modèle de développement durable pour la région.

5. Plan financier

5.1 Les Coûts et charges

Investissements initiaux	Coûts
Équipements de surveillance (drones, caméras, capteurs)	200 000 DA
Logiciels de cartographie (SIG, télédétection)	50 000 DA
Matériel de plongée et de restauration	300 000 DA

Coûts opérationnels annuels	Coûts
Salaires (équipe de 5 à 7 employés)	1 500 000 DA
Frais de communication et marketing	50 000 DA
Frais de mission et de déplacement	80 000 DA
Location du bureau	120 000 DA
Assurance et maintenance	100 000 DA

Coûts d'acquisition de données	Coûts
Abonnements/licences pour les données propriétaires	150 000 DA
Partenariats et collaborations avec instituts de recherche (accès aux données)	Gratuit

Investissement initial total : ~ 550 000 DA

Coûts d'exploitation annuels : ~ 1 850 000 DA

5.2 Le Chiffre d'affaires

Scénario optimiste de revenus pour le projet :

Source de revenu	Prix unitaire estimé	Revenu annuel
Subventions et partenariats (PNUD, GEF, etc.)	1 000 000 DA/subvention	1 000 000 DA (1subvention/an)
Vente de crédits carbone	300 000 DA/crédit	900 000 DA (3 crédits/an)
Activités écotouristiques et éducatives	160 000 DA/activité	960 000 DA (6 activités/an)
Consultation et recherche scientifique	500 000 DA/contrat	1 000 000 DA (2 contrats/an)
Contrats pluriannuels avec entreprises	1 200 000 DA/contrat	1 200 000 DA (1 contrat/an)

Total des revenus annuels estimés (scénario optimiste) : 5 060 000 DA

Scénario pessimiste de revenus pour le projet :

Source de revenus	Prix estimé	Revenu annuel
Certifications des crédits carbone	60 000 DA/certification	300 000 DA (5 clients)
Subventions et partenariats (PNUD, GEF)	1 000 000 DA	1 000 000 DA
Ecotourisme et activités éducatives	80 000 DA/activité	960 000 DA
Consultations et recherches scientifiques	500 000 DA/projet	500 000 DA

Total des revenus annuels estimés (scénario optimiste): 2 760 000 DA

5.3 Les Comptes de résultats escomptés

Revenus	Le montant
Activités écotouristiques et éducatives	960 000
Subventions et partenariats	1 000 000
Vente de crédits carbone	900 000
Contrats de consultation et recherche	1 000 000
Total des revenus	3 860 000

Coûts	Le montant
Salaires (3 employés, salaire moyen réduit)	1 800 000
Frais de transport et logistique	240 000
Marketing et communication	120 000
Assurances	50 000
Matériel pour la conservation et restauration	300 000
Total des coûts	2 510 000
Résultat net (bénéfice)	1 350 000

5.4 Le Plan de trésorerie

Mois	Entrées de trésorerie	Sorties de trésorerie	Position nette de trésorerie
Janvier	80 000 DA	100 000 DA	-20 000 DA
Février	150 000 DA	80 000 DA	70 000 DA
Mars	100 000 DA	80 000 DA	20 000 DA
Avril	120 000 DA	80 000 DA	40 000 DA
Mai	110 000 DA	80 000 DA	30 000 DA
Juin	90 000 DA	80 000 DA	10 000 DA
Juillet	60 000 DA	80 000 DA	-20 000 DA
Août	50 000 DA	80 000 DA	-30 000 DA
Septembre	100 000 DA	80 000 DA	20 000 DA
Octobre	120 000 DA	80 000 DA	40 000 DA
Novembre	90 000 DA	80 000 DA	10 000 DA
Décembre	150 000 DA	80 000 DA	70 000 DA

1. Prototypage expérimental

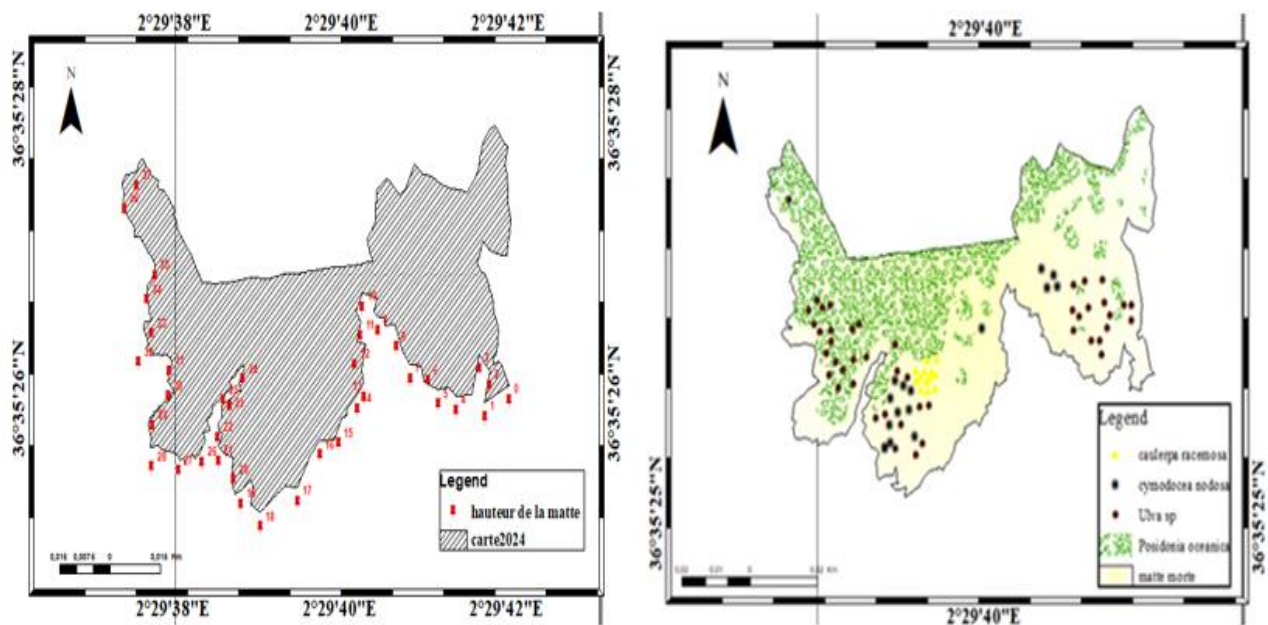


Figure 01: la cartographie des récifs barrières






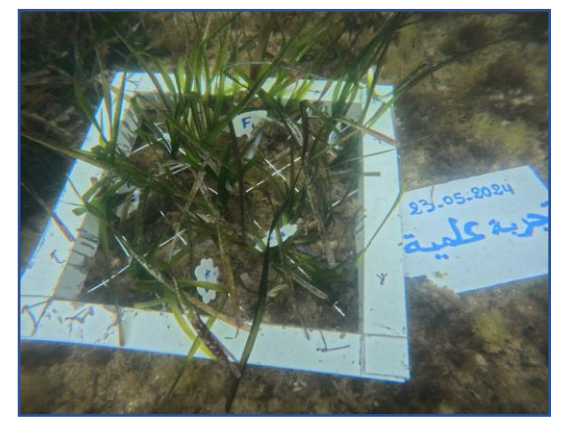


<p>Transplantation sur Nappe de plastique</p>		
<p>Transplantation sur Nappe de Doum</p>		
<p>Transplantation sur Des cadres en béton</p>		
<p>Transplantation directe Sur le substrat</p>		

Figure 02 : les méthodes de la replantation de la posidonie



Figure03: la vent du crédit carbone



Figure 04 : le site web de notre entreprise

Partenariat clés	Activité clés	Les valeurs ajouter	Relation client	Segments clientèles
<ul style="list-style-type: none"> Agence nationale pour les changements climatiques (ANCC). Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables Collectivités locales (wilayas) Entreprises du secteur énergétique et industrie ONG locales et internationales actives sur la conservation marine L'Université et centres de recherche en santé, santé (USTO) Le Commissariat National du Littoral (CNI), (CNRLPA). Entreprises algériennes intéressées par la compensation carbone. Programmes de crédits carbone bleu (réseaux et internationaux) Acteurs du tourisme durable (tour-opérateurs, hôtels) Programmes de financement environnemental (PNUD, GEF) 	<ul style="list-style-type: none"> Cartographie, évaluation des sites et surveillance des herbiers de Posidonia Recherche scientifique et développement sur les techniques de conservation et entretien des herbiers pour favoriser leur régénération. Vente de Certification des crédits carbone bleu. Organisation de visites guidées sous-marines, plongée éco-responsable et d'événements éducatifs et de campagnes digitales Contrôle régulier de la santé des herbiers restaurés et des impacts sur la biodiversité et le carbone. Études et diagnostic des herbiers de posidonie en Méditerranée algérienne 	<ul style="list-style-type: none"> Générer des crédits carbone certifiés, reconnus par des standards internationaux (GIEC). Offrir aux entreprises une solution innovante pour compenser leur empreinte carbone Développement d'un tourisme écologique et durable Restauration d'un écosystème essentiel en Algérie, contribuant à la séquestration du carbone bleu Protection de la biodiversité marine et des ressources halieutiques Renforcement des capacités locales pour la gestion des écosystèmes marins Contribuer à la résilience des communautés côtières face au changement climatique Renforcement de l'image verte des partenaires Fournir des données précises et transparentes sur la restauration des herbiers et l'impact carbone 	<ul style="list-style-type: none"> Collaboration avec les autorités algériennes pour des projets de conservation à long terme Transparence et rapports réguliers pour les investisseurs et les entreprises clientes Mise en place d'une plateforme en ligne pour sensibiliser le public et les parties prenantes sur les avantages de la posidonie. Fournir des rapports détaillés et des données certifiées sur les crédits carbone Proposer des contrats pluriannuels aux entreprises et aux gouvernements Gérer des programmes de fidélisation sur réductions sur les crédits carbone. 	<ul style="list-style-type: none"> Sonatrach Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA) Sonégaz Agence Nationale pour les Changements Climatiques (ANCC) Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) Collectivités locales 'bejaia ,Oran ,Alkhalidjiel,mostaganem) , Institut des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture du Littoral (ISMAL) Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) Centre National de Recherche en Environnement (CNRE) IUCN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature)
 <h3>Coûts</h3> <ul style="list-style-type: none"> Location de bureau : 120 000 DZD/an matériel de bureau : 100 000 DZD matériel pour la conservation/restauration /plongée : 500 000 DZD Assurances : 50 000 DZD/an Frais d'enregistrement et de certification : 50 000 DZD 	 <h3>Les revenus</h3> <ul style="list-style-type: none"> Frais de transport et de logistique : 20 000 DZD/mois les ateliers éducatifs et de sensibilisation : 10 000 DZD/mois communication et de marketing : 20 000 DZD/mois. Logiciels de cartographie et de gestion des projets : 60 000 DZD/an Salaires du personnel : 30 000 - 80 000 DZD/mois 	 <h3>Canaux</h3> <ul style="list-style-type: none"> Plateforme numérique internationale pour la vente de crédits carbone Vénetaires, conférenciers, Publications et rapports. Participation à des événements environnementaux nationaux et internationaux, des réunions régulières, Activités éducatives. Présence en ligne : Site web, réseaux sociaux (Facebook, Instagram, LinkedIn), vidéos éducatives sur YouTube. Événements en direct et Programmes éducatifs pour sensibiliser les communautés locales et le secteur privé. 	 <h3>Relation client</h3>	 <h3>Segments clientèles</h3>