



**Faculté des Sciences
De l'Université de Montpellier**

**Diplôme d'Université (DU)
« Restauration écologique des petits fonds marins côtiers »**

Etude de l'efficacité d'une NBS pour la restauration des herbiers de Posidonie. Cas de l'immersion des récifs artificiels à base de régime de dattes dans la baie de Monastir

Réalisée par : Ahmed Souki

Soutenu le : 03/06/2024, devant le jury composé de :

Pierre Boissery, Gilles Lecaillon et Julie Deter

Tuteur : Anaïs Gudefin

Rapporteur : Philippe Lenfant

Année universitaire 2024

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu, le tout puissant, qui m'a inspiré et m'a guidé dans le bon chemin.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance envers Madame Anais Gudefin, pour son soutien, son expertise et son engagement inestimable tout au long de la réalisation de cette étude.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury ; Monsieur Pierre Boissery, Monsieur Gilles Lecaillon et Madame Julie Deter ainsi que Monsieur Philippe Lenfant, examinateur de ce travail de recherche pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon sujet en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs remarques et suggestions.

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de cette étude en partageant leurs connaissances à travers des articles, des rapports et des informations précieuses ; Monsieur Mouloud Ben abdi, Ahmed Ghedira , Mehdi Aguir , Malek Charana , Sahar chebaane , Ramla Bouhlel , Mohamed Damak et Amjed Khiarredine

A tous...Merci beaucoup.

Sommaire

| | |
|---|----|
| Introduction | 1 |
| Chapitre I : Synthèse Bibliographique | 3 |
| I. La mer méditerranéenne | 3 |
| 1. Caractéristiques générales | 3 |
| 2. La diversité biologique en méditerranée..... | 4 |
| II. Le littoral tunisien | 4 |
| 1. Caractéristiques générales | 4 |
| 2. La diversité biologique de la côte tunisienne | 4 |
| III. Ecosystème de <i>Posidonia oceanica</i> | 5 |
| 1. Ecologie | 5 |
| 2. Cycle de vie | 6 |
| 3. Distribution géographique et facteurs de variabilité..... | 7 |
| 4. L'intérêt écologique de La Posidonie | 7 |
| IV. Menaces de la biodiversité | 8 |
| 1. Menaces de la biodiversité des îles Kuriat | 9 |
| 2. Menaces de la biodiversité de l'îlot des Piégeons | 11 |
| V. La restauration écologique | 12 |
| 1. Concept..... | 12 |
| 2. Méthodologie..... | 12 |
| Chapitre II : Matériels et méthodes | 15 |
| I. Zones d'étude | 15 |
| 1. Les îles Kuriat..... | 15 |
| 2. Les îles de Piégeons..... | 16 |
| II. Suivi des paramètres de qualité des herbiers de posidonie | 16 |
| 1. Estimation de la densité des faisceaux des feuilles | 16 |
| 2. Estimation de pourcentage de déchaussement..... | 17 |
| 3. Estimation de recouvrement de l'herbier..... | 18 |
| III. Restauration des écosystèmes marin par les récifs en palmier | 18 |
| 1. Objectifs et bénéfices..... | 18 |
| 2. Méthodologie : Assemblage des récifs en grappes de régime de palmier | 19 |
| 3. Immersion des récifs en palmier..... | 20 |
| IV. Suivi de la diversité faunistique | 21 |
| 1. Suivi de la diversité faunistique dans les herbiers de Posidonie | 21 |

| | |
|---|----|
| 2. Suivi de la diversité faunistique dans les récifs en palmier | 21 |
| Chapitre III : Résultats et Discussion | 23 |
| I. Suivi des paramètres de qualité des herbiers de Posidonie | 23 |
| II. Suivi de la diversité faunistique | 23 |
| Conclusion..... | 33 |
| Références | 1 |
| Annexes | 7 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1: Carte de la mer Méditerranée (Ayachi, 2016)..... | 3 |
| Figure 2: Distribution géographique de <i>Posidonia oceanica</i> en Méditerranée (Pergent et al., 2012)..... | 5 |
| Figure 3: Les différentes parties de la plante <i>Posidonia oceanica</i> (Vangeluwe, 2007) | 6 |
| Figure 4: Cycle de vie de <i>Posidonia oceanica</i> | 6 |
| Figure 5: Les services écologiques et économiques fournis par <i>Posidonia oceanica</i> (Arnoaurd.A, 2019)..... | 7 |
| Figure 6: Distribution des herbiers de posidonie dans le méditerranée (Telska, 2015) | 8 |
| Figure 7: Régression des herbiers de posidonie dans le méditerranée (Telska, 2015)..... | 9 |
| Figure 8: Zones potentielles d’ancrage écologique pour la pêche (Ben Salah Fadoua, 2016) « Zone Bleu » | 10 |
| Figure 9: zones potentielles d’ancrage écologique pour la plaisance (Ben Salah Fadoua,2016) « Zone rouge »..... | 10 |
| Figure 10: Carte des îles Kuriat (Google earth) | 15 |
| Figure 11 : Cartes des îles des Piegeons et Ghdamssi (Google earth) | 16 |
| Figure 12: Forme du bloc en béton(©NGB) | 19 |
| Figure 13: Assemblage des récifs de grappes de palmiers (©NGB)..... | 20 |
| Figure 14: Immersion des récifs en palmiers (©NGB) | 20 |
| Figure 15 : Suivi de la diversité faunistique dans les herbiers de Posidonie(©NGB) | 21 |
| Figure 16: Suivi de la diversité faunistique dans les récifs en palmier(©NGB) | 22 |
| Figure 17: Eponge (<i>Aplysina aerophoba</i>) (©NGB) | 25 |
| Figure 18: Annélide (<i>Pseudopotamilla reniformis</i>) (©NGB)..... | 26 |
| Figure 19: Etoile de mer (<i>Echinaster sepositus</i>) (©NGB)..... | 26 |
| Figure 20: Algue verte (<i>Dictyota dichotoma</i>)..... | 27 |
| Figure 21: Cnidaire (<i>Alicia cf. mirabilis</i>) (©NGB)..... | 27 |
| Figure 22: Caulerpa taxipholia dans les herbiers de posidonie (©NGB)..... | 28 |
| Figure 23: Suivi de l'ichtyofaune : (a) La Girelle, (b) Le crénilabre ocellée, (c) Sparailon, (d) Castagnole, (f) Sar à tête noir (©NGB)..... | 29 |
| Figure 24: Ponte de Calamar ((©NGB) | 31 |
| Figure 25: Les méthodes d'immersion des récifs en régime de palmier (a)Pyramidale (b)Circulaire, (c) Eparpillé (©NGB) | 32 |
| Figure 26 : Zone d'étude des récifs barrière de Posidonie dans la Petite Kuriat (Google Earth) | 9 |
| Figure 27 : Zone d'étude des récifs barrière de Posidonie dans la Grande Kuriat (Google Earth)..... | 10 |
| Figure 28 : Conventions pour la mesure du déchaussement des rhizomes (a) plagiotropes et (b) orthotropes (Boudouresque et al., 1980)..... | 11 |
| Figure 29 : Technique de mesure du recouvrement de l'herbier à <i>P.oceanica</i> (Gravez et al., 1995)..... | 12 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Classement des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> en fonction de la densité des faisceaux foliaires (Giraud, 1977)..... | 17 |
| Tableau 2: Echelle d'évaluation du déchaussement (d'après le RSP Charbonnel et al., 2000 et Boudouresque et al., 1980)..... | 17 |
| Tableau 3: Echelle d'évaluation du recouvrement | 18 |
| Tableau 4: Résultats de suivi des paramètres de qualité des herbiers de posidonie dans les zones d'étude | 23 |
| Tableau 5: Liste des espèces trouvés dans les récifs en palmier en 2024..... | 24 |
| Tableau 6 : Liste des espèces et abondance des poissons observées dans les récifs en régime de palmier..... | 30 |

Liste des abréviations

NBS : Nature-Based Solutions

NGB : Notre Grand Bleu

AMCP : Aire Marine Côtière Protégée

APAL : Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral

DGPA : Direction Générale de la Pêche et d'Aquaculture

BRUVS : Batid Remote Underwater Video System

CAR/ASP : Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées

OMMM : Observatoire du Milieu Marin Martiniquais

Km : Kilomètre

Cm : Centimètre

Fig : Figure

Résumé

Les herbiers de posidonie (*Posidonia oceanica*) sont d'une importance capitale dans la mer méditerranéenne, en particulier dans les zones d'étude de l'îlot des Pigeons et des îles Kuriat. Ces écosystèmes marins jouent un rôle crucial dans la stabilisation des fonds marins et la protection contre l'érosion côtière, en plus de produire de l'oxygène et d'absorber du dioxyde de carbone. Ils servent de refuge, de zone de reproduction et de nurserie pour une multitude d'espèces marines, contribuant ainsi à la biodiversité et à la productivité des écosystèmes marins locaux.

Cependant, ces herbiers sont gravement menacés par diverses activités humaines. L'invasion biologique par des espèces exotiques, le trafic maritime intense, le tourisme de masse, l'ancrage des bateaux et la pollution sont autant de facteurs qui dégradent ces habitats fragiles. Ces menaces conduisent à une perte significative de la couverture de posidonie, réduisant ainsi leur capacité à soutenir la vie marine et à fournir des services écosystémiques essentiels.

Pour minimiser ces impacts négatifs, la restauration des zones désertifiées en utilisant des récifs artificiels en palmier s'est avérée une méthode prometteuse. Ces récifs offrent un habitat, un refuge et une nurserie pour de nombreuses espèces marines. Ils jouent un rôle crucial dans la régénération de la biodiversité et l'amélioration de la résilience des écosystèmes marins.

Après l'immersion de 300 prototypes de récifs en palmier dans les deux zones d'étude, trois méthodes d'installation distinctes ont été employées pour minimiser l'accumulation de matière organique. Les suivis effectués pour évaluer la diversité faunistique ont révélé la présence de plus de 33 espèces appartenant à 10 groupes zoologiques.

Cependant, bien que la restauration soit bénéfique, elle ne peut pas remplacer entièrement les habitats naturels. Les herbiers de posidonie existants doivent être protégés pour maintenir la santé et la diversité de l'écosystème marin méditerranéen. La préservation de ces herbiers est essentielle pour assurer la durabilité écologique de la baie de Monastir et de ses environs.

Introduction

Malgré qu'il ne représente que 0.8% de la surface de l'océan mondiale, la Méditerranée abrite plus de 17 000 espèces, soit 7,5 % de la diversité faunistique et 11 % de la diversité floristique marine mondiale (Derneži *et al.*, 2010 ; Coll *et al.*, 2010 ; Rodríguez-Rodríguez & Abdul Malak, 2022).

Les écosystèmes insulaires jouent un rôle vital dans l'équilibre écologique global de notre planète. Ils abritent une multitude d'espèces végétales et animales qui interagissent dans des réseaux complexes, contribuant ainsi à la stabilité et à la résilience de l'environnement marin (Leclerc, 2019). Néanmoins, les îles sont les écosystèmes les plus vulnérables aux invasions biologiques et également aux autres pressions anthropiques (pollution, surexploitation, et érosion,) (Cronk & Fuller, 1995 ; Whittaker & Fernández-Palacios, 2007). La Tunisie possède de nombreuses espaces insulaires dans la berge sud de la Méditerranée. Elle compte environ 62 îles et îlots (Galite, Zembra, Piégeons, Kneiss, Kuriat, Ghdamssi, etc.) (Afli *et al.*, 2005). Ces écosystèmes hébergent une faune et une flore caractéristiques, dont plusieurs espèces sont rares, menacées ou endémiques et nécessitent, par conséquent, une attention particulière (Ouesleti, 2016).

Toutefois, les pressions anthropiques exercées sur les ressources et les habitats (pêche intensive et illégale, tourisme balnéaire, pollution etc.) rendent ces services non durables, notamment avec la dégradation progressive de leurs écosystèmes marins et côtiers. (Ben Haj *et al.*, 2015)

Ces menaces à la biodiversité ont commencé à être sérieusement prises en compte par les décideurs dans les années 1990 (Madgwick *et al.*, 2002), soulignant le besoin croissant de restauration écologique pour augmenter les surfaces d'habitats menacés et rétablir la connectivité entre les fragments. Ainsi, la demande sociale pour évaluer le succès de ces efforts de restauration écologique est devenue de plus en plus pressante (Soulé *et al.*, 2001 ; Madgwick *et al.*, 2002).

Les efforts en méditerranée sont pertinents mais pas suffisantes pour les raisons suivantes : les coûts de restaurations sont élevés, les techniques utilisé demandent des expertises et de experts qualifiés, aussi les causes de dégradations existent encore par la pression humaine.

Cette étude vise l'application d'un essai de restauration écologique, en utilisant les récifs en palmiers. Deux zone zones dépourvues des herbiers de posidonie ont été sélectionnées pour la mise en œuvre du protocole. Il s'agit de : l'archipel des îles Kuriat situé dans une zone protégée et l'îlot des piégeons soumis à des impacts anthropiques.

Les principaux objectifs de cette étude sont : i) Suivi de l'état de conservation des herbiers de posidonie des sites étudiés, ii) Tester une approche de restauration écologique des écosystèmes marins (cas des récifs en palmier « Régime de dattes) iii) l'appréciation de l'efficacité de la méthode à travers l'évaluation de la dynamique de la richesse spécifique et des abondances dans les sites étudiés.

Le présent document s'articule en trois chapitres. Le premier est consacré à un aperçu sur les zones d'étude, la biologie et l'écologie de l'espèce et les techniques de restauration écologique.

Le deuxième chapitre présente les matériels et les méthodes utilisées pour suivre les paramètres de qualité des herbiers de posidonie et la construction des récifs en palmier afin d'analyser les données obtenues. Quant au Le dernier chapitre, il sera consacré aux résultats et discussions.

Chapitre I
Synthèse
Bibliographique



Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I. La mer méditerranéenne

1. Caractéristiques générales

La mer Méditerranée, du latin *Medius Terrae*, qui signifie au milieu des terres, s'étend sur 2.5 millions de km², entre l'Afrique et l'Europe (Fig. 1). Elle est le plus grand bassin semi-fermé au monde, et son volume à voisine les 3.7 millions de km³. Elle est profonde (1 500 m en moyenne) et ses abysses, qui côtoient souvent son littoral abrupt, atteignent plus de 5 000 m dans la fosse de Matapan. Elle communique avec l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar (14,4 km de large et une profondeur moyenne de 300 m) et avec la mer Noire par le détroit des Dardanelles (entre 1.2 et 6 km de large pour une profondeur moyenne de 55 m) (Demeester & Mercier ,2022). Située en zone tempérée, la mer Méditerranée occupe d'Est en Ouest, une longueur de 3800 km et couvre une superficie de 2 510 000 km² soit 0.8% de la surface totale des mers et des océans (Anonyme, 2000). La Méditerranée se divise en deux bassins (bassin occidental et bassin oriental) séparés par le détroit de Sicile profond d'environ 400 m ((Tchernia, 1980 ; Alhammoud, 2005 ; Zaabi-Sendi ,2013 ; Demeester & Mercier ,2022).



Figure 1: Carte de la mer Méditerranée (Ayachi, 2016)

2. La diversité biologique en méditerranée

En Méditerranée, on peut distinguer deux types de biocénoses vu leur intérêt respectifs, les peuplements de substrats meubles et ceux de substrats durs (Kantin *et al.*, 2006) :

- **Les biocénoses des sédiments meubles** : représentent de larges étendues ; certaines unités sont remarquables au niveau de leur diversité et de leur rôle fonctionnel (zones de nurserie, protection du littoral...), et sont particulièrement sensibles à la contamination pélagique (par les particules qui constituent la vase) ou à l'enrichissement en matière organique dans le sédiment.
- **Les biocénoses des substrats rocheux** : ces biocénoses présentent de manière générale, un fort intérêt en termes de biodiversité, de production primaire macrophytique et de sensibilité à la qualité de l'eau. A côté de ces deux types de biocénoses, la Méditerranée présente de nombreuses autres biocénoses qui constituent ses fonds. Citons les herbiers à Magnoliophytes marines essentiellement les herbiers de posidonie (*Posidonia oceanica*), qui constituent d'immenses herbiers dans toute la Méditerranée. (Molinier & Picard, 1952 ; Boudouresque & Meinesz, 1982).

II. Le littoral tunisien

1. Caractéristiques générales

La Tunisie qui occupe une situation privilégiée en Méditerranée, elle s'étend, vers le Nord, à proximité de la Sicile et de l'Italie auxquelles elle était vraisemblablement reliée par des chaînes tertiaires qui se sont effondrées pour donner, au Pléistocène, le détroit Siculo-Tunisien (Azzouz, 1973). Elle se situe au Nord de l'Afrique entre l'Algérie à l'Ouest et la Libye au Sud-Est. Ces côtes qui s'étendent sur plus de 1300 Km constituent une zone de transition entre les deux bassins, occidental et oriental de la Méditerranée. (CAR/ASP, 2003 ; Plante, 2006 ; Zaabi-Sendi, 2013).

Les zones d'étude, les Iles Kuriat et l'Ilot de Piégeons, relèvent du gouvernorat de Monastir. La baie de Monastir, s'étendant sur 17 000 hectares et bordée par des presqu'îles, est un important pôle industriel et agricole. Les températures moyennes sont de 18°C, avec des variations entre 14,5 et 27,2°C. La région connaît des vents permanents et violents, influençant son climat (APAL, 2009).

2. La diversité biologique de la côte tunisienne

La biodiversité de la Méditerranée orientale est inférieure à celle de la Méditerranée occidentale, et environ 30 % des espèces de la Méditerranée sont présentes en Tunisie (Afli *et*

al., 2005). Ces inventaires, qui sont en général incomplets, comptent 35 espèces (Plancton non considéré) listées comme espèces en danger ou menacées (selon la Convention de Berne et le Protocole de Barcelone relatif aux aires spécialement protégées et à la biodiversité en méditerranée).

III. Ecosystème de *Posidonia oceanica*

1. Ecologie

Posidonia oceanica, une Magnoliophytes endémique de la mer Méditerranée, joue un rôle crucial dans le maintien de l'équilibre écologique côtier et soutient des activités économiques comme la pêche. Sensible à la pollution et aux perturbations humaines, elle est considérée comme un indicateur de la qualité des eaux marines (Augier, 1985 ; Pergent, 1991 ; Pergent *et al.*, 1995). La Posidonie, largement répandue sur le littoral méditerranéen, couvre une surface estimée entre 30 000 et 40 000 km², représentant 20 à 50 % des fonds marins entre 0 et 50 m de profondeur (Pasqualini *et al.*, 1998) (Fig 4).



Figure 2: Distribution géographique de *Posidonia oceanica* en Méditerranée (Pergent *et al.*, 2012)

Cette plante est constituée de faisceaux, de feuilles de long entre 40 à 80 cm (Deter *et al.*, 2010), de racines et de rhizomes qui sont des tiges rampantes ou dressées, généralement enfouies dans le sédiment (Fig 5).

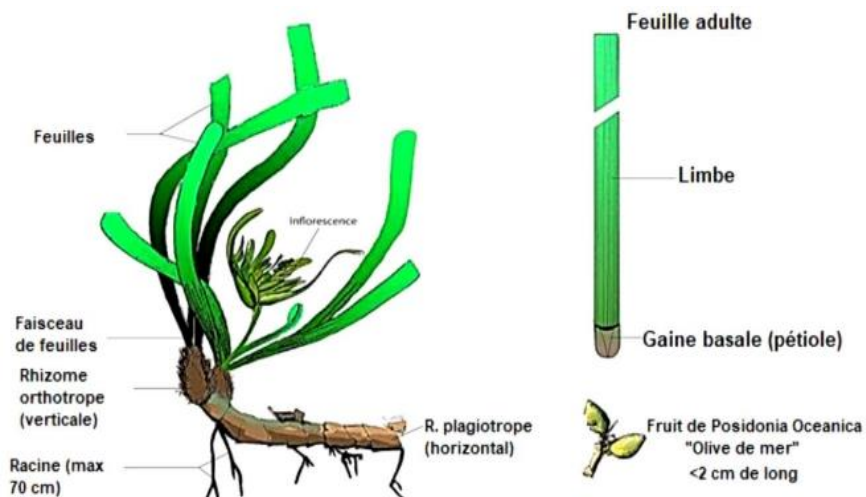


Figure 3: Les différentes parties de la plante *Posidonia oceanica* (Vangeluwe, 2007)

Le cycle de vie de *Posidonia oceanica* comporte trois phases de croissance : une phase de latence d'octobre à janvier avec une croissance limitée, une phase d'activité intense de février à mai où les feuilles croissent rapidement et se couvrent de petits organismes, et une phase de ralentissement de juin à septembre, suivie par la chute des feuilles lors des tempêtes d'automne et d'hiver (Molinier et Zevaco, 1962). La reproduction est principalement asexuée, rarement sexuée (Fig 6).

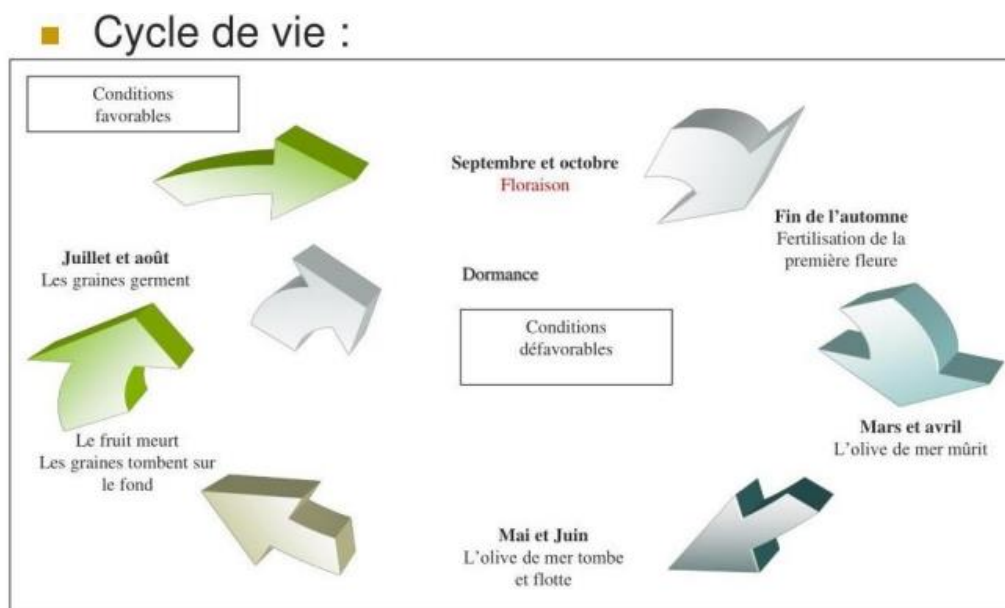


Figure 4: Cycle de vie de *Posidonia oceanica*

3. Distribution géographique et facteurs de variabilité

La répartition de *Posidonia oceanica* est influencée par la lumière, avec un seuil minimal de 10 à 16% d'irradiance de surface pour sa survie et une capacité à prospérer jusqu'à 40 mètres de profondeur dans des eaux claires. La salinité est cruciale, *P. oceanica* régressant en dessous de 33‰ et tolérant jusqu'à environ 41‰. La température joue un rôle vital, avec une gamme de survie entre 10°C et 30°C, la croissance étant limitée à 28.4°C. L'hydrodynamisme et la sédimentation sont également essentiels pour l'équilibre des herbiers, les tempêtes pouvant provoquer l'arrachage des feuilles et l'érosion des structures, rendant *P. oceanica* plus vulnérable aux perturbations.

4. L'intérêt écologique de La Posidonie

L'herbier de *Posidonia oceanica* est un écosystème clé du littoral méditerranéen, fournissant refuge, frayère et nourriture à de nombreuses espèces, y compris des espèces protégées (Boudouresque et Meinesz, 1982). Grâce à la photosynthèse, il produit 14 à 20 litres d'oxygène par m² par jour, contribuant à plus de 50 % de l'oxygène que nous respirons. Les herbiers abritent également une grande biodiversité, incluant plusieurs centaines d'espèces animales et végétales (Fig 7).

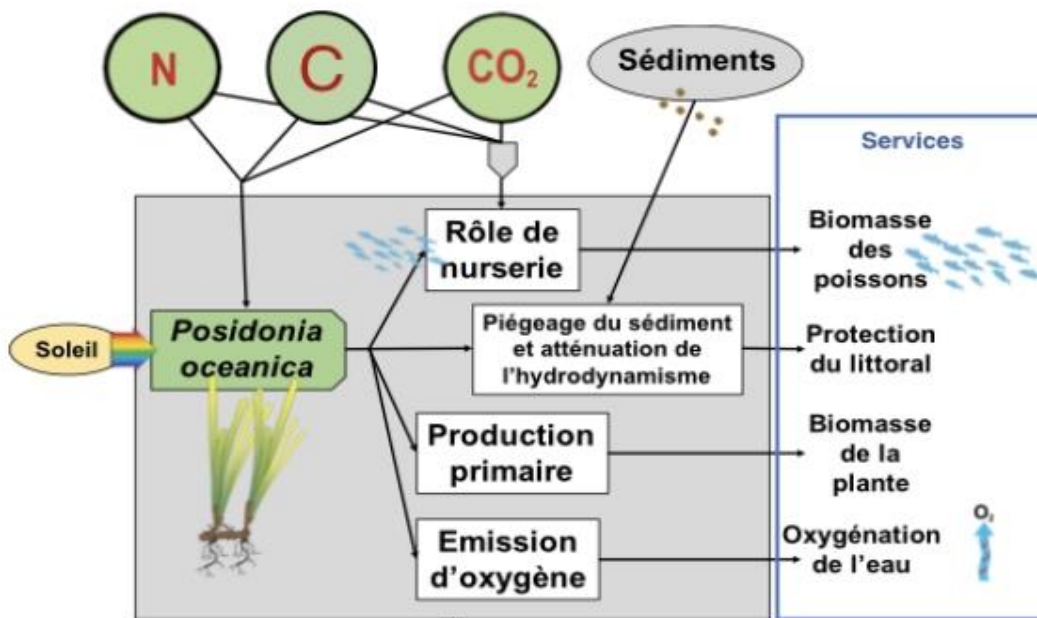


Figure 5: Les services écologiques et économiques fournis par *Posidonia oceanica* (Arnoaurd.A, 2019)

IV. Menaces de la biodiversité

Les récifs barrière de Posidonie sont des structures morphologiques formées par la montée des tapis de Posidonie vers la surface, créant des récifs-frangeants qui évoluent en récifs-barrière, isolant des lagons. Ces récifs, composés de Posidonie morte et d'autres espèces, forment des habitats essentiels pour la biodiversité marine mais sont menacés par la pollution et les activités touristiques. Historiquement, les herbiers de Posidonie étaient largement répandus le long des côtes méditerranéennes (Fig. 8), mais ont significativement régressé (Fig. 9) en raison de divers facteurs environnementaux et anthropiques, entraînant une perte de biodiversité et compromettant la résilience des écosystèmes côtiers.

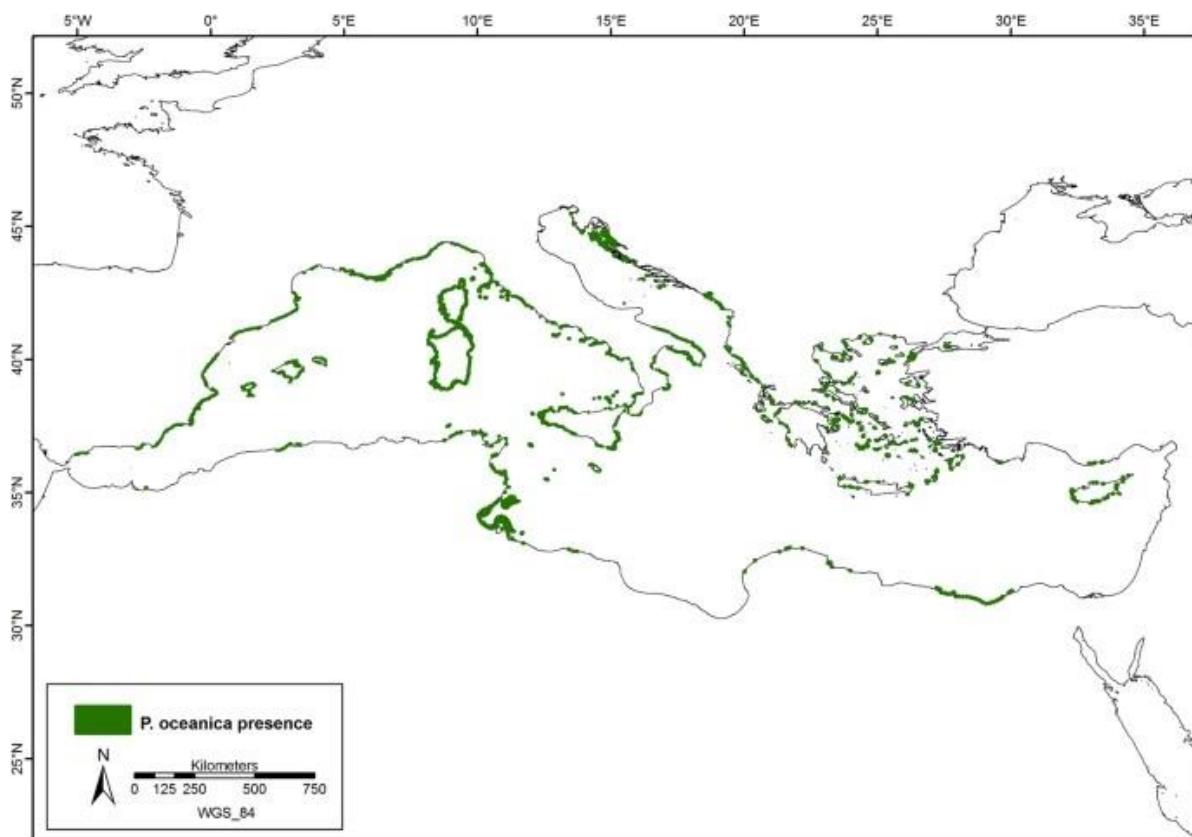


Figure 6: Distribution des herbiers de posidonie dans le méditerranée (Telska, 2015)

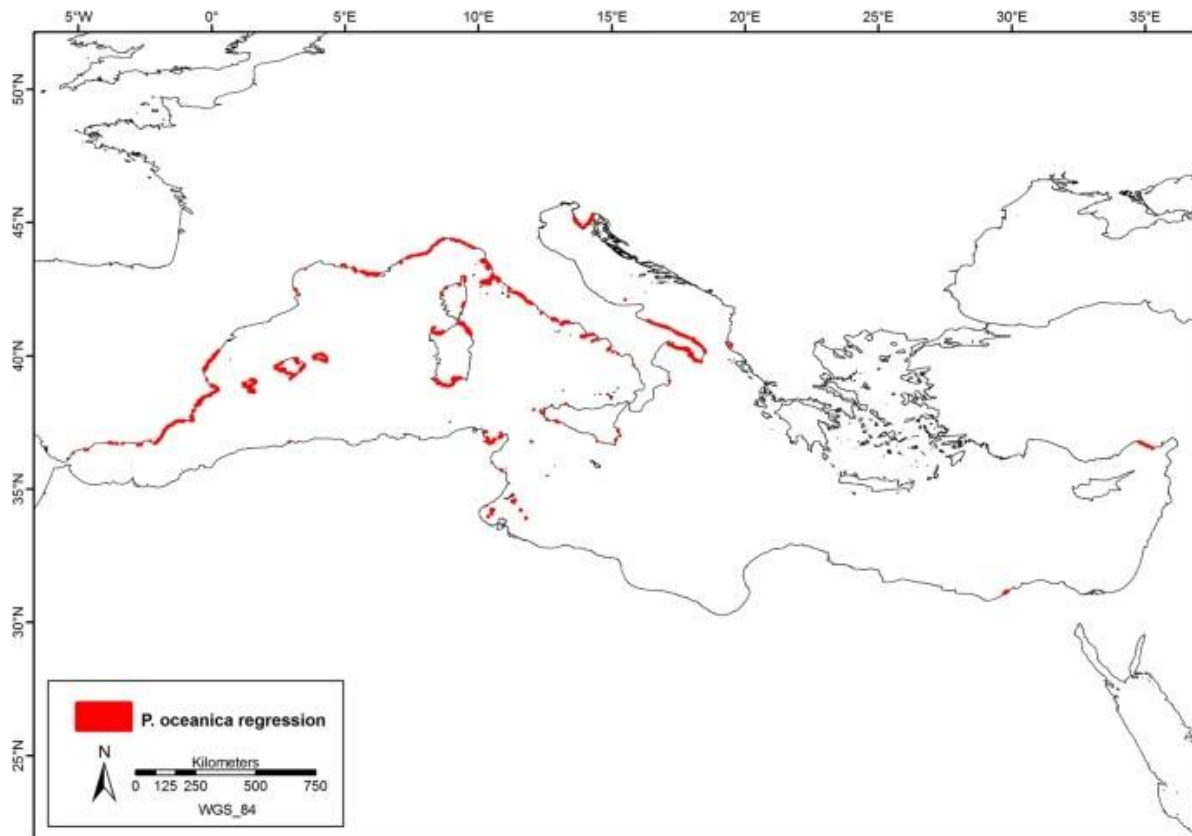


Figure 7: Régression des herbiers de posidonie dans le méditerranée (Telska, 2015)

1. Menaces de la biodiversité des îles Kuriat

Les îles Kuriat, future aire marine protégée, offrent un écosystème d'une grande biodiversité terrestre et marine. Bien qu'éloignées de la baie de Monastir, elles sont menacées par l'ancrage des bateaux et l'introduction d'espèces invasives. Ces îles jouent un rôle vital en tant qu'habitats et zones de reproduction pour de nombreuses espèces.

a. Ancrage

Selon OMMM (2004), l'ancrage de bateaux engendre la destruction des herbiers de phanérogames marines ainsi que des cassures sur les fonds coralliens. Par ailleurs, la mise en place d'une ancre sur le fond marin s'accompagne de l'arrachage de faisceaux engendrant l'abrasion des mattes, un remaniement du substrat et des phénomènes d'affouillement au niveau des structures immergées (Porcher).

Les zones potentielles à l'ancrage écologique sont les zones de nature sableuse. En procédant à l'intersection des fonds sableux avec les zones habituelles d'ancrage, nous avons pu déterminer des zones potentielles d'ancrage écologique pour chaque catégorie de bateaux.

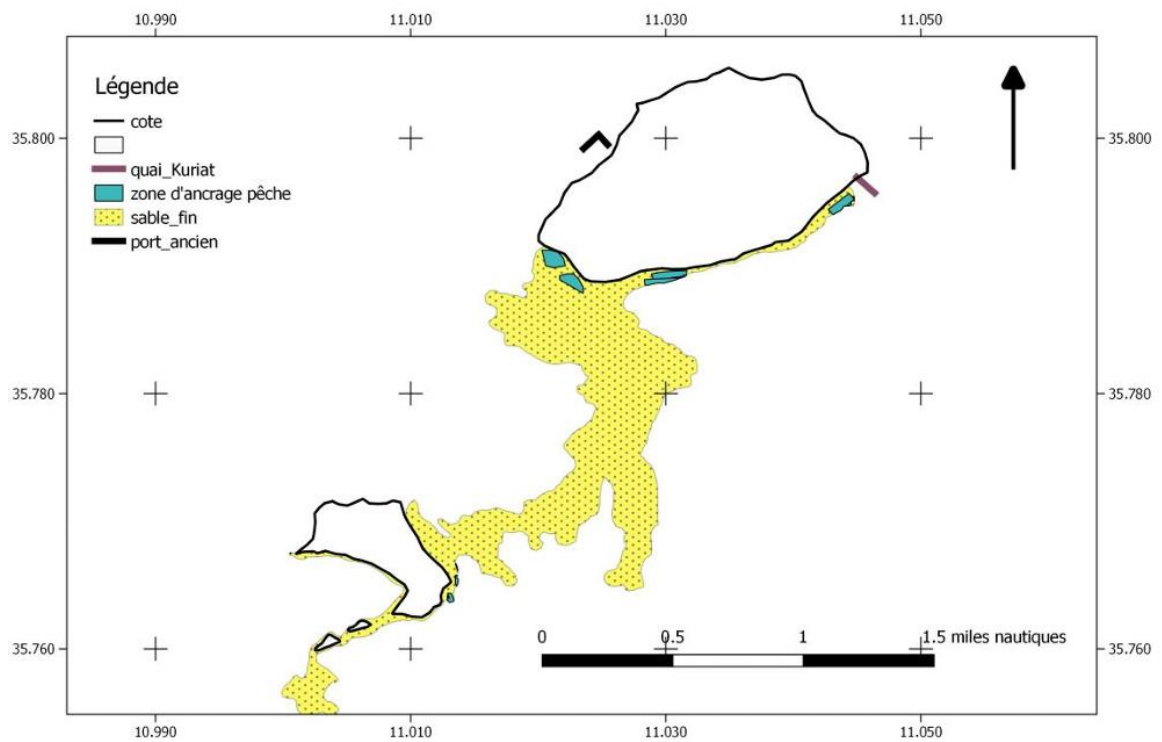


Figure 8: Zones potentielles d’ancrage écologique pour la pêche (Ben Salah Fadoua, 2016) « Zone Bleu »

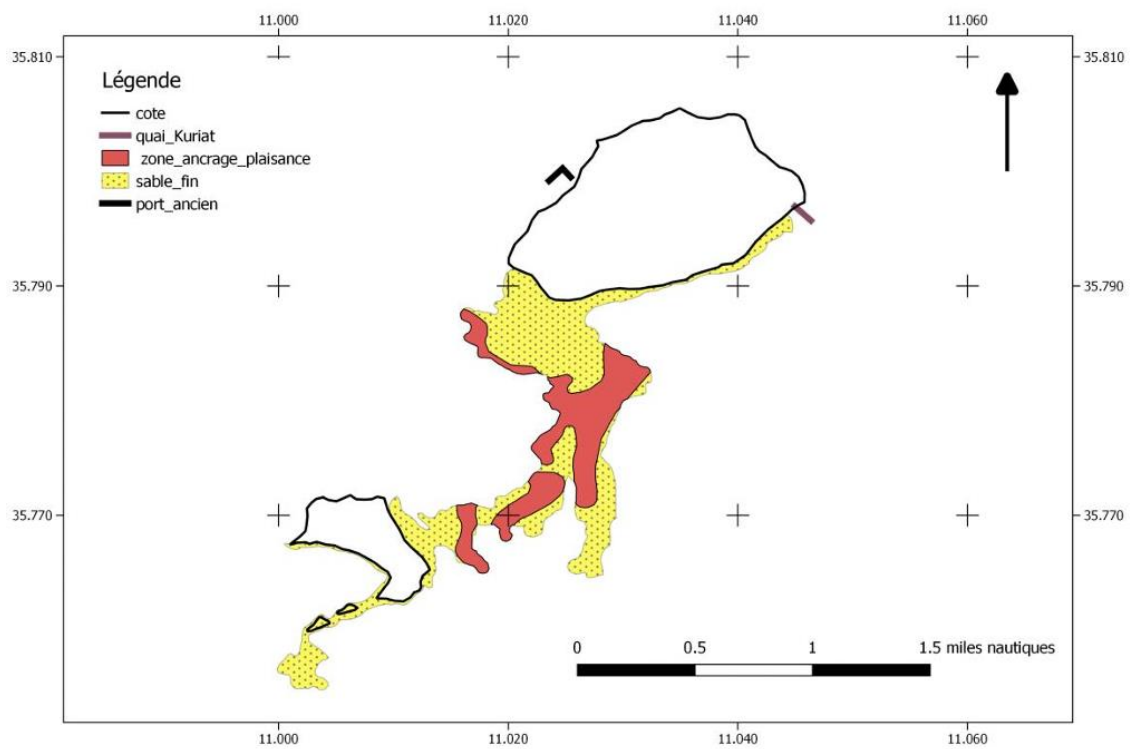


Figure 9: zones potentielles d’ancrage écologique pour la plaisance (Ben Salah Fadoua,2016) « Zone rouge »

b. Tourisme en masse

L'attractivité des Kuriat, le faible coût et la durée du transport ont motivé plusieurs promoteurs à monter des projets de transport de touristes vers la petite île. On compte 3 bateaux touristiques (Lac majeur, Sultan et Hannibal), qui ont réalisées 87 visites pendant la Après la pandémie de COVID-19 en 2020, le nombre de visiteurs a grimpé immédiatement en 2021 et a doublé en 2022 (Hached, 2012 ; NGB ,2022).

c. Espèces invasives

L'invasion d'espèces exotiques, exacerbée par le réchauffement de la Méditerranée, modifie la biodiversité, surtout dans l'est. Le canal de Suez est une voie majeure pour ces invasions, alimentant la richesse des espèces exotiques de la mer Rouge dans la région levantine.

2. Menaces de la biodiversité de l'îlot des Piégeons

L'îlot des Pigeons, proche de la côte, subit des pressions environnementales telles que la construction de marinas, l'introduction d'espèces invasives via le transport maritime, la pollution urbaine, la surpêche et les mouillages de bateaux. Ces activités menacent la biodiversité et la santé écologique de cette zone côtière, nécessitant une gestion attentive pour sa préservation.

a. Surpêche

La production de pêche et d'aquaculture à Monastir a augmenté de 38 % en quantité et quadruplé en valeur entre 2011 et 2020. Cependant, l'utilisation d'engins interdits et l'intensité de la pêche commerciale et récréative détruisent l'environnement et exerce une pression importante sur les ressources marines.

b. Pollution

La baie de Monastir, surnommée "le triangle de la mort", souffre depuis plus de deux décennies de pollutions organiques et chimiques, principalement dues aux rejets urbains, industriels et de l'ONAS (Fehri-Bedoui, 2020). Cette pollution n'a pas touché les eaux des îles Kuriat selon les études, mais elle a eu un impact indirect sur la pêche côtière, forçant les pêcheurs à se déplacer vers des zones moins affectées, comme les eaux des Kuriat (Ben Haj *et al.*, 2015).

V. La restauration écologique

L'écosystème peut être perturbé par divers événements altérant les relations entre les organismes vivants et leurs habitats dans le temps et l'espace (Wali, 1987). Ces perturbations, souvent d'origine humaine de nos jours, vont de la déforestation à l'introduction de polluants chimiques (Godron *et al.*, 1983 ; UNEP, 2007). La fragmentation, qui divise un habitat continu en fragments plus petits et isolés, est particulièrement préoccupante car elle réduit la diversité et la connectivité des habitats, entraînant une diminution de la taille des populations et une vulnérabilité accrue face aux perturbations (Balmford *et al.*, 2005 ; Eriksson *et al.*, 2001 ; Harrison *et al.*, 1999 ; Ouborg, 1993).

1. Concept

« La restauration écologique est une action intentionnelle qui initie ou accélère l'autoréparation d'un écosystème, qui a été dégradé, endommagé ou détruit, en respectant sa santé, son intégrité et sa gestion durable » (SER, 2004). Une restauration peut ainsi être passive, lorsque les forces de dégradations sont réduites, permettant aux processus naturels de récupération de diriger la restauration, ou active, lorsque non seulement les forces de dégradations sont réduites ou arrêtées mais que le cours de la restauration est dirigé par des interventions humaines (Lake, 2001). On parle de restauration écologique indifféremment pour des écosystèmes naturels et des écosystèmes semi-naturels (ou culturels), ces derniers étant des habitats abritant des espèces natives et à colonisation spontanée mais dépendants d'une méthode de gestion traditionnelle (Westhoff, 1983).

2. Méthodologie

La restauration écologique comprend un éventail de méthodes visant à rétablir la santé et la fonctionnalité des écosystèmes dégradés. La réintroduction d'espèces natives est une pratique couramment utilisée, impliquant le retour délibéré d'organismes végétaux ou animaux qui ont été éliminés ou ont disparu de l'écosystème (Suding *et al.*, 2004). Cette méthode est essentielle pour rétablir l'équilibre écologique et promouvoir la biodiversité. La gestion des habitats est une autre approche clé, qui consiste à modifier ou à protéger les habitats naturels pour encourager la recolonisation par des espèces indigènes et régénérer l'écosystème (Hobbs & Harris, 2001). Des actions telles que la restauration des berges, la création de zones tampons ou la lutte contre les espèces invasives font partie intégrante de cette démarche. La réhabilitation des sols est également fondamentale, car des sols dégradés peuvent entraver la croissance des plantes et la santé globale de l'écosystème (Suding & Hobbs, 2009). Des techniques comme la réintroduction de micro-organismes bénéfiques ou la plantation de couvre-sols sont employées

pour restaurer la fertilité du sol et améliorer sa structure. En outre, la réduction des pressions anthropiques, telles que la pollution et la surexploitation des ressources, est une composante clé de la restauration écologique (Clewell & Aronson, 2006). Limiter ces activités humaines contribue significativement à la préservation de l'écosystème et à sa régénération. La création d'infrastructures artificielles, telles que les récifs artificiels ou les zones de reproduction, peut également jouer un rôle crucial dans la restauration des écosystèmes dégradés (Palmer & Filoso, 2009). En combinant judicieusement ces méthodes et en les adaptant au contexte spécifique, il est possible d'apporter une contribution significative à la restauration et à la préservation des écosystèmes naturels.

a. Cas des récifs artificiels

Les récifs artificiels construits à partir de matériaux biodégradables représentent une approche innovante de restauration écologique. Cette solution, souvent désignée sous le terme de "Nature-Based Solutions" (NBS), vise à intégrer harmonieusement les infrastructures artificielles dans l'environnement naturel (Díaz *et al.*, 2015).

b. Exemple des récifs artificiels dans le monde entier

Dans le monde entier, plusieurs exemples illustrent l'utilisation de récifs artificiels construits avec des matériaux biodégradables dans le cadre de la restauration écologique marine. Par exemple, dans certaines régions d'Asie du Sud-Est, des récifs artificiels en bambou ont été créés pour restaurer les habitats marins dégradés (Suharsono & Faizal, 2019). De plus, des initiatives ont été lancées en Australie et aux États-Unis pour créer des récifs artificiels à partir de matériaux recyclés tels que des pneus de voiture ou des structures métalliques (Seaman & Singh, 2009). Ces projets visent à fournir des habitats pour la faune marine tout en réduisant les déchets dans les décharges. Cette approche s'inscrit dans une démarche de durabilité et de préservation des écosystèmes marins (Wabnitz *et al.*, 2003). En combinant judicieusement ces méthodes avec des pratiques de gestion durable, il est possible de promouvoir la restauration des habitats marins et la biodiversité marine.

c. Les récifs artificiels à base de régime des dattes

La mise en place de récifs artificiels à base de régime de dattes s'est avérée être une approche novatrice et efficace dans la restauration des habitats marins, en particulier dans la région de Ghannouch à Gabès, en Tunisie. Cette initiative a été inspirée par l'observation des pêcheurs de Ghacnouch, qui ont remarqué que les seiches avaient une préférence pour pondre sur des récifs en palmier. Le concept consiste à lier les grappes de palmier avec des pierres poreuses, créant

ainsi des structures qui offrent des surfaces de ponton attrayantes pour les espèces marines. Cette méthode s'est avérée particulièrement efficace dans les zones côtières pauvres en végétation, telles que les herbiers de posidonie, où elle contribue à restaurer et à protéger les habitats côtiers vitaux. Forts du succès initial de cette initiative, les pêcheurs locaux ont étendu cette pratique à d'autres régions côtières de la Tunisie, notamment à Monastir et Kerkennah. Cette approche témoigne de l'importance de l'innovation locale et de l'adaptation des pratiques de restauration écologique aux besoins spécifiques des écosystèmes marins, tout en soulignant le potentiel des ressources naturelles locales pour contribuer à la conservation et à la restauration de la biodiversité marine.

Chapitre II

Matériels et Méthodes



Chapitre II : Matériels et méthodes

I. Zones d'étude

1. Les îles Kuriat

Les îles de Kuriat sont des émergences de hauts fonds, situées à environ 18 kilomètres de Monastir au nord-est de la baie de Khnis. Ils se composent principalement de la petite île ou île Conigliera (Qûrya Essaghira) d'environ 70 ha et de la plus grande île Kuriat (Qûrya El Kabira) d'environ 270 ha, avec une circonférence de 6,9 km et une distance d'environ 2,5 km de la première île (UN COPAIN,2000). Autour de la petite île, d'autres petits îlots émergent (Fig 3) (Ramos- Espla *et al.*,2010 ; Balloumi ,2012 ; Ben Haj *et al.*, 2015).

Ils présentent plusieurs intérêts écologiques : lieux d'habitat, de nourrissage et/ou de reproduction pour de nombreuses espèces avifaune ou piscicoles, notamment. Ils sont caractérisés par une richesse faunistique et floristique marine très importante et par la présence d'espèces et de structures menacées et protégées en Méditerranée et dans le monde *Caretta Caretta* (Linnaeus, 1758 ; Jribi *et al.*, 2005 ; Chaieb *et al.*, 2005 ; NGB, 2022), *Pinna nobilis* (Linnaeus 1758) ; *Posidonia oceanica* (Delile ,1813) *Sternula albifrons* (Pallas, 1764)) (Convention de Berne 1979, UICN 2008 ; Balloumi ,2012 ; Sallami, 2014 ; Foulquié *et al.*, 2020). Les coordonnées géographiques de la station d'étude du site des îles Kuriat sont (35.764 ; 11.013).

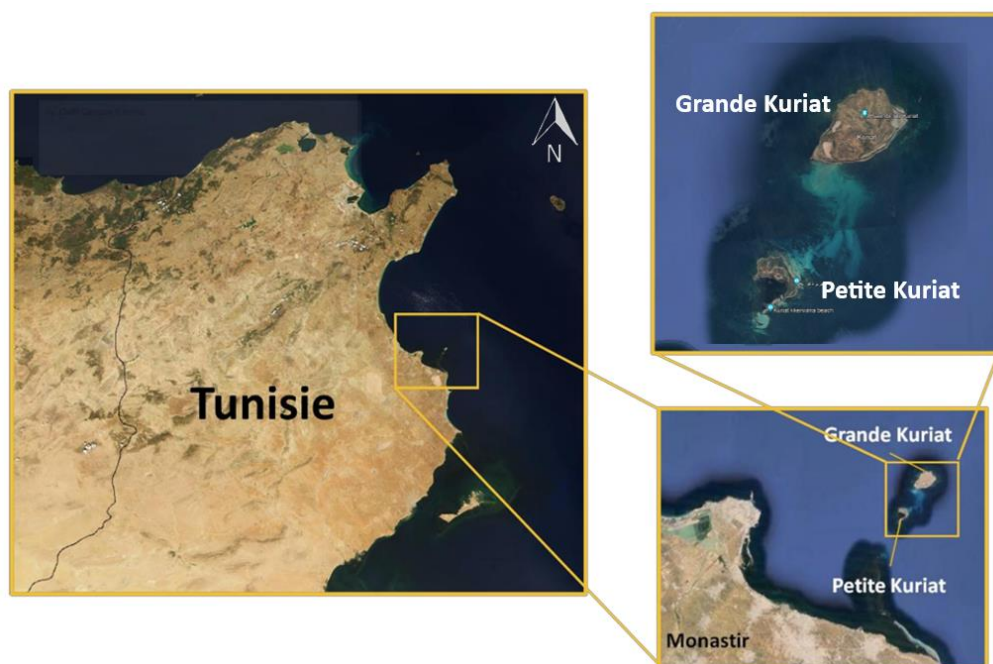


Figure 10: Carte des îles Kuriat (Google earth)

2. Les îles de Piégeons

L'îlot des piégeons « El Hmam » dans lequel sont signalés des « Haouanets » ne serait pas encore isolé de l'îlot El Ghedamsi (Fig. 4). La distance qui sépare ces deux îlots n'est aujourd'hui que de quelques décamètres, donc plutôt négligeable en comparaison avec l'évolution enregistrée dans le cas du secteur de Rass Eddzira où le rivage a reculé de plusieurs hectomètres dans un milieu à bathymétrie très faible (Oueslati, 2004). Les coordonnées géographiques de la station d'étude du site des îles Kuriat sont (35.793 ; 10.835).



Figure 11 : Cartes des îles des Piégeons et Ghdamssi (Google earth)

II. Suivi des paramètres de qualité des herbiers de posidonie

1. Estimation de la densité des faisceaux des feuilles

La densité des faisceaux de *Posidonia oceanica*, indiquant la vitalité de l'herbier et les impacts humains, est mesurée par le nombre de faisceaux vivants par unité de surface. Cette densité est évaluée uniquement dans les zones couvertes par l'herbier. Les mesures se font en plongée, en comptant les faisceaux dans des quadrats de 40 x 40 cm, disposés aléatoirement avec trois

répliques par site. Les résultats sont extrapolés au mètre carré, et la densité est comparée aux échelles de classification de Giraud (1979) et Pergent (1995) (Annexe 1).

Tableau 1: Classement des herbiers à *Posidonia oceanica* en fonction de la densité des faisceaux foliaires (Giraud, 1977).

| Densité par m ² | Type d'herbier |
|---|-----------------------------------|
| Plus de 700 faisceaux / m ² | Type I, Herbiers très denses |
| De 400 à 700 faisceaux / m ² | Type II, Herbiers denses |
| De 300 à 400 faisceaux / m ² | Type III, Herbiers clairsemés |
| De 150 à 300 faisceaux / m ² | Type IV, Herbiers très clairsemés |
| De 50 à 150 faisceaux / m ² | Type V, Semi-herbiers |
| Moins de 50 faisceaux / m ² | Faisceaux isolés |

2. Estimation de pourcentage de déchaussement

Les rhizomes de *Posidonia oceanica* croissent horizontalement (plagiotropes) et verticalement (orthotropes), la croissance verticale contribuant à l'édification des mattes et à la lutte contre l'enfouissement dû à la sédimentation. Un déchaussement des rhizomes indique un déficit sédimentaire de l'herbier, permettant d'évaluer l'hydrodynamisme et les déplacements sédimentaires d'une zone. Un déchaussement important fragilise l'herbier, augmentant sa vulnérabilité aux actions de mouillage et de chalutage. La mesure du déchaussement est effectuée selon les conventions de Boudouresque *et al.* (1980, 2006), en mesurant la distance entre le sédiment et la partie inférieure des rhizomes plagiotropes ou la base des feuilles des rhizomes orthotropes, moins 2 cm.

Tableau 2: Echelle d'évaluation du déchaussement (d'après le RSP Charbonnel *et al.*, 2000 et Boudouresque *et al.*, 1980)

| Déchaussement (valeurs seuils) | Interprétation |
|--------------------------------|-------------------------|
| Inférieur à 5 cm | Déchaussement faible |
| 5 – 15 cm | Déchaussement moyen |
| Supérieur à 15 cm | Déchaussement important |

3. Estimation de recouvrement de l'herbier

Le recouvrement est l'estimation du pourcentage de la surface du fond recouvert par la posidonie vivante. Pour chaque herbier récifal, le degré de recouvrement est estimé en effectuant des observations visuelles sur le terrain par deux observateurs indépendants. Ces observations sont réalisées à plusieurs endroits spécifiques de l'herbier afin de garantir une représentativité statistique des résultats (Annexe 2).

Le plongeur nage à 3 m au-dessus du fond et compte le nombre de carrés occupés (plus ou moins complètement) par *P. oceanica*. Les valeurs sont ensuite exprimées en pourcentages.

Tableau 3: Echelle d'évaluation du recouvrement

| Recouvrement (Valeurs seuil) | | Interprétation |
|------------------------------|-------------------|---------------------|
| Limite supérieure | Limite inférieure | |
| Inférieur à 40% | Inférieur à 20% | Recouvrement faible |
| 40 à 80% | 20 à 50% | Recouvrement moyen |
| Supérieur 80% | Supérieur 50% | Recouvrement fort |

III. Restauration des écosystèmes marin par les récifs en palmier

1. Objectifs et bénéfices

Les récifs artificiels peuvent représenter un outil de gestion intégré du littoral qui est soumis aux pressions anthropiques comme l'exemple de la côte de Sayada et les fermes aquacoles, qui causent une dégradation de ses herbiers de posidonie à la suite de la pollution et les rejets industriels.

Les principaux objectifs des récifs artificiels en palmier sont :

- La production de ressources halieutiques ou de biomasse : ils représentent un site de ponte pour les organismes marins et spécialement la seiche.
- La protection pour lutter contre le chalutage illégal : il s'agit des récifs de protection.
- La sensibilisation : c'est un outil pour impliquer les pêcheurs dans la préservation des ressources halieutiques.

2. Méthodologie : Assemblage des récifs en grappes de régime de palmier

Les principaux matériaux utilisés pour la fabrication des récifs artificiels sont :

- Le béton et la fibre en palmier pour former le récif en régime de palmier. En effet, le milieu marin étant un milieu aux conditions agressives pour la fibre en palmier (courantologie, pH, salinité), pour cette raison on ajoute le béton qui donne du poids au récifs afin de garantir son maintien en place. La forme du bloc en béton troué (Type Hourdie) est utilisée pour faciliter la fixation des régimes de palmier et offre également des gîtes pour les espèces.



Figure 12: Forme du bloc en béton(©NGB)

- Les régimes de palmiers (العرجون) (Zenchi & Abdoun, 2015), sont très attractifs pour la ponte pour une nombre considérable d'organismes marins, particulièrement pour la seiche et le calamar.
- Les fils d'alfa sont utilisés pour la liaison entre les grappes et les blocs de bétons.



Figure 13: Assemblage des récifs de grappes de palmiers (©NGB)

3. Immersion des récifs en palmier

Trois actions d'immersion des prototypes ont été réalisées pour donner suite aux recommandations et enquêtes menées avec les pêcheurs des deux zones. Dans le cadre de ce projet, une mission de suivi de ces récifs est effectuée afin de vérifier l'état des grappes de palmier et d'immerger de nouveaux prototypes en 2023. Ainsi, différentes méthodes d'immersion ont été effectuées : la première pyramidale, la deuxième circulaire et la troisième avec les prototypes éparpillés.



Figure 14: Immersion des récifs en palmiers (©NGB)

IV. Suivi de la diversité faunistique

1. Suivi de la diversité faunistique dans les herbiers de Posidonie

Le suivi ichthyologique de l'AMCP Kuriat et l'îlot des piégeons a été effectué par recensements visuels selon deux méthodes.

La première consiste à réaliser des recensements visuels de poissons en plongée (UVC), selon la méthode développée en Méditerranée par Harmelin-Vivien et Harmelin (1975) et mise à jour par Harmelin-Vivien *et al.* (1985). Cette méthode, non destructive, permet des échantillonnages répétés sans nuire aux populations d'espèces sensibles. L'étude ne vise pas à recenser exhaustivement le peuplement de poissons, mais se concentre sur les espèces sensibles aux activités de chasse sous-marine, de pêche professionnelle, et de pêche de loisir (Harmelin *et al.*, 1995).

La seconde méthode de recensement de la biodiversité ichthyique consiste à utiliser des stations vidéo sous-marines appâtées (BRUVS), Murphy and Jenkins (2010).



Figure 15 : Suivi de la diversité faunistique dans les herbiers de Posidonie(©NGB)

2. Suivi de la diversité faunistique dans les récifs en palmier

Une fois les récifs mis en place, un suivi a été effectué par des plongeurs, munis d'une feuille de comptage immergeable et accompagnés d'un photographe/caméraman et d'un biologiste.

Une fois les plongeurs mis à l'eau au niveau des sites, la chronologie du comptage est la suivante :

- Les espèces très mobiles et difficiles d'approche (sars, bars, dorades...) sont comptées en premier, dès l'arrivée auprès des récifs. La méthode d'observation doit privilégier le point fixe ; le plongeur reste immobile durant un temps déterminé pour identifier et dénombrer les espèces qui traversent son champ de vision.
- Les espèces à proximité immédiate du récif (labres, serrans, calamars, seiches...) sont ensuite dénombrées.
- Les espèces inféodées au récif (congres, blennies, rascasses...) sont répertoriées en explorant le récif et les anfractuosités ou cavités qu'il possède.
- Pour finir, les espèces benthiques situées à proximité immédiate des récifs, ainsi que le substrat sur lequel elles se trouvent sont notées.

Lors du comptage, les paramètres biologiques relevés par les plongeurs sont le nom de l'espèce observée (nom commun), le nombre d'individus de cette espèce selon des intervalles (1-10, 10-30, 30-50, 50-100, 100-500, >500), et l'estimation de la taille des individus sur la fiche de suivi (Annexe 3).



Figure 16: Suivi de la diversité faunistique dans les récifs en palmier(©NGB)

Chapitre III

Résultats et Discussion



Chapitre III : Résultats et Discussion

I. Suivi des paramètres de qualité des herbiers de Posidonie

L'état des herbiers de posidonie diffère entre les îles Kuriat et l'îlot des Piégeons. Aux îles Kuriat, le recouvrement des herbiers est fort, avec une densité classée de type I (herbiers très denses), en raison de son statut de future AMCP. En revanche, l'îlot des Piégeons présente un recouvrement faible à moyen, avec des herbiers classés de type IV (herbiers très clairsemés), selon les suivis réalisés. Afin de minimiser la pression sur les herbiers de posidonie aux îles Kuriat et de restaurer ceux de l'îlot des Piégeons, des récifs en palmier ont été immergés, jouant un rôle similaire à celui de la posidonie.

Tableau 4: Résultats de suivi des paramètres de qualité des herbiers de posidonie dans les zones d'étude

| Zone | Îles Kuriat | Îlot des Piégeons |
|------------------------------------|-------------|-------------------|
| Recouvrement (%) | 80-90 | 30-40 |
| Densité (Faisceau/m ²) | 1044 | 191 |
| Déchaussement (cm) | 4-11 | --- |

II. Suivi de la diversité faunistique

Le tableau 5 expose de manière détaillée l'inventaire des espèces recensées au sein des récifs en forme de palmier. L'analyse effectuée a permis de mettre en évidence la présence de 20 espèces distinctes, réparties en 9 classes zoologiques différentes. Cette diversité reflète la richesse et la complexité de l'écosystème étudié.

Tableau 5: Liste des espèces trouvés dans les récifs en palmier en 2024

| Embranchement | Classe | Famille | Espèce |
|----------------------|-----------------|------------------|-------------------------------------|
| Porifera | Demospongiae | Aplysinidae | <i>Aplysina aerophoba</i> |
| | | Spirastrellidae | <i>Spirastrella cunctatrix</i> |
| Annelida | Polychaeta | Serpulidae | <i>Spirobranchus triqueter</i> |
| | | | <i>Spirorbis</i> sp. |
| | | | - |
| | | | <i>Pseudopotamilla reniformis</i> |
| Echinodermata | Asteroidea | Echinasteridae | <i>Echinaster sepositus</i> |
| Ochrophyta | Phaeophyceae | Dictyotaceae | <i>Dictyota dichotoma</i> |
| Rhodophyta | Florideophyceae | Sphaerococcaceae | <i>Sphaerococcus coronopifolius</i> |
| | | Lithophyllaceae | <i>Lithophyllum</i> sp. |
| | | Hydrolithaceae | <i>Hydrolithon</i> |
| | | Corallinaceae | <i>Jania rubens</i> |
| | | Peyssonneliaceae | <i>Peyssonnelia squamaria</i> |
| Chlorophyta | Ulvophyceae | Halimedaceae | <i>Udotea petiolata</i> |
| | | Caulerpaceae | <i>Caulerpa taxifolia</i> |
| Cnidaria | Hydrozoa | Sertulariidae | <i>Sertularia perpusilla</i> |
| | | Plumulariidae | <i>Plumularia posidoniae</i> |
| | Anthozoa | Aliciidae | <i>Alicia cf. mirabilis</i> |
| Bryozoa | Gymnolaemata | Electridae | <i>Electra posidoniae</i> |
| Mollusca | Gastropoda | Rissoidae | <i>Rissoa</i> |

La structure du palmier que nous avons immergée dans les îles de Kuriat et l'îlot des Piégeons a révélé une biodiversité remarquable, similaire à celle que l'on trouve dans les prairies de *Posidonia oceanica*. Cette herbe marine endémique est connue pour sa richesse en espèces, et il semble que notre structure de palmier offre un habitat similaire pour une grande variété d'organismes marins.

Parmi les espèces que nous avons observées, plusieurs appartiennent à l'embranchement des Porifera, ou éponges. Cela comprend *Aplysina aerophoba* et *Spirastrella cunctatrix*, deux espèces de la classe des Demospongiae. Ces éponges sont connues pour leur capacité à coloniser divers substrats, y compris les structures artificielles comme notre palmier.



Figure 17: Eponge (*Aplysina aerophoba*) (©NGB)

Nous avons également observé plusieurs espèces d'annélides, notamment *Spirobranchus triqueter*, *Spirorbis sp.* et *Pseudopotamilla reniformis*. Ces polychètes, membres des familles des Serpulidae et des Sabellidae, sont souvent trouvés sur la *Posidonia oceanica*, ce qui suggère que notre structure de palmier offre un habitat similaire.



Figure 18: Annélide (*Pseudopotamilla reniformis*) (©NGB)

Parmi les échinodermes, nous avons noté la présence de *Echinaster sepositus*, une espèce d'astéroïde ou étoile de mer. Les étoiles de mer sont des prédateurs importants dans de nombreux écosystèmes marins, et leur présence indique un écosystème sain et diversifié.



Figure 19: Etoile de mer (*Echinaster sepositus*) (©NGB)

En ce qui concerne les algues, nous avons observé plusieurs espèces attachées à notre structure de palmier. Cela comprend *Dictyota dichotoma* (un membre des Ochrophyta), et plusieurs espèces de Rhodophyta, y compris *Sphaerococcus coronopifolius*, *Lithophyllum sp.*, *Hydrolithon*, *Jania rubens*, et *Peyssonnelia squamaria*. Ces algues jouent un rôle important

dans l'écosystème marin, fournissant de la nourriture et de l'habitat à de nombreux autres organismes.

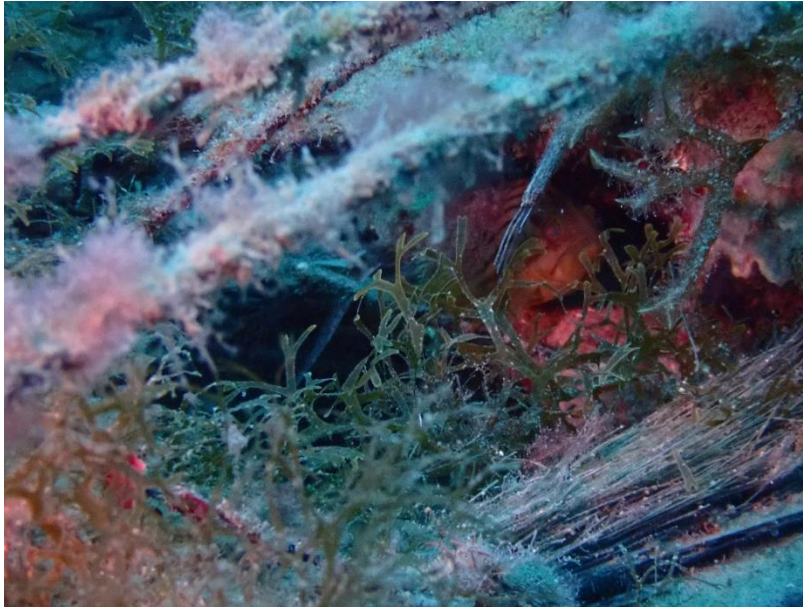


Figure 20: Algue verte (*Dictyota dichotoma*)

Enfin, nous avons observé plusieurs espèces de cnidaires, y compris *Sertularia perpusilla*, *Plumularia posidoniae* et *Alicia cf. mirabilis*. Les cnidaires, qui comprennent les coraux, les anémones de mer et les méduses, sont des composants clés de nombreux écosystèmes marins.



Figure 21: Cnidaire (*Alicia cf. mirabilis*) (©NGB)

Ces observations suggèrent que la structure du palmier que nous avons immergée offre un habitat riche et diversifié, similaire à celui de la *Posidonia oceanica*. Cela pourrait avoir des implications importantes pour la conservation de la biodiversité marine, en particulier dans les zones où la *Posidonia* est en déclin.

Aussi, parmi les espèces observées sur la structure du palmier, nous avons noté la présence de *Caulerpa taxifolia*, une algue invasive connue pour causer des problèmes environnementaux dans la mer Méditerranée. Bien qu'elle puisse sembler contribuer à la biodiversité locale, sa présence peut avoir des effets néfastes sur l'écosystème environnant, étouffant d'autres espèces et réduisant la diversité des espèces indigènes. Par conséquent, des efforts doivent être faits pour surveiller et contrôler sa propagation.



Figure 22: *Caulerpa taxifolia* dans les herbiers de posidonie (©NGB)

L'ichtyofaune de l'AMCP Kuriat est riche, dominée par les familles Centracantidae et Sparidae, avec *Spicara smaris*, *Diplodus vulgaris* et *Sarpa salpa* en abondance. La présence de poissons prisés par les pêcheurs, comme les sars et les mérus, souligne l'importance des mesures de protection pour rééquilibrer la structure biocénétique.

Afin d'étudier toute la diversité biologique aux alentours des récifs en palmier, un suivi de l'ichtyofaune a été effectué. Le Sar à tête noire (*Diplodus vulgaris*) a été fréquemment observé.

Ce poisson opportuniste et omnivore, prospère dans divers habitats côtiers, des zones rocheuses aux prairies de posidonies.

Le Castagnole (*Chromis chromis*), une espèce grégaire souvent présente en grands bancs, a également été recensé. Ces poissons, typiques des récifs rocheux et des zones côtières peu profondes, jouent un rôle essentiel dans la chaîne alimentaire marine en servant de proies pour les prédateurs plus grands. Quelques spécimens de Pagre rayé (*Pagrus pagrus*) ont aussi été identifiés. Cette espèce démersale affectionne les fonds sableux et les herbiers marins, où elle se nourrit principalement de crustacés et de mollusques.

De plus, la Grande vive (*Trachinus draco*), connue pour ses épines venimeuses, a été observée. Cette espèce benthique préfère les fonds sablonneux et vaseux, où elle peut se camoufler pour chasser. Enfin, le Rouget de roche (*Mullus surmuletus*), reconnaissable à sa nageoire dorsale colorée.



Figure 23: Suivi de l'ichtyofaune : (a) La Girelle, (b) Le crénilabre ocellée, (c) Sparailon, (d) Castagnole, (f) Sar à tête noire (©NGB)

Cette étude met en évidence la richesse et la diversité des espèces présentes autour des récifs en régime de palmier, soulignant leur importance écologique comme dispositif de restauration des habitats et des espèces.

Tableau 6 : Liste des espèces et abondance des poissons observées dans les récifs en régime de palmier

| Nom commun | Nom Scientifique | Abondance dans les herbiers de Posidonie | Abondance dans les récifs en palmier |
|---------------------|--------------------------------|--|--------------------------------------|
| Castagnole | <i>Chromis chromis</i> | 577 | 30 |
| Girelle nébuleuse | <i>Halichoeres nebulosus</i> | 34 | 0 |
| Sar à museau pointu | <i>Diplodus puntazzo</i> | 12 | 0 |
| Sar commun | <i>Diplodus sargus</i> | 48 | 0 |
| Sparillon | <i>Diplodus annularis</i> | 28 | 37 |
| Oblade | <i>Oblada melanura</i> | 548 | 0 |
| Saupe | <i>Sarpa salpa</i> | 171 | 0 |
| Crénilabre paon | <i>Symphodus tinca</i> | 167 | 16 |
| Sar à tête noir | <i>Diplodus vulgaris</i> | 83 | 40 |
| Serran écriture | <i>Serranus scriba</i> | 99 | 28 |
| Corbe | <i>Scienea umbra</i> | 9 | 0 |
| Calamar | <i>Loligo vulgaris</i> | 1 | 1 |
| Girelle commune | <i>Coris julis</i> | 13 | 23 |
| Loup de mer | <i>Dicentrarchus labrax</i> | 5 | 0 |
| Mulet-porc | <i>Chelon ramada</i> | 30 | 0 |
| Perroquet | <i>Sparisoma cretense</i> | 30 | 0 |
| Poulpe | <i>Octopus vulgaris</i> | 2 | 3 |
| Castagnole rouge | <i>Apogon imberbis</i> | 1 | 0 |
| Badéche dorée | <i>Epinephelus costae</i> | 3 | 4 |
| Rouget de roche | <i>Mullus surmuletus</i> | 3 | 2 |
| Mérou brun | <i>Epinephelus marginatus</i> | 4 | 5 |
| Sublet | <i>Symphodus rostratus</i> | 3 | 0 |
| Merle | <i>Labrus merula</i> | 1 | 0 |
| Daurade grise | <i>Spondyliosoma cantharus</i> | 1 | 0 |
| Gerle | <i>Spicara flexucosa</i> | 103 | 0 |
| Crénilabre ocellé | <i>Crenilabrus ocellatus</i> | 0 | 16 |
| La grande vive | <i>Trachinus draco</i> | 0 | 1 |

Dans le même contexte, de nombreuses espèces utilisent les récifs artificiels en régime de palmier comme une nurserie. Ces structures offrent un environnement protégé et riche en nutriments, idéal pour la croissance des jeunes organismes marins. Les missions de suivi ont révélé la présence de ponte de seiches et de calmars dans ces systèmes, démontrant leur importance cruciale pour la reproduction et le développement de ces espèces. Les récifs en palmier servent non seulement de refuges, mais aussi de sites de ponte, contribuant ainsi à la préservation de la biodiversité marine. Cette utilisation par les espèces marines illustre l'efficacité de ces récifs artificiels dans le soutien des écosystèmes marins.



Figure 24: Ponte de Calamar ((©NGB))

L'immersion des récifs en palmier dans les sites des îles Kuriat et de l'îlot des Pigeons a été réalisée dans des zones présentant une courantologie importante. Cette sélection stratégique de sites soumis à des courants significatifs était destinée à évaluer l'effet de la circulation de l'eau sur l'accumulation de matière organique autour des récifs artificiels. Initialement disposés en forme pyramidale, les récifs ont présenté une accumulation notable de matière organique au cours du suivi. Cette observation a conduit à une réévaluation de la distribution des récifs, avec un changement vers une disposition circulaire. Bien que cette nouvelle configuration n'ait pas entraîné une réduction significative de l'accumulation de matière organique, elle a tout de même démontré une certaine efficacité dans la gestion de ce phénomène. Enfin, la décision de reconfigurer les récifs en les espaçant de 3 mètres selon une disposition éparpillée a été prise.

Cette dernière configuration semble avoir eu un impact positif sur la réduction de l'accumulation de matière organique, suggérant une disposition plus large entre les récifs favorise une meilleure circulation de l'eau et limite les zones de stagnation propices à l'accumulation de débris organiques. Ces résultats soulignent l'importance de concevoir les structures de récifs artificiels de manière à optimiser la circulation de l'eau et à minimiser les impacts environnementaux indésirables, tout en favorisant leur rôle bénéfique dans la restauration des écosystèmes marins.

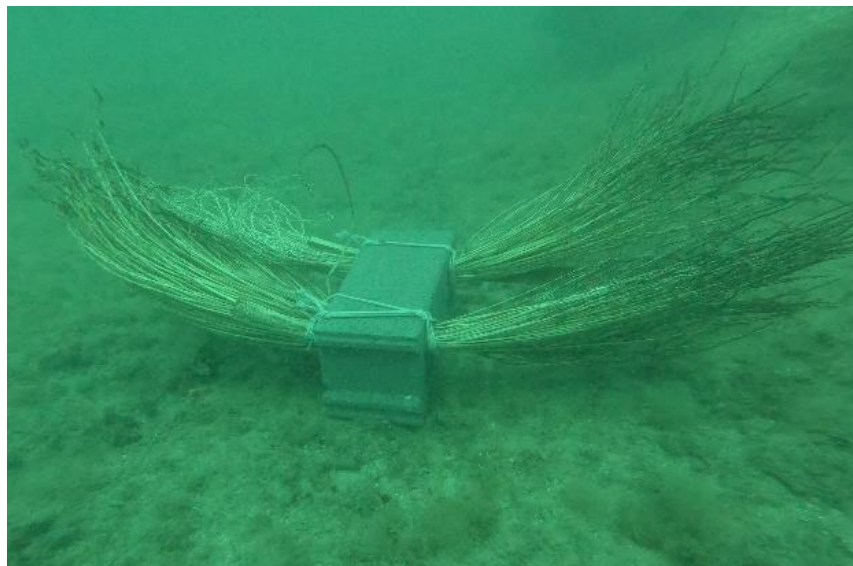


Figure 25: Les méthodes d'immersion des récifs en régime de palmier (a)Pyramidale (b)Circulaire, (c) Eparpillé (©NGB)

Conclusion

Les herbiers de posidonie de la baie de Monastir, en particulier ceux situés autour de l'îlot des Pigeons et des îles Kuriat, sont d'une importance écologique majeure. Cependant, ils sont menacés par des activités humaines telles que l'invasion biologique, le trafic maritime, le tourisme de masse, l'ancrage écologique et la pollution, ce qui entraîne leur fragmentation et leur dégradation, compromettant ainsi leur capacité à soutenir la biodiversité et à fournir des services écosystémiques cruciaux.

La restauration des zones désertifiées des herbiers de posidonie à l'aide de récifs artificiels en palmier a montré des résultats prometteurs. Ces récifs, conçus pour imiter les structures naturelles, offrent un substrat propice à la régénération des herbiers de posidonie. En fournissant des habitats, des refuges et des nurseries pour de nombreuses espèces marines, ces structures artificielles favorisent la biodiversité et renforcent la résilience des écosystèmes marins dégradés.

Les récifs en palmier réduisent la pression anthropique sur les herbiers de posidonie en attirant diverses espèces marines, qui les utilisent comme habitat, refuge et nurserie. Cela diminue l'impact des activités humaines, comme la pêche et l'ancrage des bateaux, sur les herbiers naturels. En enrichissant la biodiversité locale et augmentant la résilience des populations marines, ces récifs artificiels complètent efficacement les efforts de conservation des écosystèmes marins.

En conclusion, la combinaison de la préservation des herbiers de posidonie et de la restauration des zones dégradées par l'utilisation de récifs en palmier est cruciale pour maintenir la biodiversité et la résilience des écosystèmes marins de la baie de Monastir. Il est impératif de mettre en place des mesures de protection efficaces tout en continuant à développer et à optimiser les techniques de restauration. Cette approche intégrée contribuera à la santé et à la durabilité à long terme des écosystèmes marins méditerranéens, assurant ainsi leur résilience face aux défis environnementaux actuels et futurs.

Références

- Afli A., 2002. Les peuplements benthiques du Golfe de Hammamet. In *Élaboration d'une étude de création d'aires marines protégées et de récifs artificiels. III - Golfe de Hammamet* (183 pp). MEAT-INSTM, Salammbô, Tun, 129–137.
- Afli A., Ben Mustapha K., Jarboui O., Bradai M.N., Hattour A., Langar H., Sadok S et Bouagina A. 2005. *La biodiversité marine en Tunisie*. Direction Générale de l'Environnement et de la Qualité de la Vie et Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, 21pp.
- Afli, A., Ben Mustapha, K., Jarboui, O., Bradai, M., Hattour, A., Langar, H., Sadok, S., Bouagina, A., (2005). *La biodiversité marine en Tunisie*. Direction Générale de l'Environnement et de la Qualité de la Vie & Institut National des Sciences et Technologies de la Mer.20.
- Alhammoud B., 2005. *Circulation générale océanique et variabilité à méso-échelle en Méditerranée orientale : approche numérique*. Thèse de doctorat en océanographie physique à l'Université de la Méditerranée Aix-Marseille-II, 192 pp.
- Anonyme, 2000. *La mer Méditerranée*. Document extrait du cédérom « les géonautes enquêtent sur les océans ». OCA/CNES 2000.
- AUGIER H., 1985. L'herbier à *Posidonia oceanica*, son importance pour le littoral méditerranéen, sa valeur comme indicateur biologique de l'état de santé de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologiques et les études d'impact. *Vie marine*, 7 : 85-113.
- Ayachi M.2016. *Modélisation d'éléments traces (T, 3He, Nd, 14C) en mer Méditerranée pour l'étude des cycles biogéochimiques et de la circulation océanique*
- Azouz A. 1973. Les fonds chalutables de la région Nord de la Tunisie : cadre physique et biocénose benthique. *Bulletin N°2*. Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche. Salammbô, 473- 563p.
- Azzouz A. 1973. Les fonds chalutables de la région Nord de la Tunisie. *Bulletin de l'Institut Océanographique de Pêche*, Salammbô, 2, 473–564.
- Balloumi, M. 2012. *Etude des impacts socioéconomiques d'Aires Marines Protégées méditerranéennes : le cas des îles Kuriat*. Plan Bleu, Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM ,49.
- Balmford A., Bennun L., Brink B.T., Cooper D., Cote I.M., Crane P., Dobson A., Dudley N., Dutton I., Green R.E., Gregory R.D., Harrison J., Kennedy E.T., Kremen C., LeaderWilliams N., Lovejoy T.E., Mace G., May R., Mayaux P., Morling P., Philipps J., Redford K.H., Ricketts T.H., Rodriguez J.P., Sanjayan M., Schei P.J., Van Jaarsveld A.S., Walther B.A., 2005. The Convention on Biological Diversity's 2010 Target. *Science* 307, 212-213.
- Ben Haj, S., El Asmi,S. ,Limam ,A., Guellouz ,S., Zarouk ,A ., Boufares ,S. 2015. *Elaboration d'un plan de gestion pour l'aire marine et côtière protégée des îles Kuriat (Tunisie)*. CAR/ASP, APAL. 80.

- Ben salah, F.** 2016. Mise en place d'un SIG pour l'identification des sites d'ancrage écologique autour des îles Kuriat et conception du corps mort. Projet de fin d'études du cycle ingénieur. Institut National Agronomique de Tunisie (INAT). Université de Carthage.
- Ben Younès H.**, 1981, La présence punique au Sahel d'après les données littéraires et archéologiques, Diplôme de Recherches Approfondies non publié, Université de Tunis.
- Boudouresque C. F., Arrighi F., Finelli F., Lefevre J.R.** (1995) Arrachage des faisceaux de *Posidonia oceanica* par les ancres : un protocole d'étude. Rapp. Commission Internationale de l'Exploration de la Mer Méditerranée 34 : 21-22
- Boudouresque C.F. & Meinez A.**, 1982. Découverte de l'herbier de Posidonie. Cah. Parc. Nat. Port-Cros, Fr, 4, 1-3 + 1-79.
- Boudouresque C.F.**, (2006). Les herbiers *Posidonia oceanica* : 10-24pp. In : Boudouresque, C.F., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., Diviacco, G., Meinez, A., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., Tunesi, L., 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia Oceanica*. Ramoge Publ., Monaco : 200 Pp
- Boudouresque C.F., GIRAUD G., PERRET-BOUDOURESQUE M.**, (1980b). Bibliography On Vegetation and Ecosystems of *Posidonia Oceanica*, Part II. Excerpta Botanica., 20(2B) : 125-135.
- Boudouresque C.F., JEUDY DE GRISSAC A.**, 1983. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : les interactions entre la plante et le sédiment. J. Rech. océanogr, 8(2-3): 99-122.
- Boudouresque C.F., Meinez A.**, (1982). Découverte De L'herbier De Posidonie. Cah. Parc Nation. Port-Cros, Fr., 4 : 1-79
- BOUDOURESQUE.C. F et MEINESZ.A.**, 1982. Découverte de l'herbier de Posidonie. Cahiers du Parc national de Port-Cros, 4 : 1-79.
- BOUDOURESQUE.C.F., BERNARD.G., BONHOMME.P., CHARBONNEL.E., DIVIACCO.G., MEINESZ.A., PERGENT MARTINI.C., RUITTON.S, TUNESI.L.**, 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. Ramoge publ, Monaco : 200 pp
- CAR/ASP.**, 2003. Projet pour la préparation d'un Plan d'Action Stratégique pour la Conservation de la Biodiversité dans la Région Méditerranéenne (PAS - BIO) : Le coralligène en Méditerranée. Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées, 65 pp.
- CAYE G., MEINESZ A.**, 1984. Observation sur la floraison et la fructification de *Posidonia oceanica* dans la baie de Villefranche et en Corse du sud. In: International Workshop on *Posidonia oceanica*., GIS Posidonie publ. 1, 193-201.
- Charbonnel E., Bernard G., Bonhomme P., Escoffier B.**, (2000). Evaluation Et Suivi De L'impact De La Pose D'une Canalisation Sur L'herbier De Posidonie. Canalisation "Sous-Marine" D'eau Potable Raccordant Les Îles De Ratonneau Et D'if (Rade De Marseille, Bouches-du-Rhône). Rapport final. Contrat ministère de la Culture et de la Communication, Société des Eaux de Marseille et GIS Posidonie. GIS Posidonie publ., Fr. : 1-42

- Cinelli, F., Fresi, E., Lorenzi, C., Mucedola, A., 1995. La *Posidonia oceanica*. Un contributo per la salvaguardia del principale ecosistema marino del Mediterraneo. Rivista Maritima: 1-271pp.
- Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Kaschner, K., Ben Rais Lasram, F., Aguzzi, J., Ballesteros, E., Nike Bianchi, C., Corbera, J., Dailianis, T., Danovaro, R., Estrada, M., Froggia, C., Galil, B., M. Gasol, J., Gertwagen, R., Gil, J., Guilhaumon, F., Kesner-Reyes, K., Kitsos, M., Koukouras, A., Lampadariou, N., Laxamana, E., M. López-Fé de la Cuadra, C., K. Lotze, H., Martin, D., Mouillot, D., Oro, D., Raicevich, S., Rius-Barile, J., Saiz-Salinas, J.I., San Vicente, C., Somot, S., Templado, J., Turon, X., Vafidis, D., Villanueva, R., Voultsiadou, E. 2010. The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. PLoS One. 5, 11842.
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., Van Den Belt, M., (1997). The Value of The World's Ecosystem Services and Natural Capital. Nature 387, 253–260pp. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Demeester M.L, Mercier V. 2022. La mer Méditerranée ; Changement climatique et ressources durables. Presses universitaires d'Aix-Marseille, 218pp.
- Derneži, D., et al. 2010. Profil d'écosystème Hotspot De La Biodiversité Du Bassin Méditerranéen. CEPF.
- Deter J., Holon f., Descamp P., 2010. Surveillance de l'herbier de Posidonie – Année 2010. Evaluation de l'évolution de l'herbier de Posidonie entre 2000 et 2010 sur le littoral des Maures dans le cadre de l'observatoire marin du SIVOM. Rapport Final. Contrat SIVOM du littoral des Maures et Andromède Océanologie publ : 69 p.
- Dimassi, N. 2015. Inventaire Aranéologique de l' Archipel des îles Kuriat, (April 2015).
- Eriksson O., Ehrlén J., 2001. Landscape fragmentation and the viability of plant populations. In: Silvertown J., Antonovics J., eds. Integrating ecology and evolution in a spatial context. Oxford, United Kingdom: Blackwell Publications, 157-175.
- Fiche d'information sur les espèces aquatiques protégées - Sterne naine. Liste rouge UICN des oiseaux nicheurs menacés de France métropolitaine .2008.
- Gambi M.C., BUIA M.C., CASOLA E., SCARDI M., 1989. Estimates of water movement in *Posidonia oceanica* beds: a first approach. In. International workshop on *Posidonia* beds. GIS Posidonie publ., Fr., 2: 101-112
- Giraud G., 1977. Contribution à la description et à la phénologie des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doct. Spécialité, Univ. Aix-Marseille II, Fr. : 1-150.
- Giraud G., 1977a. Contribution à la description et à la phénologie des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doct. Spécialité, Univ. Aix-Marseille II, Fr. : 1-150.
- Goibert S., Cambridge M. L., Velimirov B., Pergent G., Lepoint G., Bouqueneau J. M., Dauby P., Pergent-martini C., Walker D. L. 2006. Biology of *Posidonia*. In: Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation (eds.: W. D. Larkum A., J. Orth R., M. Duarte C.). Springer: Dordrecht. 387- 408.
- Godron M., Forman R.T.T., 1983. Landscape modification and changing ecological characteristics. In: Mooney H.A., Godron M., eds. Disturbance and ecosystems: components of response. New-York: Springer-Verlag, 12-28.

- Harrisson S., Bruna E., 1999. Habitat fragmentation and large-scale conservation: what do we know for sure? *Ecography* 22, 225-232.
- Jribi I., Bradai, M. N., Bouain, A. 2005. Nesting activity of the loggerhead turtle *Caretta caretta* in tunisia. Proceedings, Second Mediterranean Conference on Marine Turtles, Kemer, 2005. Faculté des Sciences & Institut Nationale des Sciences et Technologies de la mer de Sfax. Université de Sfax.
- Kantin R., Andral B., Debard S., Denis J., Derolez V., Emery E., Ganzin N., Hervé G., Laugier T., Le Borgne M., L'Hostis D., Oheix J., Orsoni V., Raoult S., Sartoretto S. & Tomasino C., 2006. Le Référentiel Benthique Méditerranéen (REBENT MED). IFREMER. R. INT. DOP/ LER-PAC/ 06-08, 124 pp.
- Lake P.S., 2001. On the maturing of restoration: Linking ecological research and restoration. *Ecol. Manag. Restor.* 2, 110-115.
- Leclerc, C. 2019. Biodiversité endémique insulaire face aux changements globaux : état des lieux dans un contexte de conservation. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay. Université Paris Saclay (COMUE).186.
- Madgwick F.J., Jones T.A., 2002. Europe. In: Perrow M.R., Davy A.J., eds. Handbook of ecological restoration. Principles of restoration. Vol. 2. Cambridge: Cambridge university press,32-56.
- Meinesz.A et Lefevre.J-R, 1984. Régénération de l'herbier à *Posidonia oceanica* quarante années après sa destruction par une bombe dans la rade de Villefranche, 1: 39-44.
- Mittermeier, R. A, Gil, P.R., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C.G. Lamoreux, J., Da Fonseca, G.A.B. 2004. Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. University of Chicago Press for Conservation International.
- Mittermeier, R. A, Gil, P.R., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C.G. Lamoreux, J. & Da Fonseca, G.A.B. (2004). Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. University of Chicago Press for Conservation International.
- Molinier R. & Picard J., 1952. Recherche sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. Oceanogr. Paris, Fr*, 27 (3), 257-2.
- MOLINIER.R ET ZEVACO.C., 1962.Etudes écologiques et biocénotiques dans la baie du Brus (Var), Fascicule 3:étude statistique et physiologique de la croissance des feuilles de Posidonies (*Posidonia océanica* Delile). Monaco,59 (1234) :1-46.
- Mouldi B., Atoui A., et Sammari Ch. 2020. Analyse de mesures courantométriques dans le golfe de Hammamet. Institut National des Sciences et technologies de la Mer,47.
- Murphy, H. M., & Jenkins, G. P. 2010. Observational methods used in marine spatial monitoring of fishes and associated habitats : a review. *Marine and Freshwater Research*, 61(2), 236-252.
- Notre Grand Bleu. 2022. Rapport relatif au suivi des sites de ponte des tortues marines sur les îles Kuriat et la flèche d'Edzira -Ras Dimes. Monastir, Tunisie.
- OMMM, 2004. Etude de fréquentation des sites de plongée de la Martinique. Fort de France. 43p.

- Ouborg N.J., 1993. Isolation, population size and extinction: the classical and metapopulation approaches applied to vascular plants along the Dutch Rhine-system. *Oikos* 66, 298-308.
- Oueslati A., 2004, Littoral et aménagement en Tunisie, ORBIS, Tunis.
- Ouesletti, A. 2016. The islands of the northern coast of Tunisia. About the interest of a geomorphology little known and studied: the case of the archipelago of La Galite. *Dynamiques environnementales*. 38, 160-187.
- Pasqualini V., Pergent-Martini C., Pergent G., 1998. Use of Remote Sensing for the Characterization of the Mediterranean Coastal Environment: The Case of *Posidonia oceanica*. *Journal of Coastal Conservation*, 4 : 59-66.
- Pergent G., Bazairi H., Bianchi C.N., Boudouresque C.F., Buia M.C., Clabaut P., Harmelin-Vivien M., Mateo M.A., Montefalcone M., Morri C., Orfanidis S., Pergent-Martini C., Semroud R., Serrano O., Verlaque M., 2012. Mediterranean seagrass meadows: resilience and contribution to climate change mitigation. A short summary. IUCN publ (ISBN 978-2-8317-1457-8), Gland, Málaga: 1-40.
- Pergent G., Pergent-Martini C. and Boudouresque C.F., (1995). Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : état des connaissances. *Mésogée* 54 :3-29.
- 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. *Aquat. Bot.* 42: 49-66.
- Pergent-Martini.C, BOUDOURESQUE.C-F, PASQUALINI.V, PERGENT.G, 21 November 2006: Impact of fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows: a review: 10 page.
- Pergent, G., 1991. Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en Méditerranée. *Oceanis*, 17 (4) : 341-350.
- Pergent, G., Pergent-Martini, C., BOUDOURESQUE, C. F, 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : état des connaissances. *Mésogée*, 54 : 3-27.
- Pergent-Martini C., Leoni V., Pasqualini V., Ardizzone G.D., Balestri E., Bedini R., Belluscio A., Belsher T., Borg J., Boudouresque C.F., Boumaza S., Bouquegneau J.M., Buia M.C., Calvo S., Cebrian J., Charbonnel E., Cinelli F., *Posidonia Oceanica* Ok 3 21/04/06 12:31 Page 192 193 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., Piazzi L., Pirrotta M., Relini G., Romero J., Sanchez-Lizaso J.L., Semroud R., Shembri P., Shili A., Tomasello A., Velimirov B., 2005. Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: use and application. *Ecol. Indicators* 5: 213-230
- Plante M.E., 2006. Tunisie - géographie et territoire.WAT Workshop atelier/terrain Mahdia 2006, 29 pp.
- Procaccini G, Buia MC, Gambi MC, Perez M, Pergent G, Pergent-Martini C, Romero J (2003). Seagrass status and extent along the Mediterranean coasts of Italy, France and Spain. In: Green EP, Short FT (eds) World atlas of seagrasses. Prepared by the UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press, Berkeley, CA, p 48-58
- Ramos espla, A.A., Ben Mustapha, K., Ben moussa, H., Guellouz, S., Zarrouk, A., Benakla, L., Othman, A., Taba, H., Amor, M.A., Oudi, M.A, Kerkenni, H. 2010. Rapport de la mission

- d'étude des habitats marins et des principales espèces des îles Kuriat (Tunisie) (octobre 2008). CAR/ASP, INSTM Salammbô, UA/UBM, APAL.
- Rodríguez-Rodríguez, Malak,A. 2022. An assessment of marine biodiversity protection in the Mediterranean Sea: a threatened global biodiversity hotspot, Interreg Med Biodiversity Protection Project.
- Rodríguez-Rodríguez, Malak,A. 2022. An assessment of marine biodiversity protection in the Mediterranean Sea: a threatened global biodiversity hotspot, Interreg Med Biodiversity Protection Project.
- Sartoretto, S., Baucour, C., Pergent, G. 2012. Caractéristiques biologiques - biocénoses Habitats particuliers de l'infralittoral : herbier à *Posidonia oceanica*. Ifremer & Université de Corse.
- SER. 2004. The SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group) international primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration International, www.ser.org & Tucson.
- Sghaier, Y., 2013. Les Magnoliophytes marines de la Tunisie : Distribution, croissance et production primaire. Thèse de doctorat en Sciences Biologiques. Faculté des Sciences de Tunis. Université de Tunis El Manar.
- Sghaier.Y-R, (2006). Etude comparative de deux herbiers de *Posidonia oceanica* des côtes orientales de la Tunisie : phénologie, lépidochronologie et Amphipodes associés, 154pp.
- Soulé M.E., Orians G.H., 2001. Conservation biology research: Its challenges and contexts. In: Soulé M.E., Orians G.H., eds. Conservation biology, Research priorities for the next decade: Society for Conservation Biology, Island press, 271-285.
- Tchernia P., 1980. Descriptive regional oceanography. Pergamon Marine Series, London.
- UNEP. 2007. Global environmental outlook - GEO 4. Valletta, Malta: Progress press.
- VANGELUWE D., 2007. Effets de la transplantation sur la biométrie et sur la dynamique des nutriments, du carbone et de la chlorophylle de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Université de Liège, Faculté des Sciences Département des Sciences et Gestion de l'environnement Océanographie biologique, 196 p.
- VIDEAU C., MERCERON M., (1992). Impact de la pisciculture marine intensive sur l'environnement. Revue bibliographique. Direction de l'Environnement et de l'aménagement littoral, Ifremer publ., Fr. : 1-106.
- Wali M.L., 1987. The structure, dynamics, and rehabilitation of drastically disturbed ecosystems. In: Khoshoo T.N., ed. Perspectives in Environmental Management. New Delhi, India: Oxford and IBH publishing, 163-183.
- Westhoff V., 1983. Man's attitude towards vegetation. In: Holzner W., Werger M.J.A., Ikusima I., eds. Man's impact on vegetation. The Hague, Holland: Geobotany 5, Dr. W Junk Publishers, 7-21.
- Zenchi, H., & Abdoun, F. (2015). Palmier-dattier: Botanique et écologie. Encyclopédie berbère, (37), 6067-6076.

Annexes

Annexe 1 : Classification des densités par m² de l'herbier de Posidonie en fonction de la profondeur (en mètres). (D'après Pergent *et al.*, 2008 ; Pergent-Martini *et al.*, 2010)

| Profondeur (m) | Excellent | Bon | Normal | Médiocre | Mauvais |
|----------------|-----------|------------|-----------|-----------|---------|
| 1 | > 1133 | 1133 à 930 | 930 à 727 | 727 à 524 | < 524 |
| 2 | > 1067 | 1067 à 863 | 863 à 659 | 659 à 456 | < 456 |
| 3 | > 1005 | 1005 à 808 | 808 à 612 | 612 à 415 | < 415 |
| 4 | > 947 | 947 à 757 | 757 à 567 | 567 à 377 | < 377 |
| 5 | > 892 | 892 à 709 | 709 à 526 | 526 à 343 | < 343 |
| 6 | > 841 | 841 à 665 | 665 à 489 | 489 à 312 | < 312 |
| 7 | > 792 | 792 à 623 | 623 à 454 | 454 à 284 | < 284 |
| 8 | > 746 | 746 à 584 | 584 à 421 | 421 à 259 | < 259 |
| 9 | > 703 | 703 à 547 | 547 à 391 | 391 à 235 | < 235 |
| 10 | > 662 | 662 à 513 | 513 à 364 | 364 à 214 | < 214 |
| 11 | > 624 | 624 à 481 | 481 à 338 | 338 à 195 | < 195 |
| 12 | > 588 | 588 à 451 | 451 à 314 | 314 à 177 | < 177 |
| 13 | > 554 | 554 à 423 | 423 à 292 | 292 à 161 | < 161 |
| 14 | > 522 | 522 à 397 | 397 à 272 | 272 à 147 | < 147 |
| 15 | > 492 | 492 à 372 | 372 à 253 | 253 à 134 | < 134 |
| 16 | > 463 | 463 à 349 | 349 à 236 | 236 à 122 | < 122 |
| 17 | > 436 | 436 à 328 | 328 à 219 | 219 à 111 | < 111 |
| 18 | > 411 | 411 à 308 | 308 à 204 | 204 à 101 | < 101 |
| 19 | > 387 | 387 à 289 | 289 à 190 | 190 à 92 | < 92 |
| 20 | > 365 | 365 à 271 | 271 à 177 | 177 à 83 | < 83 |

Annexe 2 : Fiche de terrain de suivi des paramètres de qualité des herbiers de posidonie dans les îles Kuriat

COMPTE-RENDU

De réunion / De mission de terrain

| | |
|----------------------------|---|
| Note N° | |
| Activité/ Projet | Projet The Med Fund |
| Responsable PV | |
| Date | |
| Destinataire | <input checked="" type="checkbox"/> NGB |
| Objet | Compte-rendu de la mission : |
| Lieu | |
| Durée de l'activité | |

Etaient présents (par ordre alphabétique des prénoms) :

Objectif de la mission :

Objectifs réalisés :

La mission terrain a abouti aux résultats suivants :

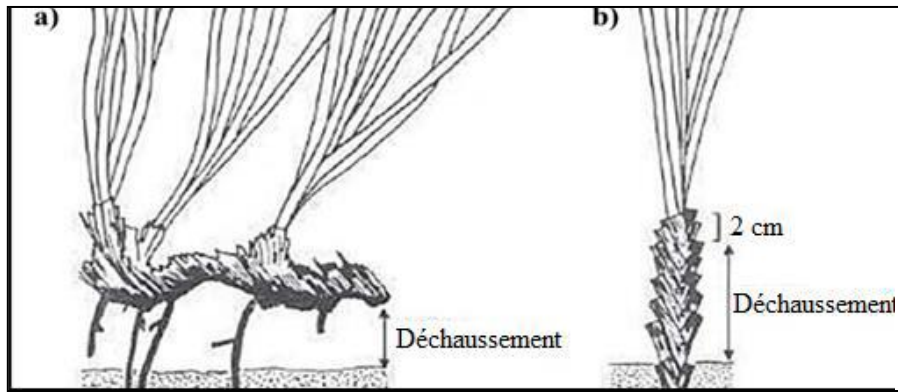


Figure 28 : Conventions pour la mesure du déchaussement des rhizomes (a) plagiotropes et (b) orthotropes (Boudouresque *et al.*, 1980).

| Site | Déchaussement Rhizomes plagiotropes moyenne | Déchaussement Rhizomes orthotropes moyenne |
|------|--|---|
| R1S1 | | |
| R1S2 | | |
| R1S3 | | |
| R2S1 | | |
| R2S2 | | |
| R2S3 | | |
| R3S1 | | |
| R3S2 | | |
| R3S3 | | |
| R4S1 | | |
| R4S2 | | |
| R4S3 | | |

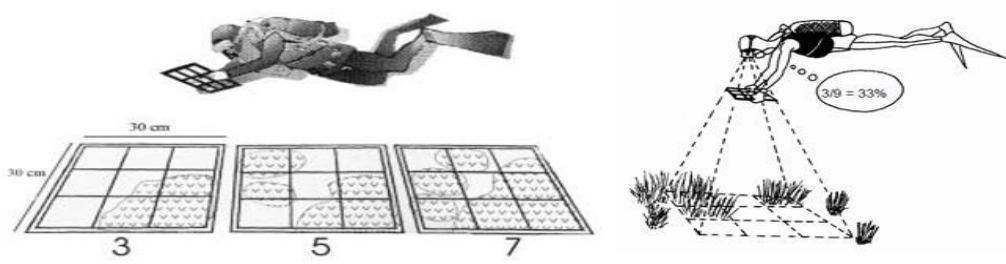


Figure 29 : Technique de mesure du recouvrement de l'herbier à *P.oceanica* (Gravez et al., 1995).

| Site | Recouvrement moyenne (%) | Profondeur moyenne (m) |
|------|--------------------------|------------------------|
| R1 | | |
| R2 | | |
| R3 | | |
| R4 | | |

Annexe 3 : Fiche de suivi des récifs en palmier

Fiche de terrain
Suivi des récifs en palmier

| | |
|-------------------------|----------------------------|
| Informations générales | |
| Nom d'observateur | Date d'observation : |
| Coordonnées GPS | Précision sur le lieu : |
| Latitude : | |
| Longitude : | N° Station : |
| Profondeur : | Nombre des récifs : |

| | | | | | |
|---------------------|--------------------|-------|-------|------|-----------|
| | Graviers coquilles | Roche | Sable | Vase | Posidonie |
| Nature des substrat | | | | | |

Ponte :

Ponte Calamar

Ponte seiche

Interprétation

| | | | |
|---------------|---------------|---------------|--------------|
| | Affouillement | Enfouissement | Effondrement |
| Nb des récifs | | | |

Fiche individuelle de comptage des poissons
(N'oubliez pas de prendre des photos)

| | | |
|---------|--|--------------------------|
| Espèces | | Abondance (Nb individus) |
|---------|--|--------------------------|

| | | | | | | | | |
|---------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Poulpe | | | | | | | | |
| Crevettes | | | | | | | | |
| Crabes | | | | | | | | |
| Autres | | | | | | | | |
| Copépodes | | | | | | | | |
| Décapodes | | | | | | | | |
| Isopodes | | | | | | | | |
| Oursin | | | | | | | | |
| Etoile de mer | | | | | | | | |
| Annélides | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Fiche individuelle des invertébrés fixés et des végétaux marquant la colonisation du récif

(N'oubliez pas de prendre des photos)

| Espèces | % de recouvrement | | |
|----------------|-------------------|----------|-------|
| | < 25% | 25 à 75% | > 75% |
| Algues | | | |
| Anémones | | | |
| Balanes | | | |
| Vers tubicoles | | | |
| Hydres | | | |
| Ascidies | | | |
| Bivalves | | | |
| Gastéropodes | | | |

Annexe 4 : Les espèces d'ichtyofaune trouvés dans les récifs en palmier



Castagnole



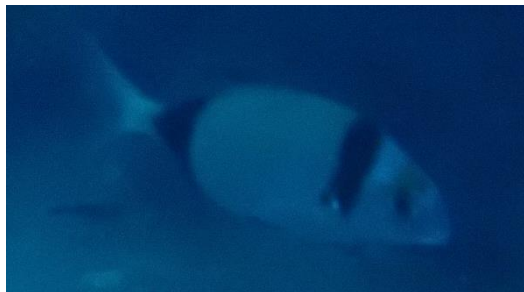
Badéche



Girelle



Pagre rayé



Sar à tête noir



Mérou brun