

République Tunisienne

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université de Monastir

Institut Supérieur de Biotechnologie de Monastir

Rapport de projet de fin d'étude

Filière : Licence appliqué en biotechnologie

Parcours : Licence Co-construite Biotechnologie marine et aquaculture

Réalisé par :

Abir RIHANE

La prospection et l'identification des récifs barrières de Posidonie aux alentours des îles Kuriat

Soutenu le 10 Juin 2022, devant le jury composé de :

Examineur	Dr. Hachem BEN NACEUR
Président	Dr. Chedia JABER
Encadrant	Dr. Sabria BARKA (ISBM)
Co-encadrant	Dr. Manel BEN ISMAIL (NGB)

Année Universitaire : 2021/2022

Avant-propos

Ce projet de fin d'étude s'est déroulé de Janvier 2022 à Mai 2022 à l'île Kuriat au sein du local de l'association Notre Grand Bleu (NGB)

Ce projet a été dirigé par Mme Sabria BARKA (Encadreur du PFE et Enseignante à ISBM) et Mme Manel BEN ISMAIL (Co-encadreur du PFE et la directrice de l'association NGB) et a bénéficié des conseils des écogardes de l'association NGB ; en particulier le président de l'association Mr Ahmed GHDIRA.

Ce projet est financé par l'Association NGB.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A la lumière de mes yeux et le bonheur de ma vie, à celle qui a donné un sens à mon existence, à celle qui a sacrifié sa vie pour m'offrir un climat idéal de travail, ma mère « Aida RIHANE » qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'études, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné l'amour, la confiance, le courage et la sécurité.

✍️

A l'homme de ma vie, my first love, à toi mon père « Adel RIHANE », aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Mes chers parents, je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance.

✍️

A toute ma famille spécialement mes frères « Youssef et Aziz RIHANE », mes grands-parents « Nour Edinne RIHANE » et « Chadlia BEN ISSA », mes tantes « Amira et Mouna RIHANE » et ma cousine « Aya YOUNSI » qu'ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

✍️

A la mémoire de mon grand-père « Youssef RIHANE », que son âme repose en paix. J'imagine quelle serait sa joie en assistant à l'aboutissement de ce travail. J'aurais tant aimé qu'il soit présent mais, malheureusement, Dieu en a décidé autrement. J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie ce modeste travail comme preuve de reconnaissance de la part de sa petite fille qui a toujours prié pour le salut de son âme.

✍️

A mes amies d'enfance « Safa et Malèk RIHANE » pour vos soutien et merci pour les très bons moments qu'on avait partagés ensemble. Vous êtes dans mon cœur, affectueusement.

✍️

A tous mes amis et collègues qui m'ont supporté et m'ont aidé surtout Sihem HAJ KHALIFA et Hanen MTIRI. Vous êtes un vrai trésor.

✍️

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 remercier Dr. Sabria BARKA, enseignante à l'Institut Supérieur De Biotechnologie Monastir, qui a accepté l'encadrement de mon projet ainsi que pour le temps qu'elle m'a consacré. Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans ses qualités scientifiques et humaines et à l'assistance continue qu'elle m'a prodiguée tout au long de mon travail. Je n'aurais pu réaliser ce mémoire sans son aide précieuse et ses conseils utiles. Je la témoigne ma profonde gratitude et mon plus grand respect.

J'exprime également ma profonde reconnaissance et mes plus vifs remerciements à Dr. Manel BEN ISMAIL, directrice de l'association Notre Grand Bleu à Monastir pour m'avoir encadrée tout au long de mon stage du projet de fin d'étude. Merci beaucoup pour votre assistance et vos efforts afin de réaliser ma partie pratique convenablement.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury monsieur Dr. Hachem BEN NACEUR, présidente du jury ainsi que madame Dr. Chedia JABER, examinatrice pour l'intérêt qu'elles ont porté à mon sujet en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs remarques et suggestions. Votre présence pour moi est un réel plaisir et une profonde fierté.

Je remercie infiniment Mme Rym ZAKHAMA de l'acceptation de faire mes analyses dans laboratoire de Recherche de Diversité, Gestion et Conservation des Système à la faculté de sciences Tunis, pour l'accueil chaleureux, sa patience et sa générosité à soutenue et solidifié mes connaissances pratiques.

Mes vifs remerciements vont aussi à Mr.Yassine Ramzi SGHAIER qui toujours m'a guidé qu'on j'ai besoin et m'a aidé par ces connaissances dans ce domaine par sa patience et son temps.

Je remercie très chaleureusement toutes les personnes qui m'ont soutenue, aidées et conseillées, particulièrement le président de l'association Mr.Ahmed GHEDIRA.

Je voudrais aussi remercier toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide logistique dans la réalisation du terrain : Arij SADRAOUI, Sahbi DORAI, Mr.Ahmed GHEDIRA, Hamza BETBOUT, Hedi CHOUCHE, Seif Eddine TRIKI, Amjed KHIEREDDINE...

SOMMAIRE

Avant-propos	2
Dédicaces	3
Remerciement	4
Liste des figures	7
Liste des tableaux	9
Liste des abréviations	10
Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	3
I) Les herbiers de <i>Posidonia oceanica</i>	4
1) Présentation de la phanérogame <i>Posidonia oceanica</i>	4
2) Cycle de vie	7
a) Reproduction sexuée	7
b) Reproduction asexuée	8
1) Facteurs de variabilité	9
a) Lumière	9
b) Salinité	9
c) Température	9
d) Hydrodynamisme et sédimentation	9
2) L'intérêt écologique de Posidonie	9
I) Les Récifs barrière de Posidonie	11
1) Définition et formation de récif barrière de Posidonie	11
a) Définition	11
b) Formation du récif barrière de Posidonie	11
2) Les récifs barrières des îles Kuriat	12
Chapitre II : Matériel et Méthodes	14
I) Caractéristique de la zone d'étude	15
1) Bathymétrie	16
2) Courantologie	17
3) La marée	17
4) Climat	17
a) La température	17
b) Les vents	17
II) Matériel et techniques d'échantillonnage	18

1) Déroulement de la mission.....	18
2) Matériel d'échantillonnage	18
3) Stratégie d'échantillonnage.....	20
4) Echantillonnage.....	22
5) Estimation de l'état des herbiers	23
a) Densité de faisceaux	23
b) Taux de recouvrement	24
c) Mesure du déchaussement des rhizomes :.....	25
6) Analyse phénologique.....	26
7) Analyse lépidochronologique	27
8) Cartographie des 4 récifs barrières	28
Chapitre III : Résultats.....	29
I) L'évolution des récifs barrières	30
II) Etude de la densité, du recouvrement et du déchaussement du récif barrière de <i>P. oceanica</i> à l'Ouest de la petite Kuriat	31
1) Estimation de la densité des faisceaux de feuilles.....	31
2) Estimation visuelle du taux de recouvrement	33
3) Estimation du pourcentage de déchaussement	33
I) Analyses des échantillons	34
1) Analyse phénologique	34
2) Analyse lépidochronologique.....	36
Chapitre IV : Discussion.....	38
Conclusion générale et perspectives	43
Références bibliographique	44
Référence Web	49
Annexe.....	50

Liste des figures

Figure 1: Distribution géographique de <i>Posidonia oceanica</i> en Méditerranée (Pergen G et al, 2012).....	4
Figure 2: Les différentes parties de la plante <i>Posidonia oceanica</i> (Vangeluwe, 2007).....	5
Figure 3: Dissection d'un faisceau de <i>Posidonia oceanica</i> pour l'étude phénologique (échelle 1/2). La classification de chaque structure foliaire est indiquée (exemple : Ad1, B1, I1). (Pergent, 2007).....	6
Figure 4: Photo des écailles de la Posidonie	6
Figure 5: Cycle d vie de <i>P.oceanica</i>	7
Figure 6: Fruit ou olive de mer.....	8
Figure 7: Les services écologiques et économiques fournie par <i>Posidonia oceanica</i> (Arnoaurd.A, 2019)	10
Figure 8: Piégeage du sédiment dans un herbier à <i>Posidonia oceanica</i> modifié d'après Boudouresque et Meinesz, 1982.....	10
Figure 9: Photo des herbiers de Posidonie au voisinage de la surface	11
Figure 10: La croissance en hauteur des mattes par l'herbier de Posidonies ; en mode calme ; il se forme d'abord un récif-frangeant (B) qui évolue en récif barrière; isolant derrière lui un lagon.	12
Figure 11:Cartographie bionomique autour les Iles Kuriat, avec les communautés plus importantes. Légende : (AP) algues photophiles ; (MR) maërl sur la roche littorale ; (RC) <i>Cymodocea nodosa</i> sur la roche littorale ; (RP) <i>Posidonia oceanica</i> sur la roche littorale Cartographie bionomique autour les Iles Kuriat, avec les communautés plus importantes. Légende : (AP) algues photophiles ; (MR) maërl sur la roche littorale ; (RC) <i>Cymodocea nodosa</i> sur la roche littorale ; (RP) <i>Posidonia oceanica</i> sur la roche littorale ; (CP) pelouse à <i>Cymodocea nodosa</i> ; (CP) herbier mixte de <i>Cymodocea</i> et <i>Posidonia</i> ; (Po) herbier de <i>Posidonia oceanica</i> ; (RB) récif barrière de Posidonia ; (SF) sables fins. (Ramos et. Ben Mustapha, février 2010) ...	13
Figure 12: Localisation des îles Kuriat (Dimassi et al, 2015).....	15
Figure 13: Zone d'étude des récifs barrière de Posidonie dans la Petite Kuriat (Google Earth) .	15
Figure 14: Zone d'étude des récifs barrière de Posidonie dans la Grande Kuriat (Google Earth)	16
Figure 15: Carte bathymétrique au niveau des îles Kuriat (CAR/ASP - PNUE/PAM, 2015)	17
Figure 16 : Les appareils GPS utilisées dans cette mission.....	20
Figure 17 : Acquisition des données GPS sur site.....	21
Figure 18: Plongée apnée ou PMT autour du récif.....	21
Figure 19 : Acquisition des points GPS alentours des récifs barrières par bateau rigide (A) et semi-rigide (B).....	22
Figure 20 : Prélèvement des rhizomes de Posidonie	22
Figure 21: Méthode d'évaluation du recouvrement de l'herbier de Posidonie sur le substrat (d'après Gravez et al, 1995) / (B) : Quadrat métallique 30X30 cm divisé en 9 carreaux.	24
Figure 22 : Conventions pour la mesure du déchaussement des rhizomes (A) plagiotropes et (B) orthotropes (Boudouresque et al, 1980)	25
Figure 23 : Mesure des paramètres phénologiques	27

Figure 24: Cycle de vie d'un faisceau de <i>P. oceanica</i> (Pergent, 2007).....	28
Figure 25: Localisation géographique des récifs barrières de Posidonie autour des îles Kuriat. .	30
Figure 26: Photo de Matte de Posidonie (A) du site R1S2 et <i>Cymodocea nodosa</i> (B) du site R2S1.	30
Figure 27 : Comptage des faisceaux de feuilles de <i>P.oceanica</i>	31
Figure 28: Variation Densité moyenne (Faisceau/m ²) en fonction de profondeur(m)	32
Figure 29: Suivi de Déchaussement de <i>Posidonia Oceanica</i>	33
Figure 30: Analyse lépidochronologique d'un faisceau de <i>P. oceanica</i> provenant du site R4.....	36
Figure 31: Pédoncule floral.	37
Figure 32: Fruit de <i>P. oceanica</i>	37

Liste des tableaux

Tableau 1: Coordonnées géographiques (GPS) des sites d'étude et d'échantillonnages	16
Tableau 2: Classification des densités au m ² de l'herbier de Posidonie en fonction de la profondeur (en mètres). La densité d'un herbier est classée en « excellente », « bonne », « normale », « médiocre » ou « mauvaise » (d'après Pergent et al., 2008 ; Pergent-Martini et al., 2010).	23
Tableau 3: Classement des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> en fonction du nombre de faisceaux / m ² (d'après Giraud, 1977).	24
Tableau 4: Echelle de classification du recouvrement de l'herbier de Posidonie (Charbonnel et al, 2000)	25
Tableau 5: Echelle d'évaluation du déchaussement en fonction des valeurs moyennes mesurées le long du récif (d'après le RSP Charbonnel et al, 2000 et Boudouresque et al, 1980)	26
Tableau 6 : La densité calculée pour chaque site d'étude.	31
Tableau 7: Taux de recouvrement moyen des 4 récifs barrières	33
Tableau 8: Taux de déchaussement pour les 12 sites d'études	34
Tableau 9 : Indices biométriques et phénologiques des feuilles de <i>P. oceanica</i> échantillonnées dans les herbiers des îles Kuriat	35
Tableau 10: Coefficient A des feuilles de <i>P. oceanica</i> : adultes, intermédiaires et juvéniles et globales (feuilles adultes et intermédiaires)	35
Tableau 11: Analyse lépidochronologique des 4 récifs barrières autour des îles de Kuriat	36

Liste des abréviations

AMCP= Air Marine et Côtière Protégée

F= feuille

Fx= faisceaux

ISBM= Institut Supérieure de Biotechnologie de Monastir

LAI= Leaf Area Index

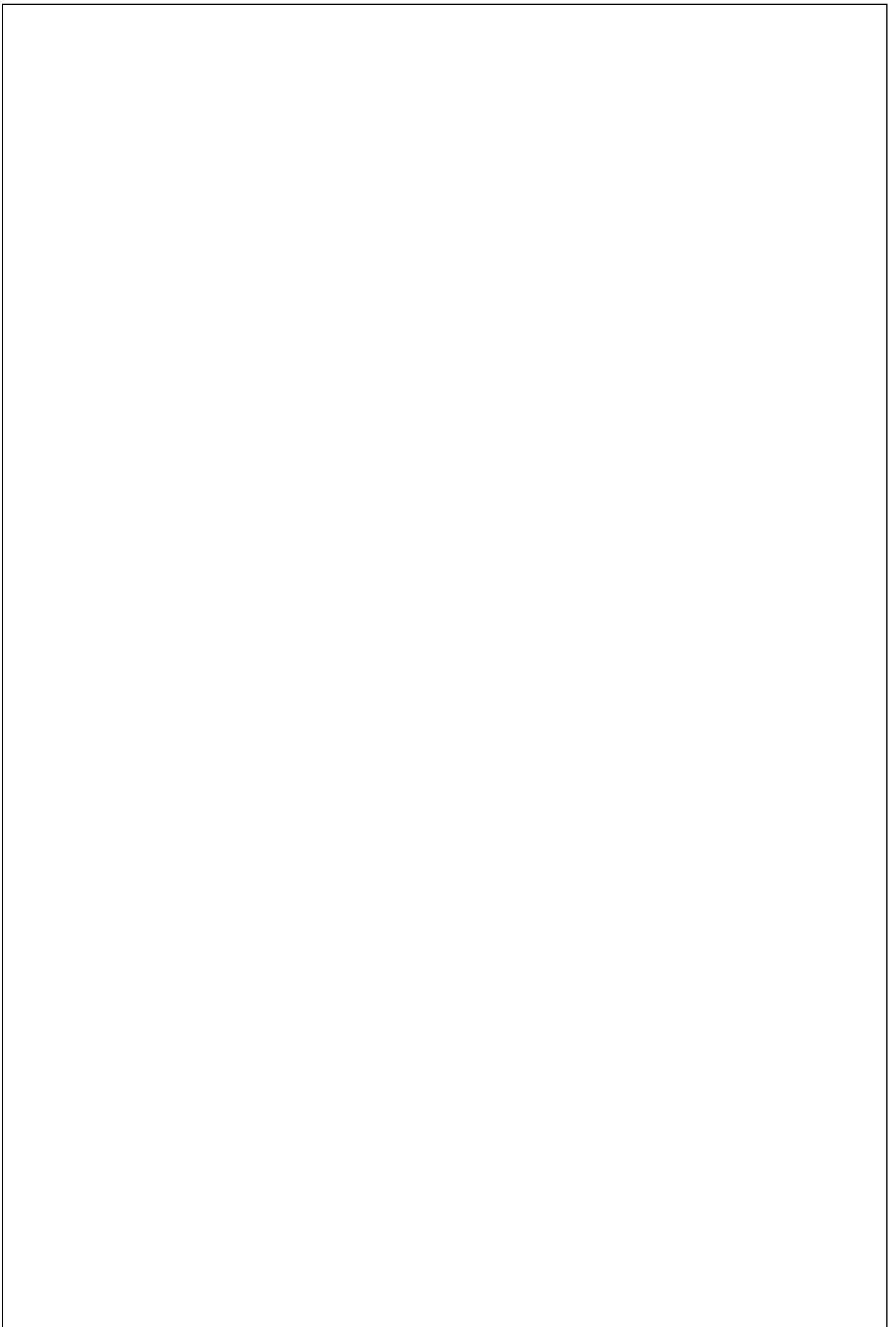
NGB = Notre Grand Bleu

P.oceanica = *Posidonia oceanica*

PFE= projet de fin d'étude

PMT = Palm Masque Tuba

S.F= surface foliaire par faisceau



Introduction

La Méditerranée constitue l'un des 34 « hot spots¹ » de biodiversité dans le monde (Coll et al, 2012). Elle est l'habitat de diverses espèces qui ont une grande importance écologique.

Les petits fonds littoraux de Méditerranée ; c'est-à-dire entre 0 et 50m ; abritent des plantes importantes comme les magnoliophytes (PNUE-PAM-Plan Bleu, 2009).

Les magnoliophytes sont des plantes à fleurs d'origine terrestre qui sont retournées au milieu marin. Il y a environ 60 espèces des magnoliophytes dans le monde dont 5 en Méditerranée (*Cymodocea nodosa*, *Halophila stipulacea*, *Posidonia oceanica*, *Zostera marina* et *Zostera noltii*) (CAR/ASP ; 2014) qui jouent un rôle important dans le domaine écologique, sédimentaire et même économique (tourisme, conservation des littoraux, ect...). En Méditerranée, la plante *Posidonia oceanica* est une espèce unique et connue à l'échelle mondiale.

L'archipel des Kuriat est situé au Sud du bassin oriental de la Méditerranée, à une dizaine de miles-marins à l'Est de la localité de Monastir en Tunisie. L'archipel couvre 340 hectares de superficie et se démarque par la présence de vastes étendues aux alentours recouvertes par des herbiers de *Posidonia oceanica* très denses et bien conservés.

P.oceanica est l'origine de nombreux services écosystémiques tel que i) la séquestration du carbone dans la matte, ii) la fixation des fonds meubles et réduction de la turbidité de l'eau, iii) la production importante d'oxygène, iv) une zone de frayère et de nurserie pour les poissons, v) une source importante de nourriture, etc...(Costanza et al. 1997) et joue un rôle très important dans l'amortissement des vagues et la protection du littoral contre l'érosion soit par les banquettes qui sont le résultat d'accumulation des feuilles mortes et parfois vivantes de *P.oceanica* sur le littoral ou aussi par des structures morphologiques particulières des herbiers de Posidonie qui le récif barrière où les herbiers de Posidonie atteints la surface de la mer

Cette plante est considérée comme l'une des espèces les plus anciennes sur la Terre (Arnaud-Haond et al, 2012). Sa croissance est très faible et elle met des siècles à recoloniser les zones où elle a été enlevée (Pergent et al ; 2006). C'est pourquoi, depuis plus de 30 ans, *P.oceanica* est protégée par la loi et son exploitation et/ou sa destruction est interdite. Toutefois, cette espèce reste encore menacée.

L'archipel des Kuriat est un espace représentatif de la problématique environnement-développement. (i) Ses activités touristiques intenses (ii) l'importance de ses ressources halieutiques (iii) les menaces qu'elle encoure (surpêche, surfréquentation, espèces invasives et changements globaux), sont autant de facteurs qui expliquent les enjeux à la fois écologiques et socio-économiques de cet espace.

Pour évaluer l'état des récifs et instaurer une stratégie de conservation ; des données quantitatives et qualitatives sur l'état de conservation des espèces et des habitats, notamment

¹ Hot spots= points chauds

marins, sont primordiales pour cette mission de prospection et identification des récifs barrières de Posidonie

Dans ce contexte, un projet de fin d'étude a été initié. Ce travail se fixe comme objectif principal: l'étude des paramètres de vitalité des 4 récifs barrière aux alentours des îles Kuriat des herbiers de Posidonie en plus de leur cartographie. Les résultats obtenus serviront à établir des points de référence pour des suivis ultérieurs de l'herbier, afin de mettre en œuvre le plan de gestion de la future AMCP des îles Kuriat, en particulier dans ses composantes de « suivi scientifique » et « évaluation de l'impact des mesures de conservation ».

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I) Les herbiers de *Posidonia oceanica*

1) Présentation de la phanérogame *Posidonia oceanica*

Posidonia oceanica ou la Posidonie est une magnoliophytes sous-marine endémique de la mer Méditerranéenne. Elle joue un rôle important au niveau biologique, dans le maintien de l'équilibre écologique de l'écosystème côtier et les activités économiques qui en dépendent notamment la pêche.

P.oceanica est considérée comme une espèce indicatrice de la qualité globale des eaux marines (Augier, 1985 ; Pergent, 1991b ; Pergent et al, 1995) car elle est très sensible à la pollution et aux autres perturbations liés aux activités humaines comme l'introduction d'espèces invasives ; l'ancrage dans les herbiers à *P.oceanica* qui est un facteur de destruction mécanique direct par lequel la matte de l'herbier perd sa compacité.

Cette magnoliophytes est largement distribuée sur la quasi-totalité du littoral et à l'échelle du bassin méditerranéen (Fig 1). Les surfaces totales couvertes par les herbiers sont estimées entre 30 000 et 40 000 km², ce qui représente 20 à 50 % des fonds entre 0 et 50m de profondeur (Pasqualini et al, 1998).



Figure 1: Distribution géographique de *Posidonia oceanica* en Méditerranée (Pergent G 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 2).

Il existe deux types des rhizomes : les rhizomes **plagiotropes**, et les rhizomes dressés **orthotropes** (Boudouresque et al, 2006)_(fig 2). On peut distinguer entre les deux types de rhizomes par leur croissance. Si les rhizomes de Posidonie sont caractérisés par une croissance horizontale, on dit que ce sont des elles sont rhizomes plagiotropes et/ou verticale, on dit que ce sont des rhizomes orthotropes (DETER et al, 2010)

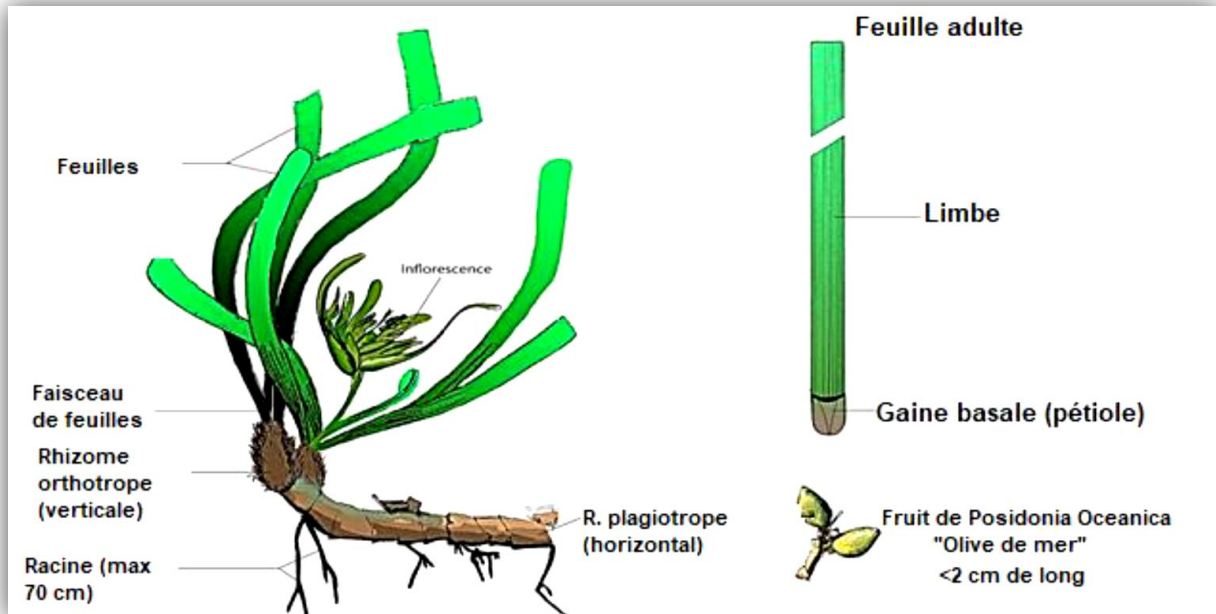


Figure 2: Les différentes parties de la plante *Posidonia oceanica* (Vangeluwe, 2007)

La formation des feuilles de *P.oceanica* se fait chaque année. Elles vivent entre 5 et 8 mois, plus rarement jusqu'à 13 mois.

On nomme feuilles juvéniles les feuilles de moins de 5cm de longueur et feuilles intermédiaires les feuilles de plus de 5cm sans gaine basale (= pétiole) ; lorsque la croissance est terminée, une gaine basale se met en place (fig3): la feuille est alors dite adulte (Boudouresque et al, 2006).

La croissance de *P.oceanica* dépend des paramètres biométriques comme la température et la lumière etc... où elle plus importante en printemps mais en automne et en hiver les vieilles feuilles sont facilement arrachées

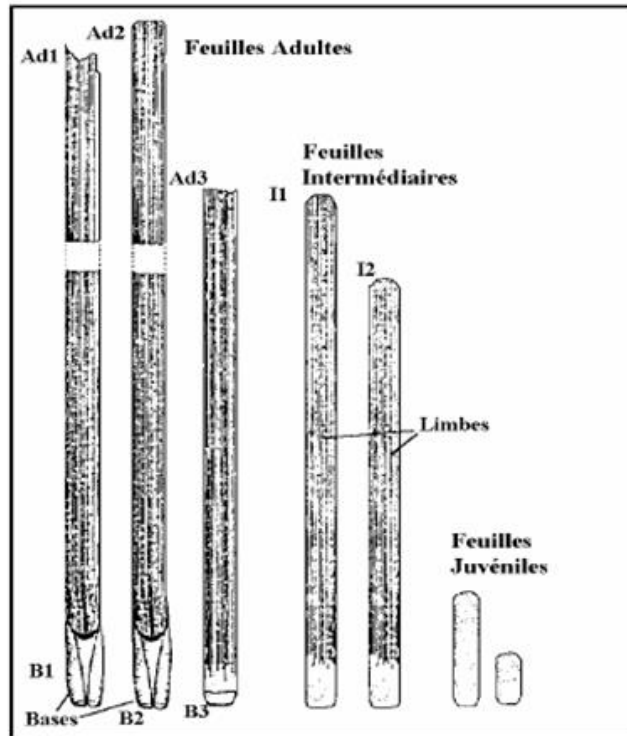


Figure 3: Dissection d'un faisceau de *Posidonia oceanica* pour l'étude phénologique (échelle 1/2). La classification de chaque structure foliaire est indiquée (exemple : Ad1, B1, I1). (Pergent, 2007)



Figure 4: Photo des écailles de la Posidonie

La chute des feuilles, comme leur formation, se produit tout au long de l'année (Pergent et Pergent-Martini, 1991). Mais au cours de cet événement, il y a des parties qui restent fixées au rhizome des racines qui sont le limbe, la gaine basale (pétiole), et que l'on appelle des écailles (fig4).

Les écailles; comme les rhizomes ; se conservent donc pendant plusieurs siècles ou millénaires et sont caractérisés d'une série de paramètres des écailles (longueur, épaisseur, anatomie) qui varient de façon cyclique le long d'un cycle annuel. L'étude de ces variations cycliques est appelée "**Lépidochronologie**" (BOUDOURESQUE et al, 1983).

2) Cycle de vie

Le cycle de vie de Posidonie est constitué de trois phases de croissance (MOLINIER et ZEVACO, 1962) (Fig 5):

(i) une première phase de latence qui s'étend d'octobre à janvier, caractérisée par une croissance très limitée des feuilles ; (ii) une deuxième phase de grande activité au cours de laquelle les feuilles présentent une croissance accélérée pendant la période de février à mai. Au cours de cette période, les feuilles de Posidonie se développent, de petits organismes s'y incrustent : elles paraissent ainsi blanches et finissent par se coucher sous le poids de ces incrustations. (iii) Au cours de la troisième phase qui s'étend de juin à septembre, un ralentissement de la croissance est observé qui se termine par une chute massive des feuilles qui sont arrachées par la suite lors des tempêtes d'automne et d'hiver. Le cycle de vie de *P. oceanica* est annuel, et la reproduction peut être asexuée ou rarement sexuée.

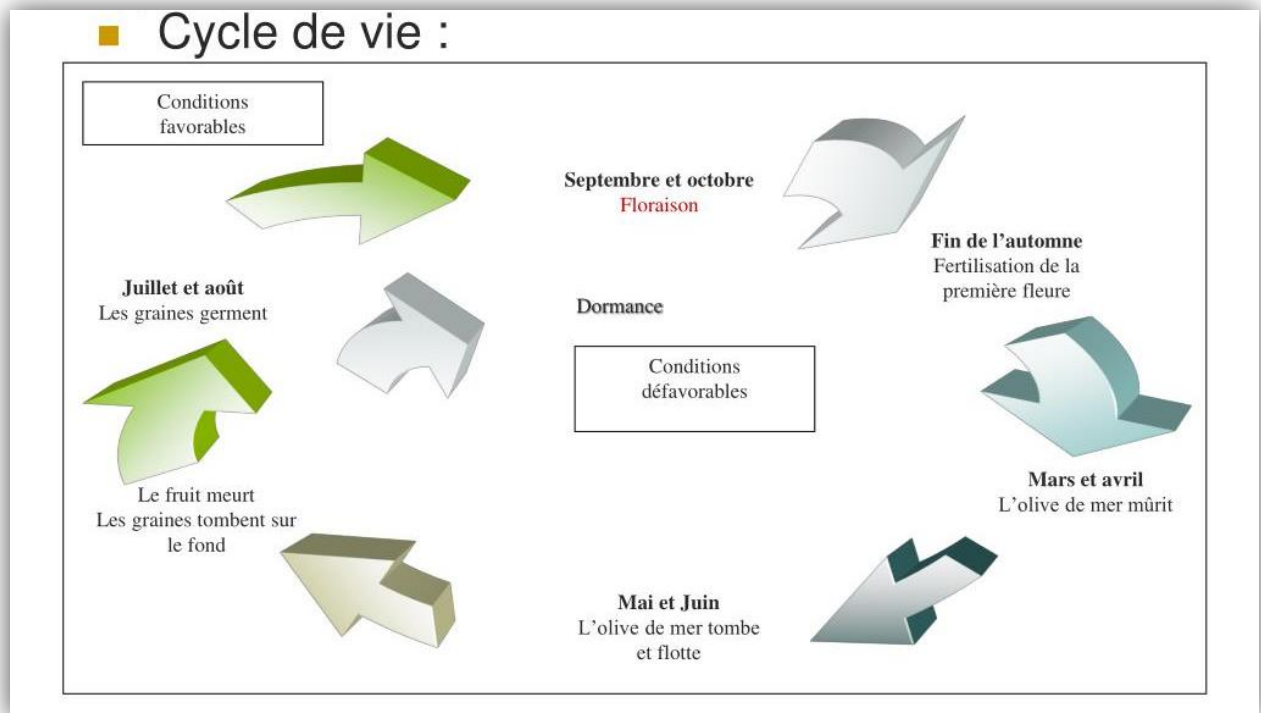


Figure 5: Cycle de vie de *P. oceanica*

a) Reproduction sexuée

La reproduction sexuée de *P. oceanica* se fait par la production de fleurs (Fig.6), de fruits et de graines. La floraison est peu fréquente, elle se produit en automne. Les fleurs sont hermaphrodites, dont 4 à 10 sont groupées en une inflorescence au sommet d'un pédoncule floral de 10 à 30 cm de long (Giraud, 1977a). La floraison ne se produit pas tous les ans, surtout dans les eaux relativement froides du Nord de la Méditerranée occidentale. Certaines années ont été marquées par une floraison intense, à l'échelle de l'ensemble de la Méditerranée, par exemple les années 1971, 1982, 1993, 1997 et 2003 (Gobert *et al*, 2006).



Figure 6: Fruit ou olive de mer

Elles peuvent donner naissance à des fruits appelés "olives de mer" qui contiennent une seule graine (Boudouresque, 1982) (Fig. 9). Il faut 6 à 9 mois aux fruits de *P. oceanica* pour mûrir. Entre le mois de mai et juillet, ils se détachent et flottent un certain temps, puis tombent sur le fond et, si la nature du substrat et les facteurs physico-chimiques sont favorables, la germination d'un embryon libéré par la déhiscence du fruit, peut avoir lieu (Gambi et al, 1996).

b) Reproduction asexuée

La maturation des graines semble relativement rare et la reproduction de *P. oceanica* se fait essentiellement de façon asexuée par multiplication végétative. Elle consiste en une fragmentation naturelle des rhizomes de la plante, terminés par un faisceau vivant, à la suite de tempête ou de courants marins (MEINESZ et LEFEVRE, 1984).

Toutefois, ce mode de multiplication nécessite des contraintes importantes pour l'implantation des boutures et reste donc peu fréquent. La multiplication végétative de *P. oceanica* se produit donc essentiellement par multiplication et accroissement des axes (CAYE et MEINESZ, 1984). Cette reproduction est réalisée par 'stolonisation'. Elle se fait par la multiplication et la croissance des rhizomes orthotropes et plagiotropes. Ce processus est particulièrement lent ; le rhizome orthotrope croît d'environ un centimètre au cours d'un an et le rhizome plagiotrope augmente de 3,5 à 7,5 cm par an (CINELLI et al, 1995).

Une autre forme de reproduction végétative par *pseudo-viviparité* a été récemment observée en mai 2004 aux îles Baléares (BALESTERI et al, 2003). Des plantules végétatives se forment

directement sur les inflorescences et remplacent les organes de reproduction sexuée. Cette stratégie contribue à une dispersion à courte distance. On ignore, pour le moment, s'il s'agit d'un mode de reproduction très local, ou s'il concerne d'autres régions de la Méditerranée.

1) Facteurs de variabilité

La répartition de *Posidonia oceanica* est sous l'influence de plusieurs facteurs qui sont :

a) Lumière

Elle constitue le facteur le plus important, *P. oceanica* ne peut pas survivre en dessous de 10 à 16% de l'irradiance de surface (Alcoverro et al., 2001). Cette espèce peut prospérer à plus de 40 mètres de profondeur dans les zones où les eaux sont claires et la quantité de lumière est suffisante pour l'activité photosynthétique (Alcoverro et al., 2001).

b) Salinité

P. oceanica est sténohaline, c'est l'une des Magnoliophytes les plus sensibles à la variation de la salinité (Sánchez-Lizaso, 2005). Elle craint la dessalure puisqu'elle semble régresser en dessous de 33‰, de plus il semble que 41‰ de salinité constitue sa limite supérieure de tolérance (Ben Alaya, 1972).

c) Température

Cette plante à fleur est capable de vivre à des températures situées entre 10°C et 30°C (Boudouresque et Meinesz, 1982). Celebi et al., (2006) ont défini 28.4 °C comme valeur maximale de température pour la croissance. L'augmentation de la température pourrait avoir un effet négatif sur *P. oceanica*, ce qui pourrait expliquer la dégradation des herbiers observée actuellement suite au réchauffement de la colonne d'eau (Salat et Pascual, 2002).

d) Hydrodynamisme et sédimentation

Le maintien de l'équilibre des herbiers de Posidonie dépend des phénomènes de sédimentation et de l'hydrodynamisme qui sont responsables de la formation des mattes et l'obtention des structures érosives (Boudouresque, 2006). Les tempêtes arrachent des faisceaux de feuilles et peuvent éroder la "matte", soit directement, soit en la vidant de son sédiment, ce qui la fragilise (Badalamenti et al., 2015).

2) L'intérêt écologique de Posidonie

L'herbier de Posidonie est considéré comme un écosystème pivot du littoral méditerranéen (Boudouresque et Meinesz, 1982) Elle joue le rôle de refuge, frayère et source de nourriture pour un grand nombre d'espèces et notamment des espèces protégées dans le cadre de la législation nationale et internationale.

Puisque *Posidonia oceanica* est une plante et grâce à la photosynthèse ; elle produit de l'oxygène pas seulement pour les organismes aquatiques mais aussi pour l'homme où les herbiers de Posidonie produisent entre 14 et 20 litre d'oxygène dans m² par jour et fournissent plus de 50% d'oxygène qu'on respire (Fig 7).

Aussi les herbiers de *P.oceanica* constituent un **pôle de biodiversité** où ils abritent plusieurs centaines d'espèces animales et végétales

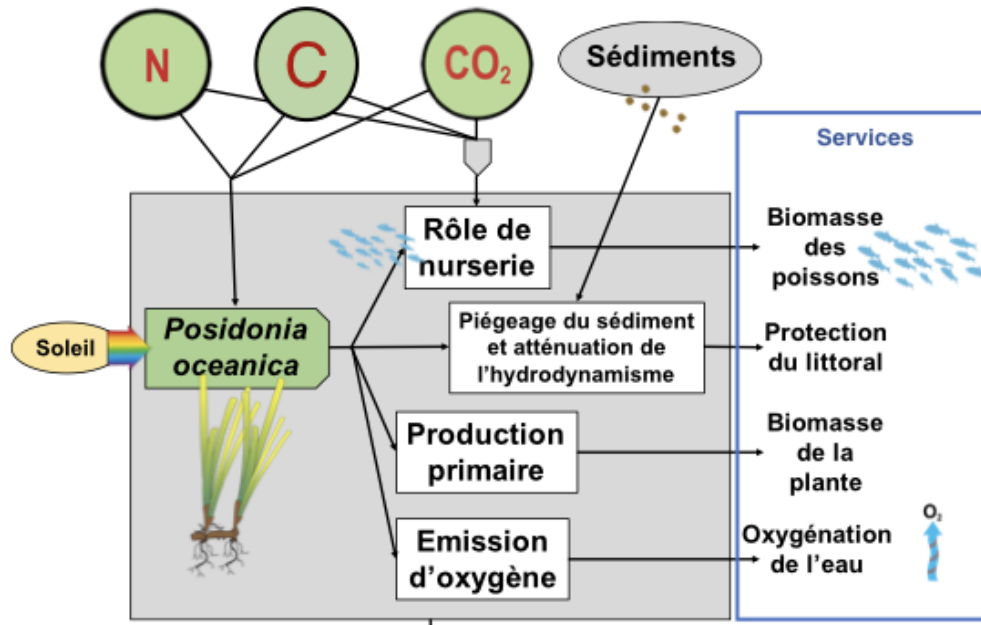


Figure 7: Les services écologiques et économiques fournis par *Posidonia oceanica* (Arnoard.A, 2019)

Au niveau des fonds littoraux, les herbiers à *P. oceanica* constituent de véritables barrières végétales qui favorisent la décantation et piégeage des particules en suspension dans la colonne d'eau (Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Boudouresque et Jeudy de Grissac, 1983 ; Jeudy de Grissac et Boudouresque, 1985 ; Gacia et Duarte, 2001 ; SDAGE, 2003 ; Romero, 2004b).

L'ensemble des rhizomes, des écailles, des racines et du sédiment qui remplit les interstices constitue ce qu'on appelle la matre. Les écailles et les racines sont peu pourrissables et conservés à l'intérieur de la "matre" (Fig. 8) pendant plusieurs siècles ou millénaires (Boudouresque et al, 1980d ; Boudouresque et Jeudy de Grissac, 1983). La matre joue un rôle indispensable dans l'ancrage de l'herbier et surtout la stabilisation des fonds. (DETER et al, 2010 ; Boudouresque C.F et al; 2006).

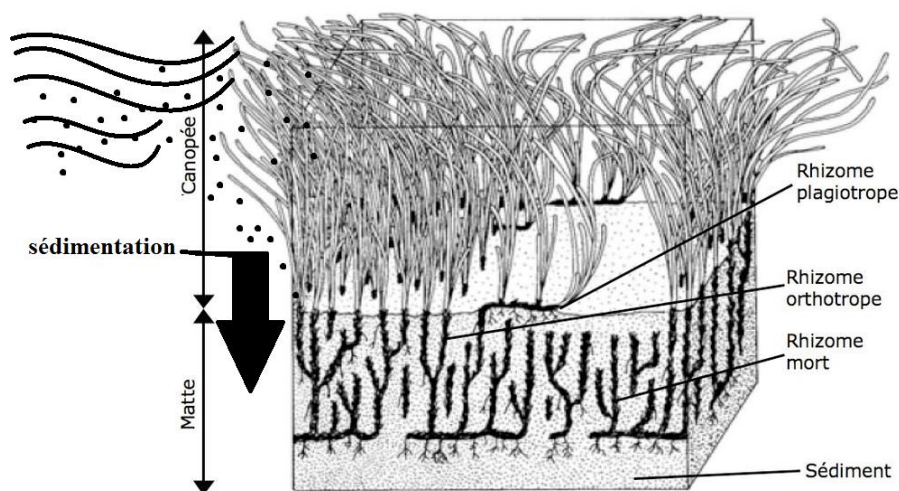


Figure 8: Piégeage du sédiment dans un herbier à *Posidonia oceanica* modifié d'après Boudouresque et Meinesz, 1982.

Le sédiment est retenu ; sous la canopée²(Fig 8), entre les rhizomes et les racines; représente entre 20 et 60% du volume (Jeudy de Grissac, 1984) qui stimule la croissance verticale des rhizomes permettant de lutter contre l'enfouissement (Molinier et Picard, 1952) et par la suite elle va être une barrière efficace contre l'érosion.

Le piégeage des sédiments et la croissance du rhizome orthotropes entraîne la montée de la matre et peut amener l'herbier au voisinage de la surface (Fig 9) (BONHOMME.D et al, 2015).



Figure 9:Photo des herbiers de Posidonie au voisinage de la surface

I) Les Récifs barrière de Posidonie

1) Définition et formation de récif barrière de Posidonie

a) Définition

Les formations récifales de Posidonie sont des structures morphologiques particulières des herbiers de Posidonie.

b) Formation du récif barrière de Posidonie

En mode calme, la montée de la “matte” peut se poursuivre jusqu’à la surface où on peut voir clairement les feuilles des herbiers (Fig 9.). Dans un premier temps et sur le long de la côte ; l’extrémité des feuilles atteignent la surface. On désigne cette formation sous le nom de récif-frangeant (Fig. 10 ; B). Par la suite, le récif-frangeant continue à s’étaler grâce à la montée de la “matte”. Entre la côte et le front d’émersion de *P. oceanica*, on trouve de Posidonie morte et pas seulement des Posidonie mais aussi des autres espèces comme *Cymodocea nodosa* et *Nanozostera noltii* d’où il se forme un lagon (Molinier et Picard, 1952 ; Boudouresque et Meinesz, 1982). Le front d’émersion de *P. oceanica* constitue alors un récif barrière (Fig. 10 ; C). Avec le temps, le récif-barrière progresse vers le large et le lagon s’élargit (Fig. 10). (Molinier et Picard, 1952 ; Augier et Boudouresque, 1970 ; Boudouresque et Meinesz, 1982).

² La canopée est constituée par l'ensemble des feuilles.

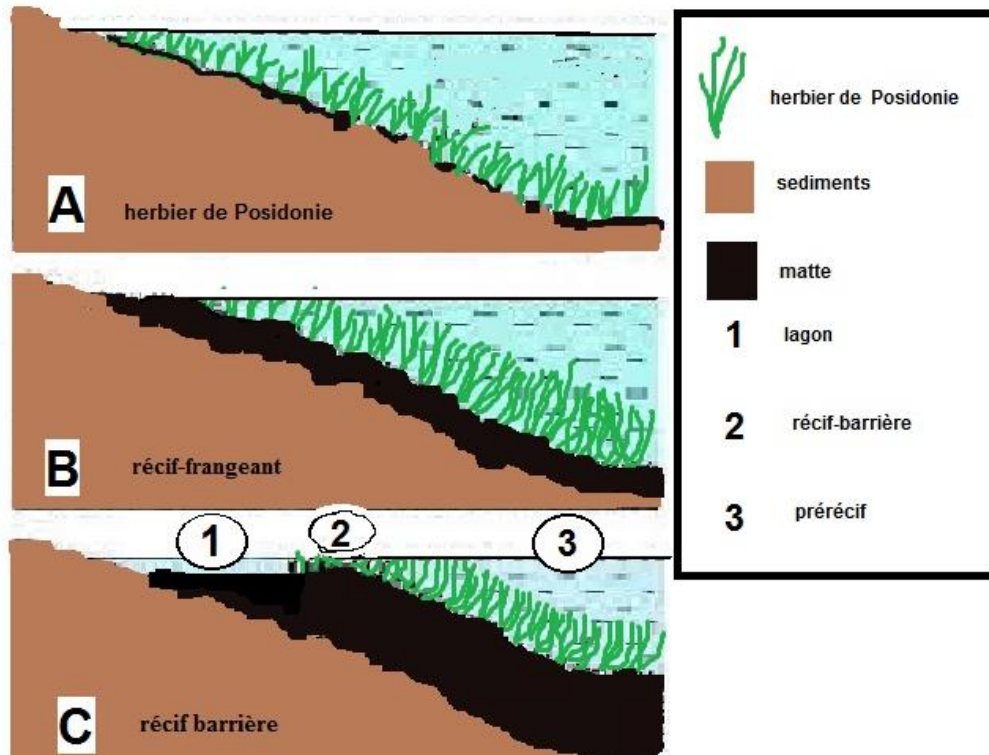


Figure 10: La croissance en hauteur des mattes par l'herbier de Posidonies ; en mode calme ; il se forme d'abord un récif-frangeant (B) qui évolue en récif barrière; isolant derrière lui un lagon.

2) Les récifs barrières des îles Kuriat

L'herbier entourant les îles Kuriat est en très bon état d'après le rapport de la mission d'étude des habitats marins et ses principales espèces (RAMOS et BEN MUSTAPHA., février 2010). On trouve deux écomorphes importantes et rares en Méditerranée : le récif barrière et l'herbier tigré (Ben Mustapha et Hattour, 1992). A la grande Kuriat, le récif barrière s'occupe une superficie importante spécifiquement au Nord-ouest (fig11). On le trouve aussi autour de la petite Kuriat dont il entoure pratiquement l'ensemble de sa zone Sud (soit près de 50% du littoral de l'île) (Fig 11). Quant à l'herbier tigré il est essentiellement localisé dans la partie Sud des îles.

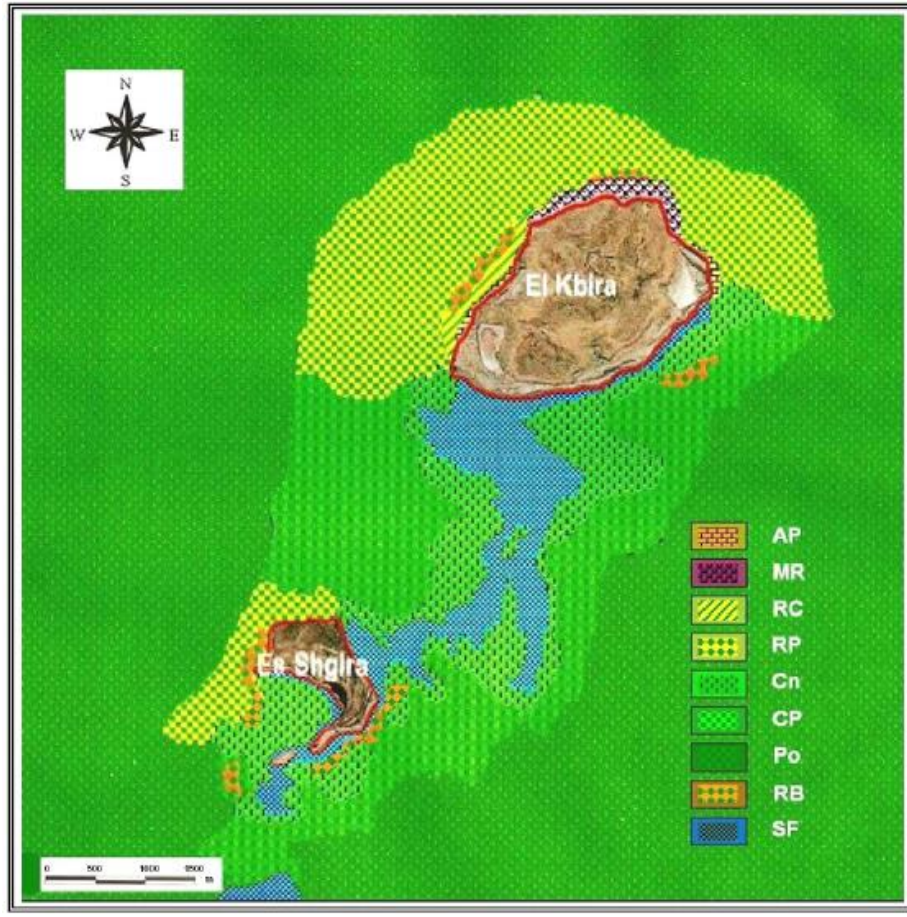


Figure 11: Cartographie bionomique autour des Iles Kuriat, avec les communautés plus importantes. Légende : (AP) algues photophiles ; (MR) maërl sur la roche littorale ; (RC) *Cymodocea nodosa* sur la roche littorale ; (RP) *Posidonia oceanica* sur la roche littorale ; (CP) pelouse à *Cymodocea nodosa* ; (CP) herbier mixte de *Cymodocea* et *Posidonia* ; (Po) herbier de *Posidonia oceanica* ; **(RB) récif barrière de *Posidonia*** ; (SF) sables fins. (Ramos et. Ben Mustapha, février 2010)

Chapitre II : Matériel et Méthodes

D) Caractéristique de la zone d'étude

L'archipel des Kuriat est l'une des quatre aires maritimes protégées (AMP) que compte la Tunisie, avec celles de l'archipel de La Galite, de Kneiss, et de Zembra et Zembretta. Les îles Kuriat jouent un rôle important dans le développement de la biodiversité. Elle est constituée de deux îles : la grande et la petite Kuriat (Fig12). Ce sont des habitats marins situés à l'Est-Nord-Est du Cap Monastir à environ 18 km de distance (Ramos et Ben Mustapha, février 2010)

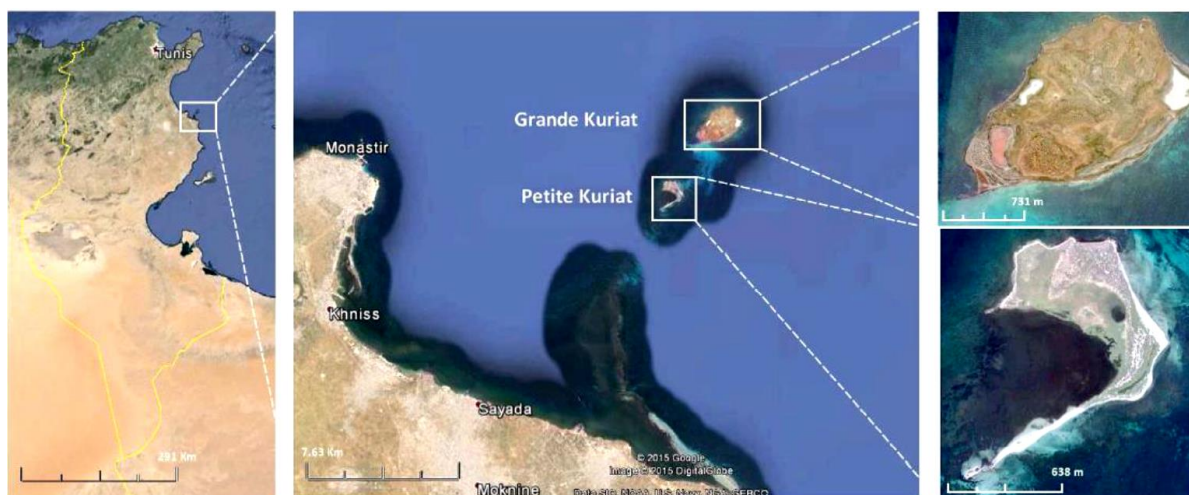


Figure 12: Localisation des îles Kuriat (Dimassi et al, 2015)

La grande Kuriat est de longueur de 3,5 km et large de 2 km, s'étend sur 270 hectares. Elle sert aujourd'hui de base militaire et est donc interdite au public.

La petite Kuriat couvre environ 70 hectares. Contrairement à la grande, il est possible de visiter l'île grâce aux opérateurs touristiques présents sur l'île. Mais, l'activité touristique reste très réglementée. (Wissal, 2020)

Pour chaque récif ; 3 sites ont été choisis pour réaliser l'estimation de la densité de l'herbier, recouvrement et de taux de déchaussement et un seul site aléatoirement parmi les 3 pour le prélèvement des échantillons qui sont R1S1, R2S3, R3S2 et R4S1 (Fig 13 et 14).



Figure 13: Zone d'étude des récifs barrière de Posidonie dans la Petite Kuriat (Google Earth)



Figure 14: Zone d'étude des récifs barrière de Posidonie dans la Grande Kuriat (Google Earth) Et les points GPS acquis de chaque site sont organisés dans le tableau 1.

Tableau 1: Coordonnées géographiques (GPS) des sites d'étude et d'échantillonnages

Site	Latitude	Longitude
R1S1	35°45'59.63"N	11°0'0.04"E
R1S2	35°45'47.78"N	10°59'58.42"E
R1S3	35°45'37.98"N	10°59'55.72"E
R2S1	35°45'54.47"N	11°0'56.57"E
R2S2	35°45'44.11"N	11°0'45.80"E
R2S3	35°45'39.17"N	11°0'34.51"E
R3S1	35°47'56.6"N	11° 01'18.2"E
R3S2	35°47'55.08"N	11° 1'17.63"E
R3S3	35°47'48.9"N	11° 1'13.2"E
R4S1	35°47'17.9"N	11° 2'00.8"E
R3S2	35°47'22.9"N	11° 2'12.3"E
R4S3	35°47'18.48"N	11° 2'4.43"E

1) Bathymétrie

On distingue deux secteurs bathymétriques à l'île Kuriat (Fig 15) :

- Le secteur Nord : il se caractérise par une faible bathymétrie avec des profondeurs n'excédant pas 40m. Le fond marin évolue en pente douce jusqu'à des fonds d'ordre de -3m. Les isobathes -5m et -10m se situent respectivement à 800m et 1500m environ de la ligne de rivage. Ceci indique les profondeurs très faibles et pente douces et régulières.
- Le secteur Sud : il se caractérise par des pentes très faibles. Il s'étend de la zone du port jusqu'à la ville de Mahdia. La bathymétrie de ce secteur est plus marquée puisque l'isobathe -5 m est distante de 400 m environ de la côte. La pente devient irrégulière jusqu'à l'isobathe -50 m ce qui montre la présence de fosses et des hauts-fonds (Jrijer et Ben Salah., décembre 2018)

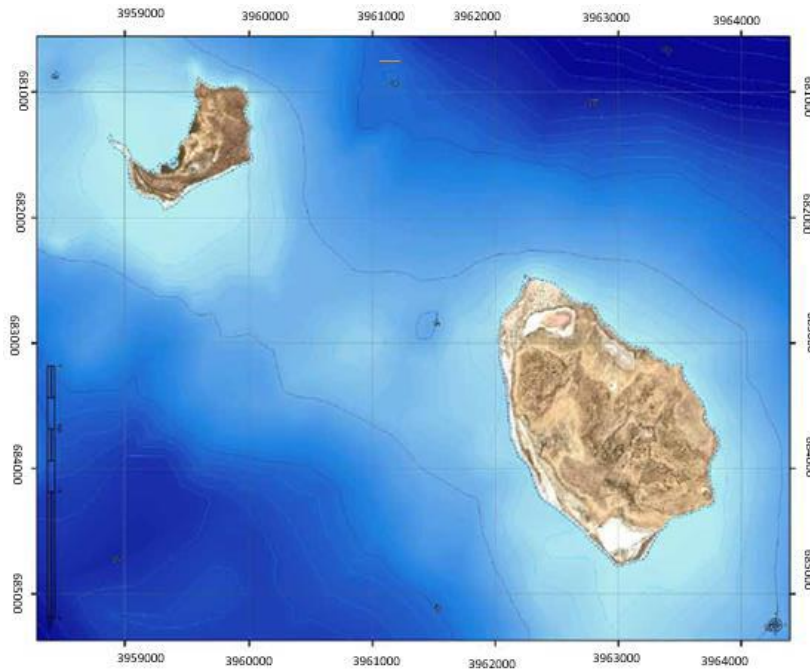


Figure 15: Carte bathymétrique au niveau des îles Kuriat (CAR/ASP - PNUE/PAM, 2015)

2) Courantologie

La vitesse des courants est limitée vu la faible bathymétrie. Les courants sont généralement créés par les vents du NNE, NE, ENE, qui sont à l'origine d'un courant littoral ouvert Nord-Sud le long de la côte (APAL, 2010).

3) La marée

La marée dans la région de Monastir est une marée de type semi-diurne et de faible amplitude. En moyenne, le marnage ne dépasse pas 30 cm, par contre en vives-lieux il peut atteindre 40 cm. Les courants induits ont une vitesse de l'ordre de 5 à 10 cm/s ce qui ne possède aucun rôle dans la dynamique sédimentaire (RAC/SPA, 2014).

4) Climat

a) La température

La température moyenne annuelle enregistrée dans la ville de Monastir est de l'ordre de 20 °C. L'amplitude thermique entre les moyennes des mois le plus froid (janvier) et le plus chaud (août) est relativement modérée (15.4 °C), (Sellami, 2010).

b) Les vents

Par leur position insulaire, les Kuriat sont très ventées. Les situations calmes ne dépassent pas 15% des observations. Les coups de vents proviennent du secteur Nord et surviennent pendant la saison fraîche avec des vitesses souvent supérieures à 20 m/s. Les vents maxima enregistrés atteignent des vitesses considérables de l'ordre de 50 m/s (Sellami, 2010).



II) Matériel et techniques d'échantillonnage

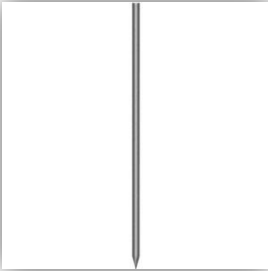


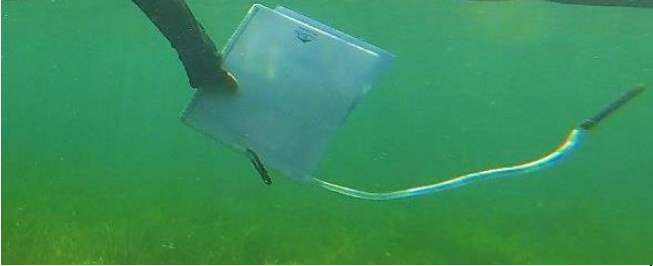

1) Déroulement de la mission

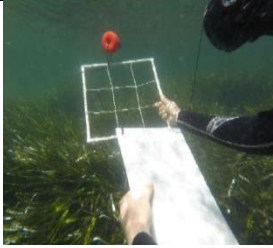

Le planning du travail a été réalisé selon la modification des conditions météorologiques. Les missions se sont déroulées durant les mois de Mars, Avril et Mai 2022 à l'île Kuriat avec une équipe d'éco-gardes professionnels.

2) Matériel d'échantillonnage

L'équipement nécessaire au bon déroulement des missions était composé de :

Matériels	Photo
Equipements de plongée	
GPS portable	

<p>Tige métallique graduée et pointue à l'extrémité pour sonder les 4 récifs</p>	
<p>Planche de sécurité</p>	
<p>1 appareil photo ou une vidéo numérique</p>	
<p>ardoise sous-marine dotée de crayon et gomme</p>	
<p>1 règle graduée</p>	

<p>quadra métallique de 40 cm et 30cm de côté et subdivisé en carrés de 10 cm de côté.</p>	
<p>- sachets en plastique pour les prélèvements des échantillons de Posidonies</p>	

3) Stratégie d'échantillonnage

Les 4 récifs barrières sont localisés à l'aide des différents appareils GPS (**Fig.16**). Pour chaque récif, on note les coordonnées GPS Nord (Latitude) Est (Longitude) en DMS (degrés, minutes, secondes).



Figure 16 : Les appareils GPS utilisées dans cette mission

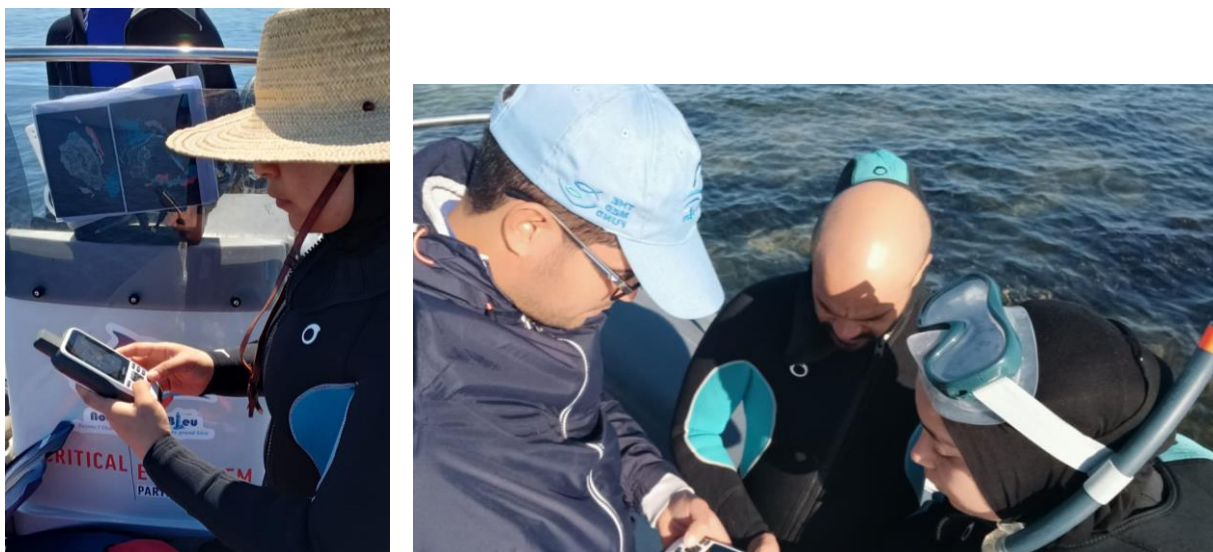


Figure 17 : Acquisition des données GPS sur site

L'objectif de cette mission était de réaliser une « vérité terrain » pour obtenir des résultats plus fiables. La vérité sur le terrain consiste à comparer des résultats théoriques anciens par des résultats concrets obtenus sur le terrain.

Le GPS est hermétiquement protégé dans une boîte plastifiée et posé sur une planche de la sécurité. Cet appareil prend automatiquement les coordonnées de chaque point, par plongée apnée ou PMT (palm ; masque ; tuba) (Fig 18). La zone de prospection est étendue aux alentours de la limite des récifs barrières.

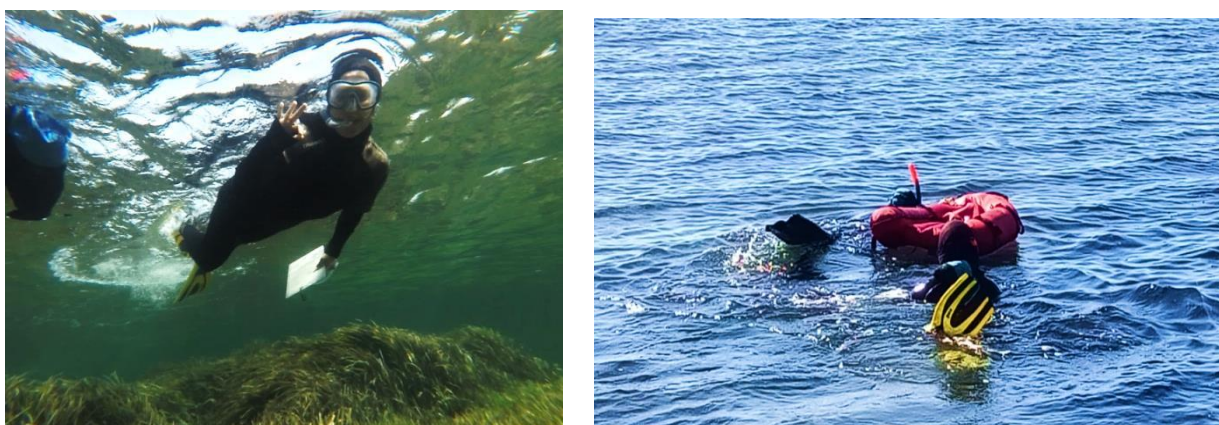


Figure 18: Plongée apnée ou PMT autour du récif

Un bateau semi-rigide ou rigide a été utilisé pour pouvoir accéder aux récifs les plus profonds et gagner du temps (Fig 19).

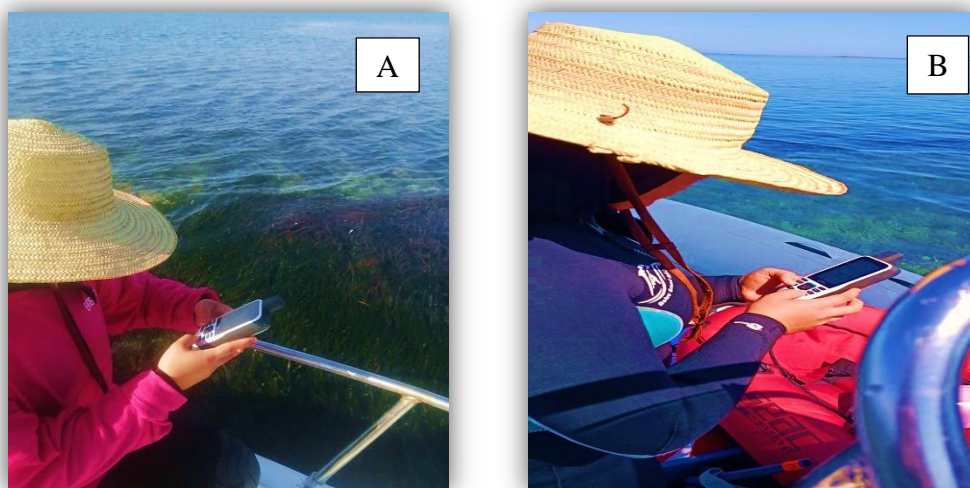


Figure 19 : Acquisition des points GPS alentours des récifs barrières par bateau rigide (A) et semi-rigide (B)

4) Echantillonnage

Après avoir pris les mesures nécessaires pour estimer l'état des herbiers de Posidonie, des échantillons des rhizomes orthotropes ont été récoltés avec soin afin de réaliser les analyses phénologique et lépidochronologique (Fig 20). 5 rhizomes ont été prélevé du chaque récifs.

Le Protocol d'échantillonnage indique que le nombre d'échantillon prélevé est 15 rhizomes par récifs et que ces faisceaux doivent être orthotropes et séparés d'une distance de 1m au minimum. Cependant, dans un souci de la conservation de l'espèce protégée *P.oceanica* ; uniquement 5 rhizomes par récif ont été prélevés ; ce qui est un nombre suffisant pour réaliser les analyses phénologique et lépidochronologique.



Figure 20 : Prélèvement des rhizomes de Posidonie

5) Estimation de l'état des herbiers

a) Densité de faisceaux

La densité est mesurée au hasard dans l'herbier, au moyen d'un quadrat métallique de 20 cm de côté (surface minimale garantissant la représentativité de la mesure d'après Panayotidis et al, 1981), d'où on va compter le nombre de faisceaux de Posidonies présents par unité de surface, généralement le mètre carré (DETER et al, 2010).

Les mesures de densité, réalisées à l'aide de quadrat de 40 cm x 40 cm de façon aléatoire avec 3 répliques à chaque site et que les répliques ne soient pas très proches et de plus le déchaussement n'est pas fréquent pour trouver des résultats plus fiables.

Les résultats obtenus sont par la suite converti en faisceaux/m².

Les mesures nous permettent de classer l'herbier en cinq catégories. Le tableau 2 montre les différentes catégories d'herbiers de Posidonies en fonction de leur profondeur et de la densité de leurs faisceaux.

Tableau 2: Classification des densités au m² de l'herbier de Posidonie en fonction de la profondeur (en mètres). La densité d'un herbier est classée en « excellente », « bonne », « normale », « médiocre » ou « mauvaise » (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

La densité de faisceaux mesurée permet de déduire le type d'herbier et sa description, selon la classification de Giraud (1977) (Tab 3).

Tableau 3: Classement des herbiers à *Posidonia oceanica* en fonction du nombre de faisceaux / m² (d'après Giraud, 1977).

Type d'herbier	Densité (nombre de faisceaux/m ²)	Description
Type I	Plus 700	Herbier très dense
Type II	400 à 699	Herbier dense
Type III	300 à 399	Herbier clairsemé
Type IV	150 à 299	Herbier très clairsemé
Type V	50 à 149	Semi-herbier
Type VI	Moins de 50	Faisceaux isolés

b) Taux de recouvrement

Le recouvrement de l'herbier correspond au pourcentage de couverture du substrat par les feuilles de Posidonie, par rapport aux zones non couvertes (sable, matte morte, roche).

L'évaluation du recouvrement du substrat par l'herbier est mesuré selon une méthode proposée par l'équipe du GIS Posidonie (Gravez et al, 1995). Cette méthode est basée sur l'utilisation d'une plaquette de PVC transparente de 30 cm x 30 cm, divisée en 9 carreaux et chaque carroyage de 10 cm de côté (, Figure 21, **(B)**). Cette plaquette permet à l'observateur d'effectuer un comptage du nombre de carreaux occupés par de l'herbier qui sont entre 0 et 9. Cette valeur étant ensuite exprimée en pourcentage. La mesure est réalisée à la verticale du point observé, à 3 mètres au-dessus du fond et les points d'échantillonnage sont déterminés de manière aléatoire, avec 3 mesures autour de chaque récif. (DETER et al, 2010.)

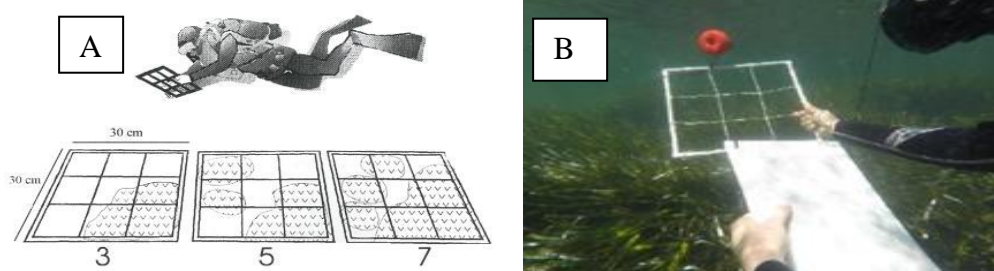


Figure 21: Méthode d'évaluation du recouvrement de l'herbier de Posidonie sur le substrat (d'après Gravez et al, 1995) / **(B)** : Quadrat métallique 30X30 cm divisé en 9 carreaux.

Tableau 4: Echelle de classification du recouvrement de l'herbier de Posidonie (Charbonnel et al, 2000)

Recouvrement (Valeurs seuil)		Interprétation
Limite supérieure	Limite inférieure	
Inférieur à 40%	Inférieur à 00%	Recouvrement faible
40 à 80%	20 à 50%	Recouvrement moyen
Supérieur 80%	Supérieur 50%	Recouvrement fort

c) Mesure du déchaussement des rhizomes :

- Pour les rhizomes plagiotropes, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la partie inférieure des rhizomes (Fig 22)
- Pour les rhizomes orthotropes, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la base des feuilles, distance à laquelle on soustrait 2 cm.

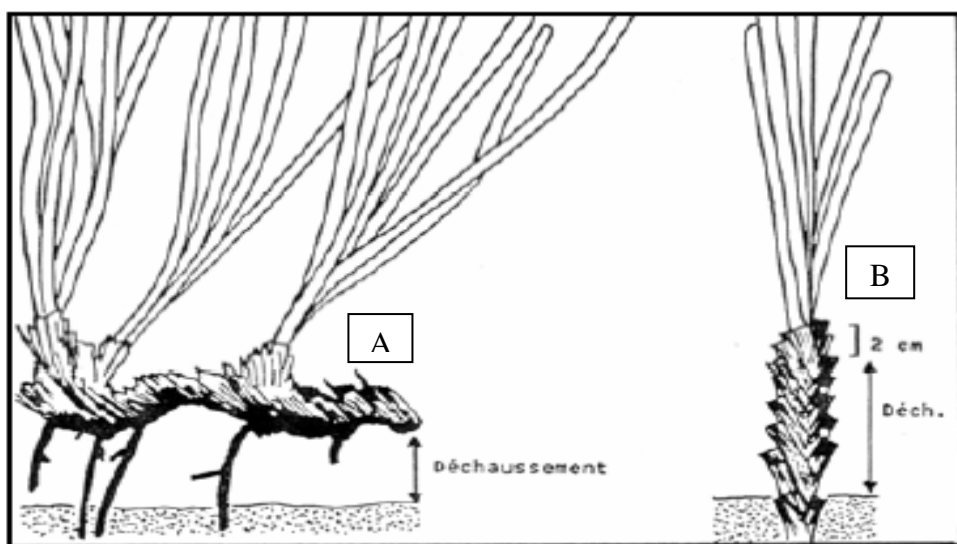


Figure 22 : Conventions pour la mesure du déchaussement des rhizomes (A) plagiotropes et (B) orthotropes (Boudouresque et al, 1980)

Une échelle d'évaluation du déchaussement (faible, moyen, important) est proposée, en fonction des valeurs moyennes mesurées le long des récifs barrières

Tableau 5: Echelle d'évaluation du déchaussement en fonction des valeurs moyennes mesurées le long du récif (d'après le RSP Charbonnel et al, 2000 et Boudouresque et al, 1980)

Déchaussement (cm)	Interprétation
< 5	Déchaussement faible
5-15	Déchaussement moyen
>15	Déchaussement important

6) Analyse phénologique

La phénologie est l'étude des paramètres foliaires sujets aux phénomènes de périodicité.

Le faisceau foliaire est détaché du rhizome et décortiqué en respectant l'ordre distique d'insertion des feuilles. Les feuilles sont séparées en fonction de leur âge, on distingue :

(i) **Les feuilles adultes**, qui sont pourvues d'une base ou pétiole.

(ii) **Les feuilles intermédiaires**, qui sont dépourvues de pétiole ou dont le pétiole est inférieur à 2 mm.

(iii) **Les feuilles juvéniles**, qui sont dépourvues de pétioles et dont la longueur n'excède pas 50 mm.

Chaque type de feuille est ensuite numéroté en fonction de sa position dans le faisceau.

Les paramètres biométriques (longueur totale, longueur du pétiole, largeur) de chaque feuille sont mesurés (Fig 23). Ces différents éléments permettent de déterminer le « Leaf Area Index » (LAI) par faisceau ou surface foliaire par faisceau (S.F.). Il est également possible de calculer le « Coefficient A » qui traduit le pourcentage de feuilles ayant perdu leur apex (feuilles cassées ou broutées).

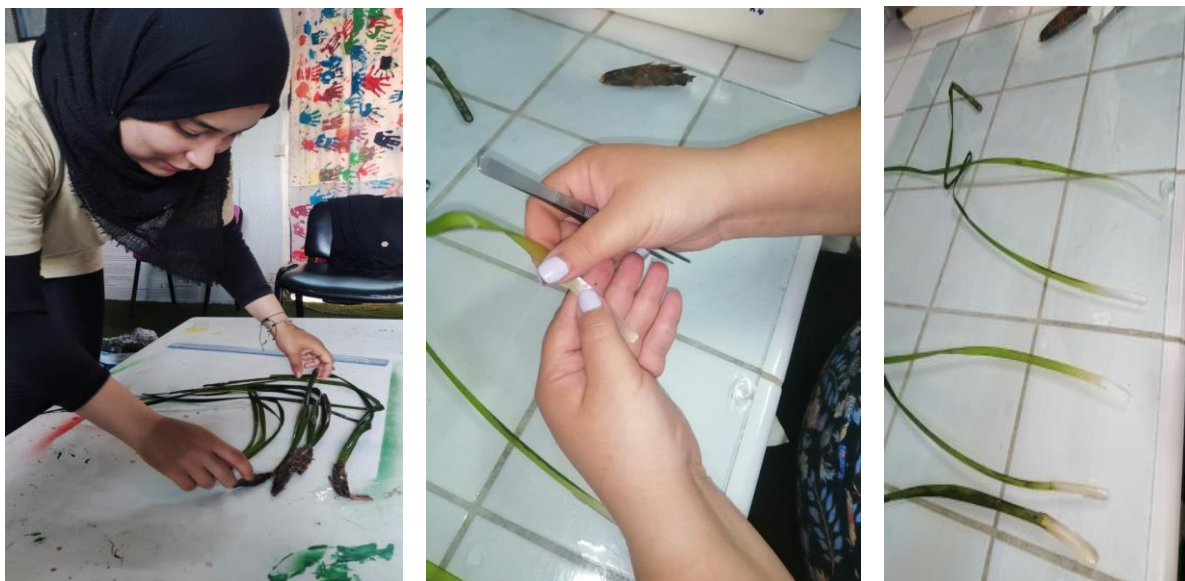


Figure 23 : Mesure des paramètres phénologiques

Le calcul peut également être effectué par faisceau et fournir l'indice foliaire par faisceau (ou surface foliaire par faisceau noté SF) selon les équations suivantes :

- SF d'une feuille (Ad ou In) = $(\sum \text{long.FA} \times \sum \text{larg.FA})$

- (Eq. 1) : SF moyen des feuilles Totales = $(\sum \text{long.}(FA+FI) \times \sum \text{larg.}(FA+FI)) \text{ par faisceau nr.de faisceaux.}$

Ainsi, l'indice foliaire peut être déduit selon l'équation suivante (Beya, 2006):

(Eq. 2) Indice foliaire = surface foliaire × densité des faisceaux

L'étude phénologique met aussi l'accent sur l'état des apex des feuilles, L'état de l'apex peut donc nous donner des informations sur le taux de broutage pour chaque site (SGHAIER, 2006).

7) Analyse lépidochronologique

Les rhizomes sont tout d'abord nettoyés de façon à retirer le sédiment présent entre les écailles, ainsi que les épiphytes et les épibiontes macroscopiques qui colonisent le rhizome. Les écailles sont par la suite détachées en respectant l'ordre distique d'insertion. Ces écailles sont emboîtées les unes dans les autres, la dissection se fait à partir des plus anciennes vers les plus récentes. Les rhizomes secondaires ne sont pas pris en compte.

Ensuite, les écailles sont numérotées en fonction de leur position sur le rhizome. L'écaille se trouvant juste en dessous de la première feuille vivante a le rang N°1 (Fig 24).

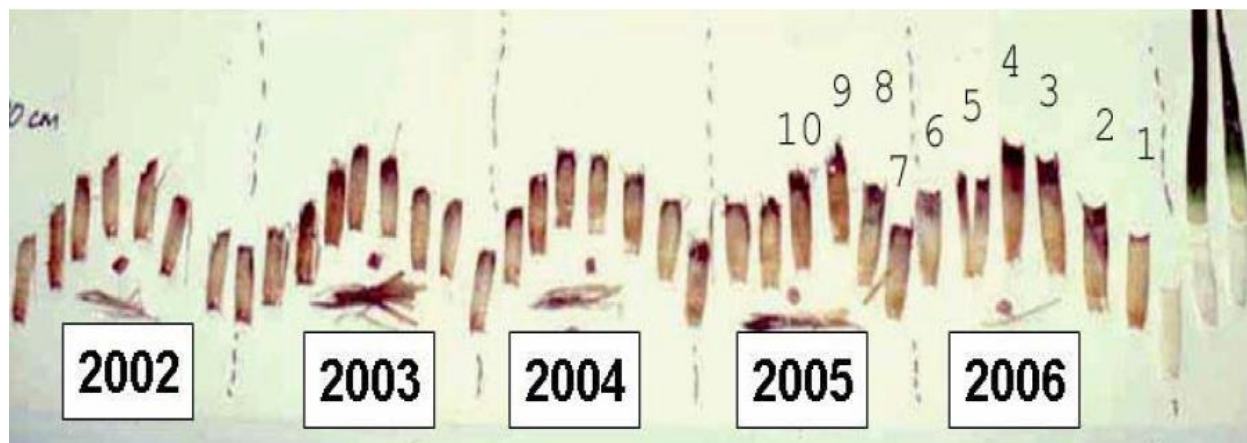


Figure 24: Cycle de vie d'un faisceau de *P. oceanica* (Pergent, 2007).

Le rang des écailles augmente donc en s'éloignant du point végétatif (des plus récentes vers les plus anciennes)

On obtient ainsi une série de tronçons de rhizomes délimités par deux minima d'épaisseur dont il faudra mesurer, dater et noter la longueur.

8) Cartographie des 4 récifs barrières

La cartographie c'est de représenter géographiquement des informations ou des observations. Les observations sont alors géoréférencées dans le but d'être synthétisées sur une carte et de permettre un retour sur le même site d'étude afin de pouvoir comparer les résultats.

Après l'acquisition des points GPS du limite des 4 récifs barrières de l'île Kuriat ; on a mis en place les sites d'échantillonnage.

La cartographie a été réalisée grâce au logiciel de Système d'Information Géographique **QGIS**. Le **SIG** (Système d'Information Géographique) est un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer, d'analyser, de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement.

L'objectif de la cartographie réalisée consiste à localiser le récif barrière de Posidonie aux alentours des îles Kuriat afin d'en déterminer les limites et pouvoir également déterminer les sites d'échantillonnages.

Chapitre III :

Résultats

D) L'évolution des récifs barrières

Sur terrain, grâce aux mesures obtenues par localisation des points limites des 4 récifs à l'aide d'un GPS, on a pu tracer les 4 récifs étudiés en employant le logiciel QGIS (Fig 25).

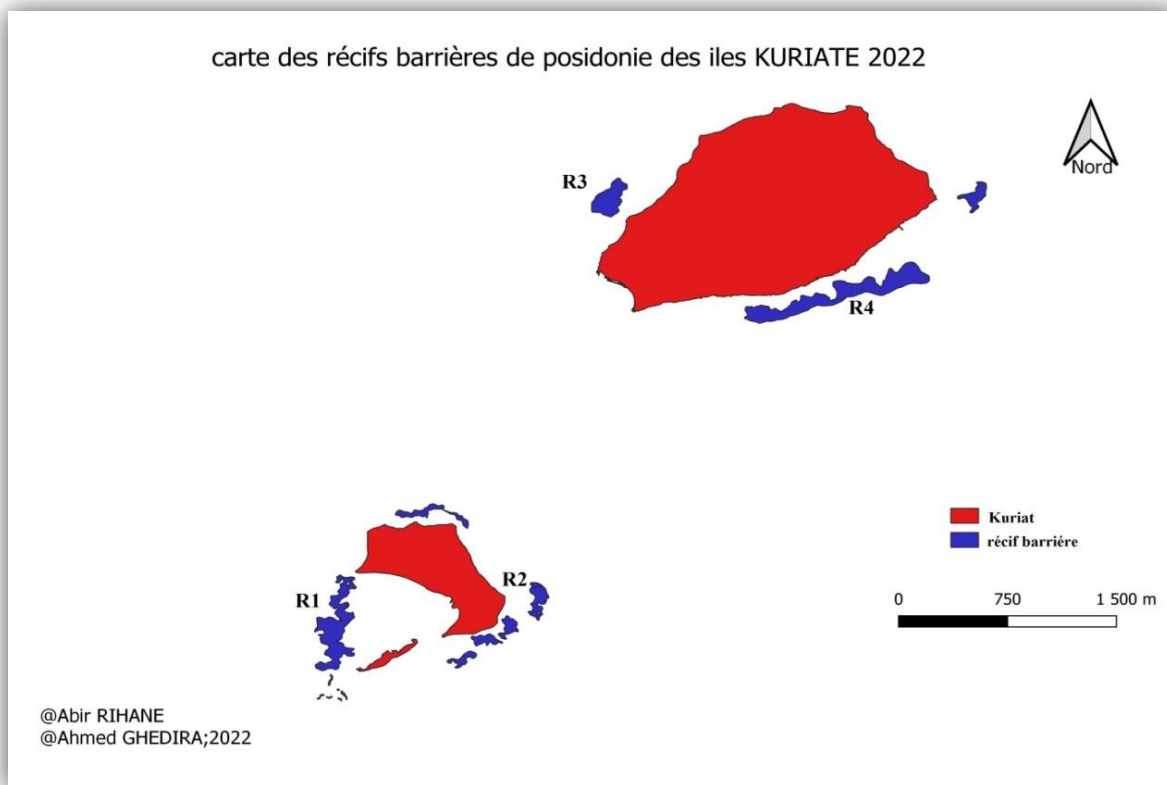


Figure 25: Localisation géographique des récifs barrières de Posidonie autour des îles Kuriat.

Au cours de la vérité terrain, on a remarqué qu'il y a une discontinuée des récifs qui a été cartographié surtout au niveau des récifs R2 et R3. Des parties des anciens récifs ont disparu et pour laisser place à une matte où on trouve de *Cymodocea nodosa* (Fig 26).

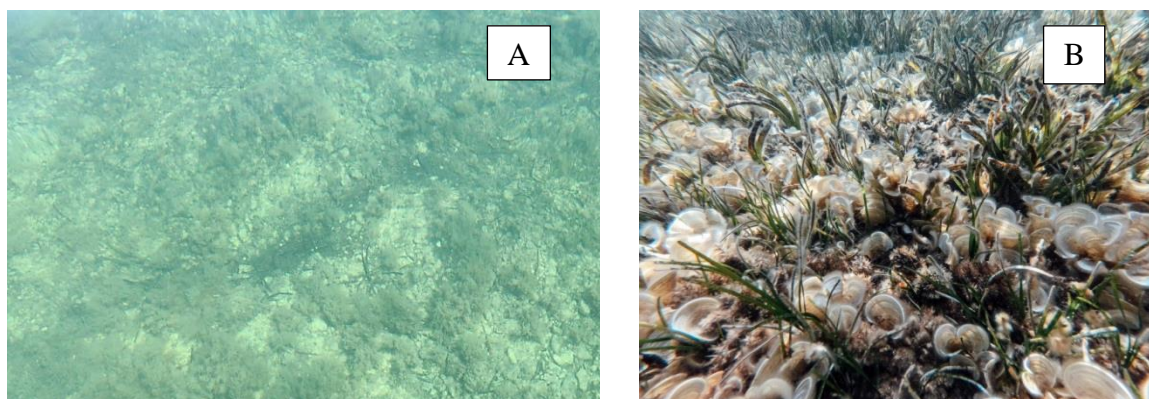


Figure 26: Photo de Matte de Posidonie (A) du site R1S2 et *Cymodocea nodosa*(B) du site R2S1.

II) Etude de la densité, du recouvrement et du déchaussement du récif barrière de *P. oceanica* à l'Ouest de la petite Kuriat

Afin de réaliser une étude des caractéristiques de l'herbier à *P. oceanica* au niveau de l'archipel du Kuriat, à chaque site, les données GPS et données in-situ ont été notés. Une estimation du recouvrement (% par m²), de la densité (faisceaux/m²), et le pourcentage de déchaussement ont été déterminés.

1) Estimation de la densité des faisceaux de feuilles

La densité des faisceaux de *Posidonia oceanica* est mesurée pour l'ensemble des 12 sites d'études (Fig 27) dans l'archipel des îles Kuriat pour l'ensemble des sites (Tab.6).



Figure 27 : Comptage des faisceaux de feuilles de *P.oceanica*

Les résultats obtenus sont par la suite converti en faisceaux/m². La densité des faisceaux de *Posidonia oceanica* est mesurée pour l'ensemble des 12 sites (Tab.6).

Tableau 6 : La densité calculée pour chaque site d'étude.

Site	profondeur moyenne (m)	Densité (Faisceau/m ²)	moyenne	Écart-type
R1	1,5	1014		189,445487 ±
R2	1,33	1023		112,184372 ±
R3	0,87	1215		119,172611 ±
R4	2,23	1261		206,251285 ±

Pour les 12 mesures réalisées au niveau des 4 récifs, les valeurs de densité de l'herbier de Posidonie s'échelonnaient de 1014 à 1261 faisceaux/m².

Les herbiers du récif barrière se trouvant à 0,87 et 2,23 m de profondeur, cette densité est considérée comme bon pour R1 à excellent pour R2, R3 et R4 d'après la classification de Pergent et al. (1995) (tab2).

D'après Fig 28 ; on remarque que plus la profondeur augmente, plus la densité diminue en R1, R2 et R3. A l'exception de R4 où la densité est la plus importante par rapport aux autres récifs malgré qu'on l'a calculé dans une profondeur égale à 2,23m la plus importante aussi.

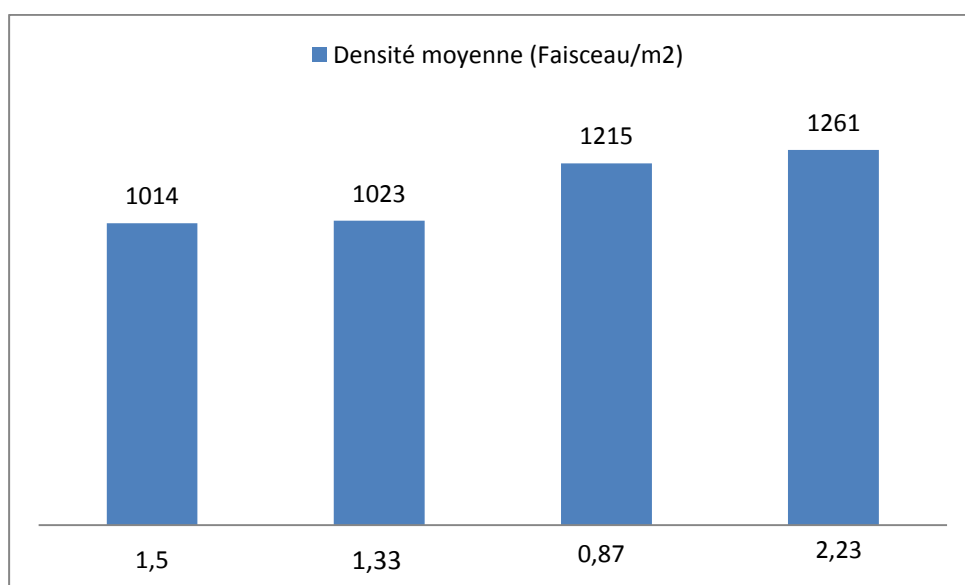


Figure 28: Variation Densité moyenne (Faisceau/m²) en fonction de profondeur(m)

La comparaison avec l'échelle qualitative mise au point par Giraud (1977) (tab3), montre que l'herbier de notre site étudié au niveau de la petite Kuriat est du **type I**, et donc il est qualifié de « très dense ».

2) Estimation visuelle du taux de recouvrement

Le taux moyen de recouvrement de chaque récif est compris entre 78,89% (R4) et 88,3%(R3) (tableau 7).

Tableau 7: Taux de recouvrement moyen des 4 récifs barrières

Site	Recouvrement Moyenne (%)	profondeur moyenne (m)
R1	83,3	1,5
R3	85,56	1,13
R2	88,3	0,87
R4	78,89	2,23

D'après l'échelle de classification du recouvrement de l'herbier de Posidonie (Charbonnel et al, 2000) présentée dans le tableau 4, il semble que les herbiers prospectés présentent des recouvrements forts. On remarque que le taux de recouvrement pour les 4 récifs diminue selon la profondeur.

3) Estimation du pourcentage de déchaussement

La densité des faisceaux de *Posidonia oceanica* est mesurée pour l'ensemble des 12 sites d'études (Fig 29) dans l'archipel des îles Kuriat pour l'ensemble des sites (Tab.8).



Figure 29: Suivi de Déchaussement de *Posidonia Oceanica*

Les valeurs de déchaussement des rhizomes, présentées dans le tableau 8, varient entre 0,5 cm (R2S1) et 14,22 cm (R4S2) pour les rhizomes plagiotropes entre 1,5 cm (R2S1) et 13,67 cm (R4S2) pour les rhizomes orthotropes les 4 récifs barrières R1, R2, R3 et R4 dans la zone d'étude de l'archipel des îles Kuriat.

Tableau 8: Taux de déchaussement pour les 12 sites d'études

Site	Déchaussement Rhizomes moyenne (cm) orthotropes	Déchaussement Rhizomes moyenne (cm) plagiotropes
R1S1	6,83	3,00
R1S2	9,83	2,67
R1S3	5,00	1,77
R2S1	1,50	0,50
R2S2	2,00	2,00
R2S3	5,00	5,33
R3S1	5,00	6,00
R3S2	8,67	9,22
R3S3	7,83	6,11
R4S1	10,17	6,89
R4S2	13,67	14,22
R4S3	7,00	5,50

En ce qui concerne les rhizomes orthotropes et plagiotropes, les valeurs obtenues au niveau de R2 varient de 0,5cm à 5,33cm. Le déchaussement dans cette zone est donc considéré faible. En revanche, le taux de déchaussement des deux types du rhizome dans R4 est très important par rapport aux autres zones ; et ils sont donc classés dans la deuxième et la première catégorie. Pour les deux derniers récifs (R1 et R3), les valeurs de déchaussement des rhizomes pour ces deux sites ne dépassent pas 9,83cm ; ce qui signifie que les rhizomes correspondent à la première et la deuxième catégorie et qu'ils ont un déchaussement faible à moyen.

I) Analyses des échantillons

1) Analyse phénologique

Les différents indices phénologiques et biométriques sont réalisés au sein du laboratoire de Recherche de Diversité, Gestion et Conservation des Systèmes Biologiques Campus Universitaire, 2092, Manar II, la Faculté des Sciences de Tunis et sont consignés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Indices biométriques et phénologiques des feuilles de *P. oceanica* échantillonnées dans les herbiers des îles Kuriat

	Unité	R1	R2	R3	R4
Profondeur	m	1,5	1,33	0,87	2,23
Densité foliaire	m ² /fx	1014	1023	1215	1261
Nombre de feuilles adultes	F	17	18	19	16
Nombre de feuilles intermédiaires	F	13	8	13	12
Nombre de feuilles juvéniles	F	2	7	6	5
Nombre des feuilles total/Fx	F	6	5,2	6,4	5,6
Longueur moyenne (adultes)	Cm	55,8	46,7	36,4	53,02
Largeur moyenne (adultes)	Cm	1,22	0,84	0,85	0,9
Longueur moyenne (intermédiaires)	Cm	56,3	45,9	35,62	48,85
Largeur moyenne (intermédiaires)	Cm	0,98	0,83	0,83	0,8
Surface foliaire	m ² /Fx	0,049	0,031	0,024	0,035
IF (indice foliaire) ou LAI	m ² /m ²	50,015	31,640	29,401	43,676

La surface foliaire par faisceau des feuilles adultes et intermédiaires est entre 0,024 m² (R3) et 0,049 m² (R1). Ces valeurs semblent être dépendantes de la profondeur (Tableau 9). En effet, ce paramètre augmente au fur et à mesure que la profondeur augmente.

La IF (Tableau 9) est compris entre 29,401 et 50,015 m²/m² qui sont un chiffre très important et un bon signe sur l'état des herbiers des 4 récifs barrières.

L'état des apex des feuilles de Posidonie échantillonnées a été évalué en calculant le coefficient « A » (Tab 10) et le cause de broutage est évalué qui va être causé soit hydrodynamisme ou/et consommation par les herbivores.

Tableau 10: Coefficient A des feuilles de *P. oceanica* : adultes, intermédiaires et juvéniles et globales (feuilles adultes et intermédiaires)

SITE	coefficient "A" (%)			
	Ad	In	J	Globale
R1	71	23	0	47
R2	83	38	0	60
R3	32	15	0	23
R4	56	8	0	32
moy	60	21	0	41

On trouve que le coefficient « A » est estimé entre 32% (R3) et 83% (R2) et que cette valeur reste toujours nulle pour les juvéniles car elles sont inaccessibles pour les herbivores du fait qu'elles occupent le centre de l'herbier.

D'après les résultats obtenus dans le tableau 10, on remarque que pour les 4 récifs barrières le coefficient « A » des feuilles adultes est toujours plus important que les feuilles intermédiaires et juvéniles.

2) Analyse lépidochronologique

Pour déterminer l'âge de *P. oceanica*, une étude lépidochronologique a été réalisée (Fig 30).

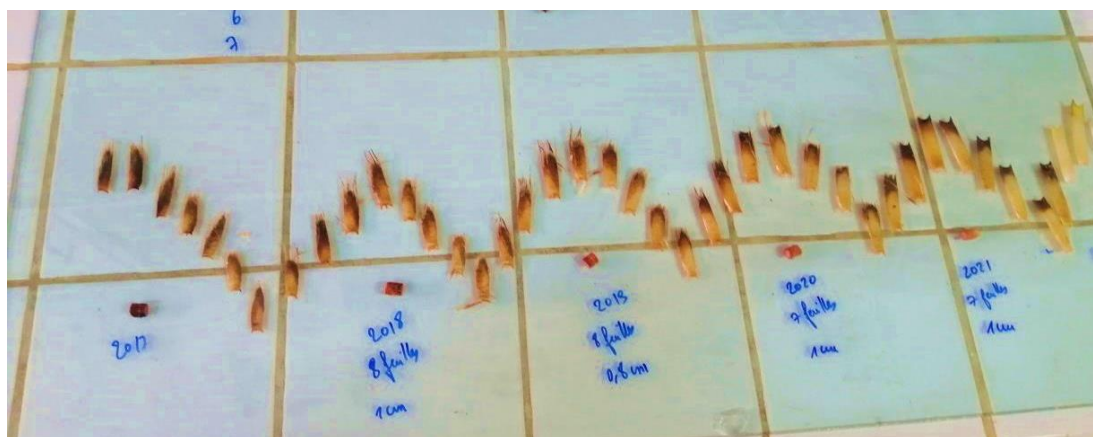


Figure 30: Analyse lépidochronologique d'un faisceau de *P. oceanica* provenant du site R4

L'âge maximum des rhizomes trouvé pour les 4 récifs est de 7 ans (2015-2022) et le minimum est de 2 ans (2022-2020) ; où la moyenne d'âge des échantillons est d'environ 4,65 ans (Tab 11).

Tableau 11: Analyse lépidochronologique des 4 récifs barrières autour des îles Kuriat

site	moyenne d'âge (ans)	nombre de feuille moy/cycle	longueur moy du rhizome (vitesse d'élongation de rhizome/ans) (cm)	Profondeur (m)
R4	4,8	7,16	0,85	2,23
R3	5	8,21	0,861	0,87
R2	3,4	8,3	0,892	1,33
R1	5,4	7,98	1,052	1,5
Moyenn e	4,65	7,91	0,91	

Au niveau des îles Kuriat, la production moyenne des feuilles des 4 récifs barrières autour des îles de Kuriat est estimée entre 7,16 (R4) et 8,3 (R2) F/an ; avec une moyenne de 7,66 F/an.

La croissance des rhizomes des récifs barrières de îles Kuriat est entre 0,85(R4) et 1,052(R1) cm/cycle ; avec une moyenne d'élongation du rhizome d'environ 0,91 cm/cycle.

L'analyse lépidochronologique a permis de mettre en évidence les floraisons qui se sont produites au cours des six dernières années 2015-2022. Des pédoncules floraux ont été trouvés au sein des différents herbiers (Fig 31) ; avec environ 1 à 3 pédoncules par site surtout les années 2022 et 2021.



Figure 31: Pédoncule floral.

Des olives de mer, fruit de Posidonie, ont été trouvées au niveau des 4 récifs lors du trajet entre l'île Kuriat et du port de la marina de Monastir ; d'autant plus en se rapprochant de l'archipel (Fig 5); on a trouvé des olives de la mer (fruit de Posidonie) (Fig 32).



Figure 32: Fruit de *P. oceanica*

Chapitre IV :

Discussion

Evaluation des récifs barrières

La comparaison des données de la « vérité terrain », effectuée dans le cadre de cette étude, avec la cartographie RAC/SPA de 2015 (annexe 1) rend compte de l'évolution de la situation et de l'état des récifs barrière de l'île Kuriat en l'espace de 7 ans.

Au niveau de R1, on remarque une régression très importante du récif surtout aux deux extrémités du récif. Pour R2 et R3, on constate également une régression mais qui est moins importante que celle de R1. Cependant pour R4, la comparaison temporelle des deux récifs en 2015 et 2022, montre qu'il y a progression du récif.

De plus, on remarque la formation de 2 nouveaux récifs. Le premier au niveau du Nord de la petite Kuriat et le deuxième situé à l'Est de la grande Kuriat; ce qui est un signe du bon état de santé et de la vitalité des herbiers de Kuriat.

D'après les éco-gardes et les pêcheurs de l'île Kuriat, chaque 2 année la partie Sud de La petite Kuriat est émergée puis elle revient à son état naturel. Toutefois, cette ouverture perdure depuis 2017(annexe 2).

La régression des récifs barrières au niveau de PK et leur discontinuité constituent des facteurs d'érosion au niveau de la partie Sud de petite Kuriat.

De plus, l'hors de l'acquisition des points GPS des limites des récifs et prélèvements des mesures in-situ, on a remarqué qu'il y a des nombreux filets de pêche qui sont, pour la plupart, situés aux limites des récifs. Des nasses en plastique (annexe 3) ont également été trouvées au sein des récifs et le pourcentage d'ancrage au niveau de l'île est important (annexe 4).

Les eaux côtières de l'archipel semblent à l'abri de la pollution d'origine tellurique³ (Ramos et Ben Mustapha, 2010).

La pollution de plastique (annexe 5) et l'excès en matière organique sont fréquentes pratiquement dans tous les sites surtout R1 et R2 à cause de l'activité touristique à la petite Kuriat. Cette pollution est susceptible d'avoir un effet très grave sur la croissance de la Posidonie puisque cette magnoliophytes est très sensible à la pollution en général.

La prolifération très importante des épiphytes⁴ au niveau des feuilles de Posidonie et des algues (annexe 6) surtout dans R1. Cette situation est, d'habitude, observée plus tard dans l'année (Dorai S., comm. pers.). La croissance exponentielle des épiphytes est relative à l'excès de matière organique dans cette zone.

³ Tellurique= pollution des mers et des océans d'origine terrestre.

⁴ Epiphytes= les épiphytes sont des organismes qui se développent et vivent sur une plante sans qu'il existe de relations d'ordre nutritionnel (Harlin, 1980).

Densité des 4 récifs autours de l'île Kuriat:

Les résultats obtenus dans le cadre de ce travail montrent que les herbiers de l'archipel de Kuriat sont, en général, en très bon état. En comparant les résultats avec ceux du rapport du suivi de l'état des herbiers des îles Kuriat, effectué en novembre 2020, par NGB, on note une différence importante entre les deux études puisqu'en 2019, les herbiers étaient de type III et IV et donc qualifiés de « Clairsemés à très clairsemés ». Il semble, donc, qu'au cours de ces derniers 3 ans, la densité des herbiers se soit améliorée de façon notable. Cependant, cette différence pourrait être due au fait que les études de 2019 et de 2022 n'ont pas été réalisées à la même saison.

La densité des 4 récifs diminue avec la profondeur. Nos résultats rejoignent ceux de SGHAIER en 2006 à Hergla et El Kantaoui ; et ZAKHAMA en 2005 à Mahdia ainsi que ceux de nombreux auteurs (GIRAUD, 1977 ; BAY 1979 ; PERGENT, 1995 ; ALCOVERRO, 2001).

D'où on conclut que la densité des faisceaux de *Posidonia oceanica* est proportionnelle à la profondeur quelle que soit la localité. Cette variation est due à la baisse de l'intensité lumineuse (PERGENT et al, 1995).

Recouvrement :

D'après le recouvrement enregistré au niveau des 4 récifs, on conclut que les herbiers de Posidonie sont plutôt sains. En effet, les valeurs généralement diminuent selon la profondeur. Ainsi, dans les herbiers peu profonds et sains, le taux de recouvrement peut être élevé (80-100%). Au contraire, en limite inférieure de l'herbier sain et dans les herbiers soumis à un fort impact humain, le recouvrement est habituellement faible (entre 5 et 40%) (PERGENT et al, 1995 ; CHARBONNEL et al, 2000a). Dans la zone d'étude, le maximum de profondeur n'atteint pas les 3 mètres, ce qui pourrait soutenir les résultats de PERGENT et al, (1995) et CHARBONNEL et al, (2000a).

La différence des taux de recouvrement peut être liée à la profondeur d'une part, aux conditions environnementales qui favorisent la croissance de la Posidonie vers le large (par exemple le réchauffement climatique) et, d'autre part, aux impacts anthropiques comme cela a été démontré pour le grand récif barrière de Posidonie de la baie de Brus, en France, dont la dégradation a été attribuée à des pressions anthropiques (SIMIDE et ABELLO, 2020).

Cependant, le recouvrement varie aussi naturellement, (en raison des changements de longueur des feuilles) ou par exemple dans les zones soumises à un fort hydrodynamisme ou à une hyper-sédimentation comme en R1 et R2 où il y a l'ouverture au Sud de petite Kuriat (annexe 7) qui a favorisé l'hydrodynamisme dans ces deux récifs.

Déchaussement :

Le déchaussement a été remarquable et abondant dans le site R4S1 pour les deux types des rhizomes où on a changé la place de quadrat de densité 2 ou 3 fois puisque le comptage n'a été pas facile dans cette condition.

On comparant les résultats trouvés à ceux du rapport de mission de suivi des herbiers de *P.oceanica* réalisés par NGB (2020) dans les mêmes sites, on trouve que le déchaussement au niveau de R1 et R2 est plus important que dans R3 et R4 et que le déchaussement minimal est mesuré dans R4.

L'évolution du déchaussement au niveau de R4 de 5,7 cm à 14,22 cm (R4S2) est très grave qui peut être le résultat de la surpêche dans cette zone et l'utilisation intensif des nasses en plastique.

Phénologie :

Les résultats de l'étude phénologique montrent que la surface foliaire des herbiers de *P.oceanica* des 4 récifs barrières à l'île Kuriat augmente au fur et à mesure que la profondeur augmente ; ce qui rejoint les résultats de GRASSA (2018) concernant la surface foliaire de Posidonies. De même, ces résultats ne sont pas différents de trouvés à Hergla et El Kantaoui par SGHAIER (2006) où la surface foliaire par faisceau diminue en fonction de la profondeur dans les deux localités étudiées. Ces résultats peuvent être dû au nombre limité et insuffisant des échantillons et le mauvais choix des échantillons.

Les valeurs de l'indice foliaire des 4 récifs barrières à l'île Kuriat ont le même ordre croissant avec la profondeur que celle de SF puisque ils sont proportionnels. La différence de IF entre les sites s'explique par plusieurs facteurs tels que la biométrie des feuilles, le nombre de feuilles par faisceau et la densité (SGHAIER.Y, 2006).

L'état de l'apex peut donc nous fournir des informations sur le taux de broutage pour un site donné. Dans cette étude, l'apex des feuilles présentait différents états : soit sain soit brisé, indiquant une pression de un broutage par divers consommateurs (ALCOVERRO et al, 1997) tels que les Echinodermes (DANIS et al, 2005), les crustacés (BOUDOURESQUE et MEINESZ, 1982), les poissons (ANATO et KTARI, 1983; JADOT et al, 2003) mais, aussi, à l'action de l'hydrodynamisme.

D'après les résultats obtenus dans les 4 récifs barrières, le coefficient « A » de la feuille adulte est toujours plus important que celui des feuilles intermédiaires et juvéniles. Ceci s'explique par le fait que ces dernières sont où les feuilles intermédiaire et juvéniles sont plus jeunes et mieux protégées de l'action des prédateurs grâce à de leur position à l'intérieur des herbiers (GIRAUD, 1977 ; PERGENT, 1987).

Pour les 4 récifs, on remarque aussi que le Coefficient « A » diminue quand la profondeur augmente, à l'exception de R3. Ceci indique que la consommation des feuilles de posidonie est plus importante dans les herbiers superficiels (ZAKHAMA, 2005). Cette destruction de l'apex

est induite par la prolifération des épiphytes qui favorisent la consommation des feuilles par les herbivores et l'hydrodynamisme important surtout au niveau du Sud de la petite Kuriat.

Lépidochronologie :

Le nombre d'écailles par cycle, qui traduit la période du cycle d'épaisseur des écailles, correspond au nombre des feuilles tombées en une année ou cycle annuel. En effet, un cycle correspond à une année avec un minimum (phase descendante) et un maximum d'épaisseur d'écailles (phase ascendante). PERGENT (1987) situe un minimum (écailles « fines ») d'un cycle entre février et mars et un maximum (écailles « épaisses ») entre septembre et octobre.

Les résultats de la présente étude montrent que la production moyenne de feuilles varie peu d'un récif barrière à l'autre.

La vitesse de croissance est très variable d'un cycle à l'autre (PERGENT, 1987; Prgen-MATTINI, 1994 ; BOUMAZ, 1995)

La vitesse d'élongation de l'herbier de Posidonie varie d'un site à un autre puisque la vitesse de croissance en R4 (1,052cm) est plus importante que celle en R1 (0,85 cm). Ces différences ont aussi été remarquées lors d'une étude inter-herbiers (SGHAIER, 2006) où l'auteur a montré une différence remarquable de la vitesse de croissance du rhizome plus importante dans l'herbier d'Hergla (6,52±0,63 - 9,4±1,5 mm) comparé à celui d'El Kantaoui (3,77±0,56 - 6,11±0,74 mm).

En Tunisie, la floraison de la posidonie a toujours été considérée comme un phénomène courant (MOLINIER et PICARD, 1952). Dans cette étude, la fréquence des pédoncules florale trouvés (10 pédoncules florale sur 20 faisceaux) est très importante par rapport à celle trouvée en 2018 (Sur 120 faisceaux récoltés, 18 pédoncules floraux) par GRASSA (2018) et en 2005 (Sur 90 faisceaux récoltés, 4 pédoncules floraux ont été trouvés dans l'herbier d'El Kantaoui et 12 dans celui de Hergla.) par SGHAIER (2006).

En général, la floraison est un phénomène rare et irrégulier. Il semble donc que l'intensité avec laquelle la Posidonie a fleuri soit due à des facteurs imprévus dans le milieu et qui peuvent être le réchauffement climatique et la température élevée ou encore le prolongement des saisons estivales ; expliquant ainsi un apport photique important.

De plus les deux années de confinement suite à la crise sanitaire de la COVID19 ont fait baisser les activités touristiques et de pêche ; situation qui a fait diminuer le taux de pollution et le nombre d'ancrage favorisant ainsi des conditions propices à la colonisation et à la de *P.oceanica*.

Conclusion générale et perspectives

La cartographie a été réalisée grâce au logiciel de Système d'Information Géographique QGIS. Le SIG (Système d'Information Géographique) pour suivre l'évolution des récifs.

L'état des herbiers des 4 récifs barrières est généralement bon aussi bien du point de vue de la densité que du taux de recouvrement. Cependant, les valeurs de déchaussement des rhizomes atteste d'une dégradation de l'herbier, en particulier sur la façade Est de la grande Kuriat, ce qui est probablement dû à la surpêche et l'ancrage des bateaux de pêche.

Les résultats de cette étude attestent de la présence d'une grande surface de matte morte, ce qui montre qu'il y a une régression de l'herbier au niveau de la façade Ouest de l'archipel, surtout au niveau de la petite Kuriat. Les causes de cette régression sont nombreuses telles que les nasses en plastique, l'ancrage, les pressions anthropiques et le régime hydrodynamique provoqué par l'ouverture au niveau de la petite Kuriat.

Toutefois, une comparaison des résultats inter-herbiers prouvent l'apparition de nouveaux récifs barrières sur les deux îles. De plus, cette année, une floraison importante de *P. oceanica* a été observée, probablement due à une baisse des pressions anthropiques suite au confinement imposé par la crise de la COVID19.

Les récifs barrières autour des îles Kuriat constituent une barrière solide qui protège les îles l'érosion tout en offrant un pôle de biodiversité composé de plusieurs espèces. Même si l'état des herbiers est globalement bon, ils restent menacés par les activités de tourisme et de pêche. Il semble, donc, essentiel de protéger cette forêt sous-marine par la réalisation d'un suivi régulier et une réglementation stricte de la pêche dans cette aire marine comme l'interdiction de pêche et la pose de nasses et de filets au sein ou aux abords des récifs barrière.

Références bibliographique

- ALCOVERRO T, CEBRIAN E, BALLESTEROS E. 2001. The photosynthetic capacity of the seagrass *Posidonia oceanica*: influence of nitrogen and light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 261: 107–120
- ALCOVERRO, T., DUARTE, C. M., ROMERO, J., 1997. The influence of herbivores on *Posidonia oceanica* epiphytes. *Aquat. Bot.*, 56: 93-104.
- ANATO, C. B., KTARI, M.H., 1983. Régime alimentaire de Boops boops (Linné, 1758) et de *Sarpa salpa* (Linné, 1758), poissons teleosteens sparidés du golfe de Tunis. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 28,5.
- APAL, 2010. Programme de développement des Aires Protégées Marines et Côtières en Tunisie : 86 p. + annexes
- ASTRUCH P., GOUJARD A., BELLONI B., LYONNET A., BOUDOURESQUE C.F., 2017. Suivi des deux balisages (Nord et Sud) de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia* de l'île de Port-Cros: 58 p + annexes
- 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.
- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.F., 1970. Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc national). VI. Le récif-barrière de *Posidonies*. *Bull. 176 Mus. Hist. nat. Marseille* : 30: 221-228 + 1 pl. h.t.
- BADALAMENTI, F., ALAGNA, A., FICI, S., 2015. Evidences of adaptive traits to rocky substrates undermine 318 paradigm of habitat preference of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Scientific Reports* 5: 8804.
- 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. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 250: 51-60.
- 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. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 250: 51-60.
- BEN ALAYA.H., 1972. Répartition et conditions d'installation de *Posidonia oceanica* Delile et *Cymodocea nodosa* Ascherson dans le golfe de Tunis. *Bulletin de La Station Océanographique de Salammbô*, 3 : pp 331–416
- BEN MUSTAPHA et HATTOUR, 1992 : Les herbiers de *Posidonies* du littoral tunisien: 1. Le golfe de Hammamet : 43p.
- BONHOMME.D, harles F. BOUDOURESQUE.C, ASTRUCH.P, BONHOMME. J, BONHOMME.P, GOUJARD.A, THIBAUT.T. ; 2015. Comprendre le rôle des récifs barrière à *Posidonia oceanica* dans l'atténuation de l'hydrodynamique : Programme CANOPé. 126 pages

- BOUDOURESQUE C.F., GIRAUD G., PANAYOTIDIS P., 1980. Végétation marine de l'île de Port-Cros. XIX, 6: 207-221.
- 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 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 - PNUE/PAM, 2011. Habitats marins et principales espèces des îles Kuriat (Tunisie) - Etude complémentaire: Formations naturelles d'intérêt pour la conservation. : 36 pages + annexes.
- CAR/ASP, 2014. Lignes Directrices pour la Standardisation des Méthodes de Cartographie et de Surveillance des Magnoliophytes Marines en Méditerranée, Tunis : 62pp.
- CAYE G., 1980. Sur la morphogénèse et le cycle végétatif de *Posidonia oceanica* (L.) Delile : 1-121.
- 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, Bouchesdu- Rhône) : 1-42.
- 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, Bouchesdu- 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 1-271.
- 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.
- 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>

- DANIS, B., COTRET, O., TEYSSIE, J.L., BUSTAMANTE, P., FOWLER, S.W., WARNAU, M., 2005. Bioaccumulation of PCBs in the sea urchin *Paracentrotus lividus*: seawater and food exposures to a ¹⁴C-radiolabelled congener (PCB#153). *Environmental Pollution* .135 : 11–16.
- 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.
- DIMASSIN, SAYADI.M-A, JRIJER.J, 2015. Inventaire Aranéologique de l’Archipel des îles Kuriat. Note naturaliste Initiative PIM. 12 pages
- GACIA E., DUARTE C.M., 2001. Sediment retention by a Mediterranean *Posidonia oceanica* meadow: the balance between deposition and resuspension. *Est. Coast. Shelf Sci.* 52: 505-514.
- GAMBI M.C., BUIA M.C., CASOLA E., SCARDI M., 1989. Estimates of water movement in *Posidonia oceanica* beds: a first approach. In, 2: 101-112.
- 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., 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.
- GIRAUD G., 1977b. Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile. *Bot. Mar.* 20(8): 487-491.
- GIRAUD, G., 1977. Contribution à la description et à la phénologie quantitative des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doctorat 3^e cycle, Univ. Aix-Marseille II, Fr. : 1-150.
- GOBERT S., CAMBRIGE M. L., VELIMIROV B., PERGENT G., LEPOINT G., BOUQUEGNEAU J. M., DAUBY P., PERGENT-MARTINI C., WALKER D. L. 2006. Biology of Posidonia: Seagrasses :Biology, Ecology and Conservation (eds. : W. D. Larkum A., J. Orth R., M. Duarte C.). Springer : Dordrecht. 387- 408.
- GOBERT S., CAMBRIGE M. L., VELIMIROV B., PERGENT G., LEPOINT G., BOUQUEGNEAU 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.
- GRASSA.M, 2018. Initiation à la cartographie et étude des paramètres de vitalité du récif barrière à posidonie de la petite Kuriat : 88pp.
- GRAVEZ V., GELIN A., CHARBONNEL E., FRANCOUR P., ADELLARD O., ET REMONNAY L., 1995. Surveillance de l’herbier de Posidonie de la baie du pardo (Marseille)-suivi 1995.ville de Marseille et Gis Posidonies publ.Marseille,Fr. :56pp
- JADOT, C., OVIDIO, M., VOSS, J., 2003. Diel activity of *Sarpa salpa* (Sparidae) by ultrasonic telemetry in a *Posidonia oceanica* meadow of Corsica (Mediterranean Sea). *Aquatic Living Resources.* 15 (6): 343-350.

- JEUDY DE GRISSAC A., 1984. Essais d'implantations d'espèces végétales marines: les espèces pionnières, les Posidonies. In. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 431-436.
- JEUDY DE GRISSAC A., BOUDOURESQUE C.F., 1985. Rôle des herbiers de Phanérogames marines dans les mouvements de sédiments côtiers : les herbiers à *Posidonia oceanica*. Colloque franco-japonais d'Océanographie, Marseille, Fr., 1: 143-151.
- JRIJER.J, BEN SALAH.F, décembre 2018. Evaluation d'Impact Environnemental Contribuer à la gestion intégrée durable de l'aire marine et côtière protégée Kuriat : 27p.
- MEINESZ, A., LAURENT, R., 1978. Carte de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les alpes maritimes (France). Ann. Inst. Océanogr., Paris, 56(1) : 45-54.
- 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.
- MOLINIER.R et ZEVACO.C, 1962.Etudes écologiques et biocénétiques dans la baie du Brusç(Var), Fascicule 3:étude statistique et physiologique de la croissance des feuilles de Posidonies (*Posidonia océanica* Delile). Monaco, 59 (1234):1-46.
- MOLINIER.R ET ZEVACO.C., 1962.Etudes écologiques et biocénétiques dans la baie du Brusç(Var),Fascicule 3:étude statistique et physiologique de la croissance des feuilles de Posidonies(*Posidonia océanica* Delile). Monaco,59 (1234):1-46.
- NGB, 2020. Rapport de suivi de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans l'AMCP des l'île Kuriat : 18p.
- PANAYOTIDIS, P., BOUDOURESQUE, C. F, MARCOT-COQUEUGNIOT, J.. Microstructure de l'herbier de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. Microstructure of *Posidonia oceanica* (Linnaeus) beds , 24 : pp. 115-124.
- 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 Costal conservation, 4 : 59-66
- PERGENT G., 2007. Protocole pour la mise en place d'une surveillance des herbiers de Posidonies. Programme « MedPosidonia » / CAR/ASP - Fondation d'entreprise TOTAL pour la Biodiversité et la Mer : 21p
- 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., LEONARDINI R., LOPEZ Y ROYO C., MIMAULT B., PERGENT-MARTINI C., 2008. Mise en oeuvre d'un Réseau de Surveillance Posidonies le long du littoral de la Corse – Rapport de synthèse 2004-2008.

Contrat Office de l'Environnement de la Corse et GIS Posidonie Centre de Corse.
GIS Posidonie Publ., Corte : 1-273.

- 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, 2007. Protocole pour la mise en place d'une surveillance des herbiers de Posidonies. Programme « MedPosidonie » / CAR/ASP - Fondation d'entreprise TOTAL pour la Biodiversité et la Mer ; Mémorandum d'Accord N°21/2007/RAC/SPA/ MedPosidonie Nautilus-Okianos:24p +Annexes
- PERGENT, G., 1987. Recherche lépidochronologiques chez *Posidonia oceanica* (Potamogetonaceae). Fluctuations des paramètres anatomiques et morphologiques des écailles des rhizomes. Thèse doctor. Océanol., Univ. Aix-Marseille II, Fr., 1-853.
- PERGENT, G., 1991. Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en Méditerranée. *Oceanis*, 17 (4) : 341-350.
- PERGENT, G., CALVO, S., CANCEMI, G., DJELLOULI, A., DUPUY DE LA GRANDRIVE, R., LANGAR, H., PERGENT-MARTINI, C., TOMASELLO, A., 2010. Nouvelles connaissances sur les herbiers tigres de Méditerranée : 95-98
- 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
- PNUE/PAM-PLAN BLEU, (2009), État de l'environnement et du développement en Méditerranée. PNUE/PAM-Plan Bleu, Athènes, Plan d'action pour la méditerranée, 204p
- RAMOS-ESPLA.A.A. et BEN MUSTAPHA. K., février 2010, Rapport de la mission d'étude des habitats marins et ses principales espèces des Iles Kuriat (Tunisie), 97pp.
- ROMERO J., 2004a. Las praderas de Fanerógamas marinas. La producción primaria y su destino. Características de los restos de la planta.*In*: 74-81.
- ROMERO J., 2004b. Posidònia: els prats del fons del mar. La mirada del biòleg a un ecosistema mediterrani. Escola del Mar, Centre d'Estudis Marins de Badalona publ., Spain:1-159.
- RUIZ.J-M, ROMERO.J, 2001. Effects of *in situ* experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*, 215:107-120
- SALAT et PASCUAL, 2002. Impact du changement climatique sur les écosystèmes marins : 39p.
- SALLEMI R., 2010. Analyse spatiale des usages au sein de la future aire marine protégée des îles Kuriat. Master, Univ. Manouba, 154p.

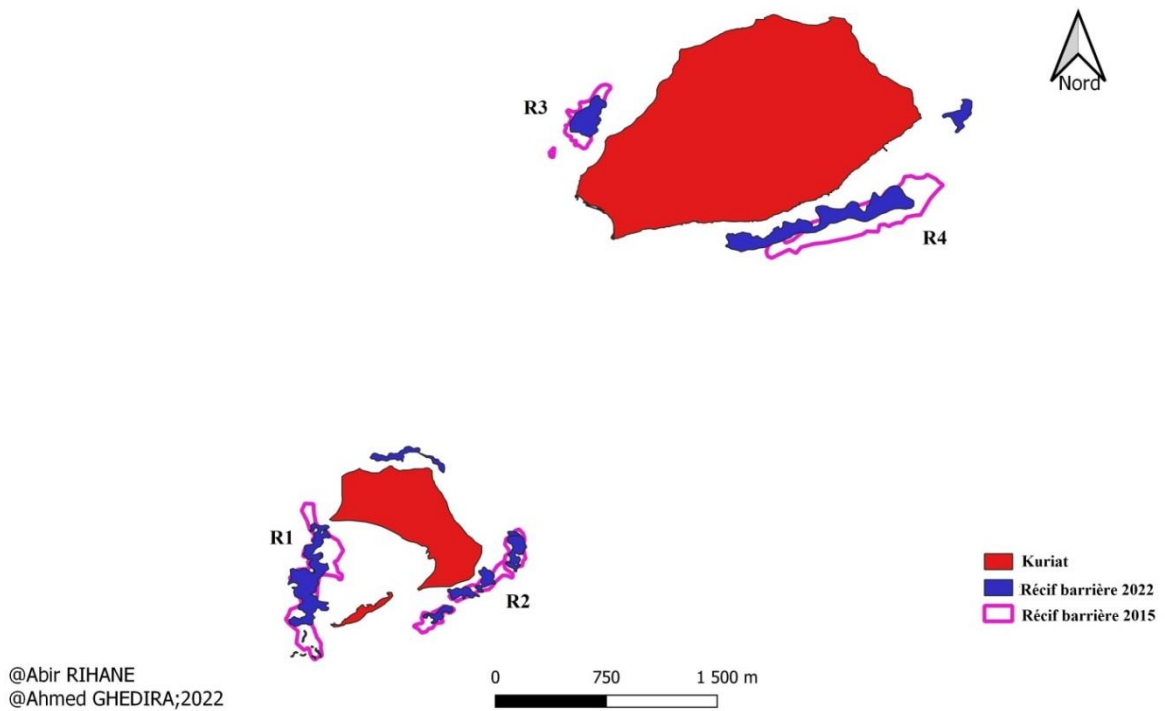
- SARTORETTO S, BAUCOUR C ET PERGENT G, juin 2012. Caractéristiques biologiques – biocénoses Habitats particuliers de l'infralittoral : herbier à *Posidonia Oceanica* CARACTÉRISTIQUES ET ÉTAT ÉCOLOGIQUE.13p.
- SDAGE, 2003. Connaissance et gestion de l'érosion du littoral. Guide technique n°9. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Fr.: 1-53
- SGHAIER.Y-R, 2006 : Etude comparative de deux herbiers de *Posidonia oceanica* des côtes orientales de la Tunisie : phénologie, lépidochronologie et Amphipodes associés, 154pp
- SIMIDE R. et ABELLO C., 2020, Le grand le récif barrière de Posidonie de la baie du Brus. Rapport d'étude pour l'Agence Française pour la Biodiversité. IOPR. 54pp.
- 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.
- ZAKHAMA.R, 2005 : L'herbier de posidonie de Mahdia : caractéristiques et Amphipodes associés, 175pp

Référence Web

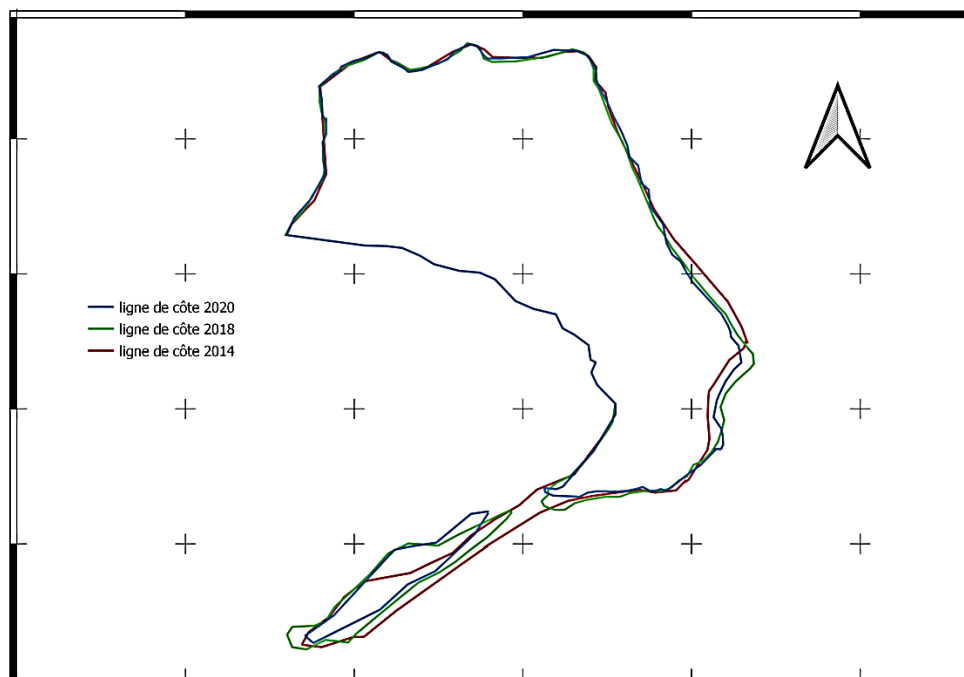
- ABADIE.A, 2019. Les prairies de Posidonie : <https://seaescape.fr/blog/2019/09/23/les-prairies-de-posidonies>. 11/04/2022 ; 14 :45h
- ARNAUD-HAOND, S., DUARTE, C.M., DIAZ-ALMELA, E., MARBA, N., SINTES, T., SERRÃO, E.A., 2012. Implications of extreme life span in clonal organisms: Millenary clones in meadows of the threatened seagrass *Posidonia oceanica*. PLoS One. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030454>. 28/02/2022, 9:15h
- AYADI.W, 20-07-2020 ; Reportage dans les Îles Kuriat, ce paradis tunisien des espèces protégées et des tortues de mer;<https://news.gnet.tn/iles-kuriat-le-paradis-des-tortues-de-mer>; 02/02/2022 ,10 :30h
- LEDIREACH.L, le 23 janvier 2019, des récifs de Posidonie en Méditerranée française : <https://gisposidonie.osupytheas.fr/?p=2786#:~:text=Il%20s'agit%20d'une,de%20v%C3%A9ritables%20monuments%20patrimoniaux%20naturels>. 12/03/2022,21 :30

Annexe

Annexe 1 : Carte comparative des récifs barrières à l'île Kuriat (2015-2022)



Annexe 2 : Variation de l'ouverture au niveau de Sud de l'île Kuriat de 2014 à 2020 (NGB)



Annexe 3 : Nasse en plastique au sein du R2



Annexe 4 : Ancre au près du R1



Annexe 5 : Pollution de plastique



Annexe 6 : Prolifération des algues (A) et des épiphytes (B)



Annexe 7 : L'ouverture au niveau de Sud de l'île Kuriat (Google Earth, 2020)



Résumé

Les récifs de Posidonie constituent une structure vivante unique dans la biosphère. Ils sont constitués d'herbiers de *Posidonia oceanica* qui affleurent à la surface de la mer et sont émergés pendant les marées basses.

Afin d'avoir un aperçu sur l'état de l'herbier de Posidonie des 4 récifs barrières aux alentours des îles Kuriat, des mesures de la densité des herbiers, du taux de recouvrement des feuilles et du déchaussement des rhizomes de Posidonie ainsi qu'un suivi des paramètres phénologique et lépidochronologie de cette magnoliophyte ont été effectués au niveau de 12 sites (3 sites par récif). De plus, une cartographie des récifs barrières a été réalisée en utilisant le Système d'Information Géographique grâce au logiciel QGIS.

La densité des herbiers pour les 4 récifs est en général bon à excellent. Le recouvrement est noté fort mais le déchaussement est important surtout sur la façade Est de la grande Kuriat où le déchaussement dépasse 10 cm pour les 2 types de rhizomes.

L'étude lépidochronologique a nous donné des informations sur la floraison des herbiers de Posidonie et à quel année elle a lieu aussi la production moyenne des feuilles par la *P.oceanica* du chaque récif. Les résultats de la présente étude montrent que la production moyenne de feuilles varie peu d'un récif barrière à l'autre. Quant à la vitesse de croissance de herbier de Posidonie, elle est plus importante sur la façade Est de la grande Kuriat que sur la façade Ouest de la petite Kuriat. Pour les 4 récifs, on remarque aussi que le pourcentage de feuilles ayant perdu leur apex diminue en fonction de la profondeur et qu'il est plus important dans les herbiers superficiels. Il semblerait que les épiphytes favoriseraient la consommation des feuilles par les herbivores notamment celles à la périphérie des herbiers, la zone centrale de ces derniers étant plus protégés de la pression de broutage.