

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



Mémoire de Fin d'Études

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Sciences de la Mer

Option : Biodiversité et Gestion des Écosystèmes

Thème :

**CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE L'ÉTAT
ÉCOLOGIQUE DES HERBIERS À PHANÉROGAMES
MARINES (POSIDONIA OCEANICA)
AU NIVEAU DE LA PLAGE OUEST DE SIDI-FREDJ**

Présenté par : Mlle. BOUHZAM Rania & Mlle. ROUMANI Maroua

Soutenu le 06 Novembre 2021, devant le jury composé de :

Dr. BOUFERSSAOUI S., Maître de Conférences B, ENSSMAL Présidente

Mme. BOUGHAMOU N., Maître de Conférences B, ENSSMAL Examinatrice

Mme. MAHDID S., Maître Assistante A, ENSSMAL Examinatrice

Mme. GHALMI R., Maître de Conférences A, ENSSMAL Promotrice

M. SEBAI I., Plongeur Professionnel, Invité

Promotion 2020/2021

Les herbiers à *Posidonia oceanica* sont devenus, au cours des dernières décennies, un objectif majeur de protection et de gestion du milieu marin en Méditerranée. En effet, ils constituent un élément fondamental pour la qualité des milieux littoraux. Endémiques à la méditerranée, les herbiers à posidonie sont suffisamment présents dans la baie de Bou-Ismaïl pour permettre d'aborder leur étude de vitalité et leurs paramètres phénologiques. Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes intéressés particulièrement à l'état de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la plage Ouest de Sidi-Fredj qui se développe sur un substrat sableux à sableux rocheux. Des mesures de la densité, du déchaussement des rhizomes, de recouvrement et/ou un suivi des paramètres phénologiques a été effectué au niveau de 3 stations, à des profondeurs de 2 à 5m durant l'été 2021. L'herbier de la zone étudiée présente une densité anormalement mauvaise de 263,33 faisceaux/m² ce qui le classe parmi les herbiers de type IV : très clairsemés selon Giraud (1977), Pergent et al. (2008) et Pergent-Martini et al. (2010). Le recouvrement de l'herbier est moyen (48,15%) selon Charbonnel et al. (2000) ce qui explique qu'il est soumis à des conditions de développement défavorables. Aussi les paramètres phénologiques montrent des signes de perturbation compte tenu de la mauvaise vitalité et notamment par la forte présence de l'algue invasive, *Caulerpa racemosa* retrouvée au sein de l'herbier. Par ailleurs, plusieurs espèces associées à l'herbier à posidonie ont été observés dans notre zone d'étude, ce qui met en évidence la diversité encore bonne au sein de l'herbier. Un effort considérable doit être fourni, afin de préserver les herbiers de posidonie des différentes localités de la côte algéroise.

Mots clés : *Posidonia oceanica*, vitalité, densité, phénologie, biodiversité, plage Ouest de Sidi Fredj

In recent decades, *Posidonia oceanica* meadows have become a major objective for the protection and management of the Mediterranean marine environment. Indeed, they constitute a fundamental element for the quality of coastal environments. Endemic to the Mediterranean, *Posidonia* meadows are sufficiently present in Bou-Ismaïl Bay to allow us to study their vitality and phenological parameters. Within the framework of this work, we were particularly interested in the state of the *Posidonia oceanica* meadow on the western beach of Sidi-Fredj, which develops on a sandy to rocky-sandy substrate. Measurements of density, rhizomes loosening, coverage and/or monitoring of phenological parameters were carried out at 3 stations, at depths of 2 to 5m during the summer of 2021. The meadow in the study area has an abnormally low density of 263.33 bundles/m², which classifies it as a type IV meadow: very sparse according to Giraud (1977), Pergent et al. (2008) and Pergent-Martini et al. (2010). The coverage of the meadow is average (48.15%) according to Charbonnel et al. (2000) which explains why it is subject to unfavorable development conditions. Also the phenological parameters show signs of disturbance due to the poor vitality and in particular the strong presence of the invasive algae, *Caulerpa racemosa* found within the meadow. In addition, several species associated with the *Posidonia* meadow were observed in our study area, which highlights the still good diversity within the meadow. A considerable effort must be made to preserve the *Posidonia* meadows in the various localities of the Algerian coast.

Key words : *Posidonia oceanica*, vitality, density, phenology, biodiversity, Western beach of Sidi Fredj

أصبحت مروج *Posidonia Oceanica* ، في العقود الأخيرة ، هدفًا رئيسيًا لحماية وإدارة البيئة البحرية في البحر المتوسط. في الواقع، إنما تشكل عنصرًا أساسيًا لنوعية البيئات الساحلية. تتوطن مروج *Posidonia* في البحر الأبيض المتوسط وتتواجد بشكل كافٍ في خليج بو إسماعيل للسماح بدراسة حيويتها ومعاييرها الفينولوجية. في إطار هذه الدراسة، اهتمنا بشكل خاص بحالة مروج *Posidonia oceanica* للشاطئ الغربي لسيدي فرج، والذي يتطور على طبقة رملية إلى رملية صخرية. تم إجراء قياسات الكثافة، وتباعد الجذور، والتغطية و/أو مراقبة المعايير الفينولوجية في 3 محطات، على أعماق تتراوح من 2 إلى 5 أمتار خلال صيف عام 2021. كثافة مرج المنطقة المدروسة ضعيفة بشكل غير طبيعي و تبلغ 263,33 حزمة / متر مربع والذي تصنفه بين مروج من النوع الرابع: متناثرة جدًا وفقًا لـ Giraud (1977) ، Pergent et al. (2008) و Pergent-Martini et al. (2010). يبلغ معدل تغطية المرج (48.15%) وفقًا لـ Charbonnel et al. (2000) وهو ما يفسر سبب تعرضها لظروف تنمياوية غير ملائمة. كما تظهر المعايير الفينولوجية علامات اضطراب نظرًا لضعف الحيوية وخاصة بسبب الوجود القوي للطحالب البحرية المتجاثرة، *Caulerpa racemosa*، الموجودة في المرج. بالإضافة إلى ذلك، لوحظت العديد من الكائنات البحرية المرتبطة بمرج *Posidonia* في منطقة دراستنا، مما يسלט الضوء على التنوع البيولوجي داخل المرج. يجب بذل جهد كبير من أجل الحفاظ على مروج *Posidonia* في مختلف مناطق ساحل الجزائر العاصمة.

الكلمات المفتاحية: *Posidonia oceanica*، الحيوية، الكثافة، الفينولوجيا، التنوع البيولوجي، الشاطئ الغربي لسيدي فرج

Dédicace

*À mes très chers parents,
qui m'ont soutenu et encouragé durant ces
années d'études ; pour leur amour, prières,
sacrifices et tout ce qu'ils ont fait pour moi
pour que je puisse arriver à ce stade.*

Maroua

Dédicace

À mes chers parents,

source d'amour et d'affection

qui m'ont toujours soutenu et encouragé

durant ces années d'études .

À mes chers frères,

mes sœurs et leurs enfants,

source de joie et de bonheur.

À toute ma famille,

source d'espoir et de motivation.

À tous mes amis,

À mon binôme.

Rania

Remerciements

On tient tout d'abord à remercier Allah le tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté et le courage pour achever ce travail.

On remercie vivement et en premier lieu notre promotrice Mme GHALMI R. pour avoir bien voulu diriger ce travail. On lui exprime notre très profonde reconnaissance pour sa gentillesse, son efficacité et sa grande disponibilité et orientations car sans son encadrement exceptionnel ce travail n'aurait pu voir le jour.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Dr. BOUFERSSAOUI S., Maître de Conférences à ENSSMAL, pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce PFE et pour l'intérêt et le soutien chaleureux dont elle a toujours fait preuve. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profond respect.

Nos remerciements s'adressent à Mme MAHDID S. et Mme BOUGHAMOUN., Maître Assistantes à l'ENSSMAL pour avoir bien voulu accepter de faire partie de ce jury. Qu'ils sachent que nous sommes très honorés par leur présence.

La réalisation de travaux en mer a nécessité la mobilisation de personnes très qualifiées. Nous saisissons l'occasion qui nous est offerte ici pour adresser nos sincères remerciements au plongeur professionnel, M. SEBAI I. pour sa grande connaissance du terrain, son expérience, sa disponibilité, sa patience et sa générosité en mettant à notre entière disposition le voilier « Ras Acrata » et le matériel de plongée nécessaires à notre travail sur terrain. Aussi pour nous avoir permis de réaliser nos travaux dans une ambiance et un enthousiasme inoubliable.

On remercie tout particulièrement l'Ingénieur en sciences de la mer, Mlle. CHENANE R. pour avoir accepté de partager ses connaissances sur le terrain et de nous avoir fortement aidé en plongée.

Nous tenons également à remercier, M. TARMOUL F., Doctorant à l'ENSSMAL, pour l'intérêt porté à notre travail sur les herbiers marins. Sa disponibilité tout au long de ce travail, son soutien moral, ses qualités humaines, ses directives et ses conseils judicieux de terrain, d'échantillonnage et de travail au laboratoire nous ont été d'un grand intérêt. Qu'il trouve ici la preuve de toute notre reconnaissance. Sans ces encouragements et conseils ce travail n'aurait pas abouti.

La réalisation d'un mémoire est une épreuve pas toujours facile... Aussi, nous tenons à dire un grand MERCI à toutes les personnes qui ont été à nos côtés pendant nos années à l'ENSSMAL et qui nous ont permis d'arriver au bout de ce travail.

Nous ne saurions terminer sans remercier bien évidemment nos familles pour leur indéfectible et inconditionnel soutien. Ils ont été présents pour écarter les doutes, soigner les blessures et partager les joies. Ce mémoire est un peu le leur. Un grand merci à nos frères, nos sœurs, nos nièces et nos neveux. Nous remercions en particulier nos cousins qui nous ont soutenu pendant les moments difficiles de ce mémoire. Un merci particulier à nos parents pour nous avoir soutenu et encouragé pour finaliser ce travail.

À tous ceux que nous n'avons pas cité et qui, de près ou de loin, ont rendu ce travail possible.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS	
I.I. PRÉSENTATION DE L'HERBIER À POSIDONIA OCEANICA	3
I.II. SYSTÉMATIQUE	3
I.III. DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE	4
I.IV. DESCRIPTION ET BIOLOGIE	4
I.V. ÉCOLOGIE	8
1.5.1. Cycle de vie	8
1.5.2. Sensibilité aux facteurs abiotiques	9
1.5.2.1. Luminosité	9
1.5.2.2. Température	9
1.5.2.3. Salinité	9
1.5.2.4. Hydrodynamisme	9
I.VI. BIOCÉNOSES ASSOCIÉES À POSIDONIA OCEANICA	10
1.6.1. Biocénoses à épiphytes	10
1.6.2. Biocénoses animales et saprophages	11
I.VII. LES LIMITES DE L'HERBIER	13
I.VIII. TYPES D'HERBIERS À POSIDONIA OCEANICA	14
1.8.1. Herbier de plaine	14
1.8.2. Herbier de colline	14
1.8.3. Herbier en pain de sucre	15
1.8.4. Herbier tigré	15
1.8.5. Herbier en escalier	15
1.8.6. Herbier ondoyant	15
1.8.7. Herbier en micro ou macro atolls	15
I.IX. RÔLES DES HERBIERS À POSIDONIA OCEANICA	17
I.X. MENACES ET AGRESSIONS PESANT SUR LA POSIDONIE	19
I.XI. MESURES DE PROTECTION ET DE GESTION DES HERBIERS À POSIDONIE	21
CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES	
II.I. SURVEILLANCE DES HERBIERS DE POSIDONIE	22
II.II. PRÉSENTATION DE BAIE DE BOU-ISMAIL	22
II.III. DESCRIPTION DE LA ZONE DE SIDI-FREDJ ET DU SITE D'ÉTUDE	25
II.IV. MESURE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES.....	28
II.V. MATÉRIELS ET ÉQUIPEMENTS UTILISÉS	29
II.VI. ANALYSE DE LA VITALITÉ DE L'HERBIER À POSIDONIE	30
2.6.1. Mesure de la densité de l'herbier	30
2.6.2. Mesure du déchaussement des rhizomes	33

SOMMAIRE

2.6.3. Estimation visuelle du taux de recouvrement.....	35
II.VII. RÉCOLTE DES ÉCHANTILLONS	37
II.VIII. ANALYSE BIOMÉTRIQUE	38
2.8.1. Surface Foliaire (SF)	40
2.8.2. Indice Foliaire : Leaf Area Index (LAI)	40
2.8.3. Charge Épiphytaire/Épibiontes (E/L)	40
2.8.4. Coefficient A (COEF A)	41
II.IX. IDENTIFICATION DE LA FAUNE ET DE LA FLORE ASSOCIÉE	41

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

III.I. RÉSULTATS DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES	43
III.II. ANALYSE DU SUIVI DE L'ÉTAT DE SANTÉ DE L'HERBIER	44
3.2.1. Typologie et description de l'herbier	44
3.2.2. Densité	46
3.2.3. Déchaussement	47
....	
3.2.4. Recouvrement	47
III.III. PARAMÈTRES BIOMÉTRIQUES.....	48
3.3.1. Nombre de feuilles par faisceaux	48
3.3.2. Longueur des feuilles	48
3.3.3. Largeur des feuilles	49
3.3.4. Coefficient. A (COEF. A)	49
3.3.5. Surface Foliaire (SF)	50
3.3.6. Indice Foliaire : Leaf Area Index (LAI)	50
3.3.7. Charge Épiphytaire/Épibiontes (E/L)	50
3.3.8. Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles	52
III.IV. ESPÈCES ASSOCIÉES SIGNALÉES DANS LA ZONE D'ÉTUDE	54
III.V. NOUVELLE MENACE : CAULERPA RACEMOSA	58

CONCLUSION GÉNÉRALE	59
---------------------------	----

RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	61
---------------------------------------	----

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I.1 : Classification de <i>Posidonia oceanica</i> (Linnaeus) Delile	3
TABLEAU II.1 : Coordonnées géographiques des stations d'étude	27
TABLEAU II.2 : Classification de l'herbier de Posidonie selon la densité des faisceaux de feuilles au m ²	31
TABLEAU II.3 : Classification des densités au m ² de l'herbier de Posidonie en fonction de la profondeur	32
TABLEAU II.4 : Échelle d'évaluation du déchaussement en fonction des valeurs moyennes mesurées	34
TABLEAU II.5 : échelle d'évaluation du recouvrement de l'herbier de Posidonie	37
TABLEAU II.6 : Liste des faunes et flores associées à l'herbier de Posidonie	42
TABLEAU III.1 : Résultats des mesures des paramètres physico-chimiques au niveau de la plage Ouest de Sidi-Fredj	43
TABLEAU III.2 : Caractéristiques, densité et type d'herbier de la station 1	46
TABLEAU III.3 : Paramètres morphologiques de l'herbier des 3 stations étudiées au niveau de la plage ouest de Sidi-Fredj (juillet 2021)	51
TABLEAU III.4 : Biomasse moyenne des feuilles et des épiphytes des feuilles (plage ouest de Sidi-Fredj, juillet 2021)	53
TABLEAU III.5 : Espèces observées et leur origine biogéographique	57
TABLEAU III.6 : Présence de <i>Caulerpa racemosa</i> à Sidi-Fredj	58

LISTE DES FIGURES

FIGURE I.1 : Aspect général de l'herbier à Posidonie	3
FIGURE I.2 : Distribution géographique de <i>Posidonia oceanica</i> en Méditerranée	4
FIGURE I.3 : Morphologie générale de la Posidonie	5
FIGURE I.4 : Rhizome plagiotrope (A) et rhizomes orthotropes (B) de Posidonie	5
FIGURE I.5 : Structure d'un faisceau de feuilles de <i>Posidonia oceanica</i>	6
FIGURE I.6 : Écailles de Posidonie	6
FIGURE I.7 : Bloc diagramme schématisé d'une matresse de posidonie	7
FIGURE I.8 : Aspect et trois étapes successives de formation d'un <i>ægagropile</i> de <i>Posidonia oceanica</i> à partir d'un rhizome mort	7
FIGURE I.9 : Cycle de vie annuel de la Posidonie	8
FIGURE I.10 : Épiphytes communs de la Posidonie	10
FIGURE I.11 : Saprophytes communs de la Posidonie	11
FIGURE I.12 : Échinodermes dans l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	12
FIGURE I.13 : Poissons dans l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	12

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

FIGURE I.14 : Mollusques dans l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	12
FIGURE I.15 : Les différentes typologies de limite inférieure d'herbier à <i>Posidonia</i>	14
FIGURE I.16 : Les différents types d'herbier à <i>Posidonia</i>	16
FIGURE I.17 : Les principaux rôles écologiques des herbiers à <i>Posidonia</i>	18
FIGURE I.18 : Mosaïque des principales menaces portant atteinte à l'herbier de <i>Posidonia</i> ..	20
FIGURE I.19 : Facteurs naturels et anthropiques influençant la structure du paysage formé par les herbiers de <i>Posidonia</i>	20
FIGURE II.1 : Situation géographique et découpage de la baie de Bou-Ismaïl	23
FIGURE II.2 : Situation géographique de la presque-île de Sidi-Fredj	25
FIGURE II.3 : Vue panoramique de la plage ouest de Sidi-Fredj	25
FIGURE II.4 : Localisation géographique du site étudié dans la zone de Sidi-Fredj	26
FIGURE II.5 : Localisation des stations étudiées au niveau de la plage ouest de Sidi-Fredj ...	27
FIGURE II.6 : matériel utilisé pour la mesure des paramètres abiotiques au niveau de la plage Ouest de Sidi-Fredj	28
FIGURE II.7 : Matériels et équipements de terrain utilisés dans le cadre de l'étude	29
FIGURE II.8 : Mesure de la densité des faisceaux de <i>Posidonia</i>	30
FIGURE II.9 : Définition de la hauteur de déchaussement des rhizomes de <i>Posidonia</i>	33
FIGURE II.10 : Mesure du déchaussement d'un faisceau orthotrope de <i>Posidonia</i>	34
FIGURE II.11 : Estimation du recouvrement à l'aide de photographies sous marines	35
FIGURE II.12 : Plaquette en PVC transparente de 30x 30 cm réalisé dans le cadre de l'étude	36
FIGURE II.13 : Mesure du recouvrement de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> à l'aide d'une plaquette en PVC	36
FIGURE II.14 : Protocole d'analyse biométrique d'un rhizome de <i>Posidonia</i>	38
FIGURE II.15 : Mesures biométriques pour la surface foliaire	39
FIGURE II.16 : Marque de broutage et états de l'apex des feuilles de <i>Posidonia</i>	39
FIGURE II.17 : étapes d'estimation de la charge épiphytaire des feuilles de <i>Posidonia</i>	40
FIGURE II.18 : Exemples d'espèces associées à rechercher dans les herbiers à <i>Posidonia</i> ...	41
FIGURE III.1 : Banquette de <i>Posidonia</i> de la page Ouest de Sidi-Fredj	44
FIGURE III.2 : Accumulation de Macro-déchets dans la matre morte	44
FIGURE III.3 : Forte présence d'estivants dans la page Ouest de Sidi-Fredj lors de la saison estivale	44
FIGURE III.4 : Aspect général de l'herbier au niveau de la station 1 (A) et station 2 (B)	45
FIGURE III.5 : Aspect général de l'herbier de la plage Ouest de Sidi-Fredj au niveau de la station 3	45
FIGURE III.6 : Évolution des longueurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations d'étude de la plage Ouest de Sidi-Fredj	49
FIGURE III.7 : Évolution du coefficient. A des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations d'étude de la plage Ouest de Sidi-Fredj	50

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

FIGURE III.8 : Biomasse moyenne des épiphytes des feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> dans les 3 stations de la plage Ouest de Sidi-Fredj	52
FIGURE III.9 : Biomasse moyenne des feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> dans les 3 stations de la plage Ouest de Sidi-Fredj	53
FIGURE III.10 : Échinodermes observés dans l'herbier étudié	55
FIGURE III.11 : Poissons observés dans l'herbier étudié	55
FIGURE III.12 : Mollusques observés dans l'herbier étudié	56
FIGURE III.13 : La Flore observée dans l'herbier étudié	56
FIGURE III.14 : Présence de <i>Caulerpa racemosa</i> au niveau de la station 1 étudiée	58

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les magnoliophytes constituent le groupe des organismes traditionnellement nommés "plantes à fleurs". Ce groupe monophylétique comprend 260 000 espèces. Il y a environ 100 Ma, elles retournaient au milieu marin après avoir conquis le milieu terrestre. Aujourd'hui, 66 espèces marines sont connues (Den Hartog et Kuo, 2006).

Les magnoliophytes sont peu nombreuses mais leur poids écologique est considérable dans les milieux littoraux: un grand nombre d'entre elles sont des ingénieurs d'écosystèmes comme la Posidonie. *Posidonia oceanica* constitue l'une des espèces les plus importantes et les plus étudiées de l'étage infralittoral de la Méditerranée. Endémique de cette mer, la Posidonie revêt un rôle de premier ordre au niveau écologique et économique (Boudouresque *et al.*, 2006). L'herbier de posidonie représente l'écosystème majeur des fonds littoraux en Méditerranée et joue un rôle écologique prépondérant ; il constitue la base de la richesse des eaux littorales de la méditerranée (Molinier et Picard, 1952 ; Boudouresque et Meinesz, 1982). L'herbier à *Posidonia oceanica* représente surtout un puissant intégrateur de la qualité globale des eaux marines (Pergent, 1991b). Très largement distribué sur tout le littoral méditerranéen, (Augier *et al.*, 1984a), solidaire au fond, il rend compte par sa vitalité (ou sa régression), de la qualité des eaux qui dérivent au dessus de lui (constitue un indicateur biologique performant de la qualité globale du milieu) (Pergent *et al.*, 1995).

En raison de leur situation sur la bande côtière, les herbiers à posidonie sont des systèmes très vulnérables à l'activité humaine, qui modifie souvent les conditions environnementales nécessaires à leur conservation et à leur survie. Ils sont très vulnérables aux variations environnementales associées aux impacts qui modifient la transparence de l'eau, augmentent la teneur en nutriments ou altèrent la dynamique des sédiments (Tanner, 2005 ; Montefalcone *et al.*, 2010).

Les herbiers de *Posidonia oceanica* ne sont pas seulement confrontés à des impacts locaux, mais plusieurs auteurs parlent d'un déclin généralisé à l'échelle de la Méditerranée en raison des différents stress auxquels ils sont soumis (Boudouresque *et al.*, 2009), à laquelle s'est ajoutée récemment l'augmentation de la température de la mer due au réchauffement climatique qui, dans le cas de la Méditerranée, a augmenté au cours des dernières décennies, une tendance qui, si elle se poursuit dans cette direction, signifierait l'extinction fonctionnelle des prairies à la fin de ce siècle (Jordà *et al.*, 2012, Marbà & Duarte, 2010).

À cause de sa croissance lente, *Posidonia oceanica* est très vulnérable aux impacts qui entraînent une perte nette de prairies en raison de la lenteur de la recolonisation de la plante.

Une surveillance à long terme est nécessaire pour estimer l'état des prairies, détecter les changements et suivre les tendances. Différentes échelles d'approche sont nécessaires : macro-échelle par la cartographie, méso-échelle par le suivi de la couverture des prairies dans une zone et micro-échelle au niveau de la micro-couverture et de la densité des plantes. La micro échelle présente l'intérêt des indices de vitalité (densité foliaire, déchaussement, recouvrement) pour le suivi et la compréhension de la dynamique d'un herbier.

C'est dans cette optique que nous nous sommes proposé de faire une étude préliminaire des herbiers que constitue cette phanérogame marine, au niveau de la plage Ouest de Sidi Fredj.

Ce travail consiste en une analyse des paramètres de la vitalité de l'herbier à Posidonie qui s'avèrent être essentiels voir primordiales, afin de pouvoir évaluer l'état de santé des herbiers à *Posidonia oceanica* de la côte algéroise .

Dans ce travail nous avons commencer par présenter les généralités de l'écosystème à Posidonie, par la suite nous avons fait une contribution à l'étude de la vitalité de l'herbier par la mesure de la densité, le déchaussement et le recouvrement ainsi qu'une analyse des paramètres biométriques, enfin nous avons terminé par la citation des résultats et leur interprétation afin de mieux connaître l'état réel de notre herbier.

Cette évaluation nous permettra de contribuer à aider au rétablissement d'un écosystème qui est dégradé ou endommagé . C'est une intervention intentionnelle qui lance où qui accélère le rétablissement d'un écosystème dans le respect de sa structure et de ses propriétés fonctionnelles, sans Oublier les échanges avec les paysages terrestres ou marins qui l'entourent. Ensemble, ces éléments composent les caractéristiques générales d'une « intégrité écologique » on vise donc à retrouver ou à restaurer l'intégrité écologique de l'écosystème, et la résilience qui l'accompagne.

La restauration écologique que nous proposons se limitera à la réduction de certaines pressions pour permettre un rétablissement naturel, ou au contraire impliquer des interventions importantes comme des plantations, le rétablissement d'espèces localement éteintes ou l'enlèvement délibéré d'espèces exotiques envahissantes si la situation écologique est plus inquiétante.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS



I.I. PRÉSENTATION DE L'HERBIER À POSIDONIA OCEANICA

La Posidonie est une plante marine endémique de la mer Méditerranée. Elle constitue de vastes prairies sous-marines, appelées herbiers, depuis la surface de l'eau jusqu'à 50m de profondeur, selon la transparence des eaux. Les herbiers à Posidonie sont considérés comme l'un des écosystèmes les plus importants, voir l'écosystème-pivot des fonds littoraux méditerranéens au même titre que la forêt en milieu terrestre (Molinier et Picard, 1952 ; Boudouresque et Meinesz, 1982).



Figure I.1 : Aspect général de l'herbier à Posidonie

I.II. SYSTÉMATIQUE

Il existe près de 60 espèces de plantes marines (magnoliophytes) appartenant à 4 familles et 14 genres mais seules 7 espèces colonisent la méditerranée. Étant la plus répandue d'entre elles, La Posidonie fut décrite de manière précise pour la première fois en 1623 par G. Bauhin sous le nom d'*Alga marina* (Den Hartog, 1970). En 1735 Linné décrit l'espèce dans son *Systema Naturae*, l'appelant *Zostera oceanica*. Ce n'est qu'en 1813 que Delile, dans son ouvrage, la flore d'Égypte, lui a donné son nom actuel de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile.

Tableau I.1 : Classification de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile

	TERMES SCIENTIFIQUES	TERMES EN FRANÇAIS
Embranchement	Magnoliophyta	Magnoliophytes, Angiospermes
Classe	Magnoliopsida	Monocotylédones
Sous-classe	Alismatidae	Alismatidées
Super ordre	Alismatanae	Alismatanées
Ordre	Alismatales	Alismatales
Famille	Posidoniaceae	Posidoniacées
Genre	Posidonia	Posidonie
Espèce	oceanica	

I.III. DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE

La Posidonie occupe entre 25 000 et 50 000 km² des zones côtières de la Méditerranée, ce qui correspond à 25% du fond marin. Ses herbiers forment une ceinture quasi-continue tout autour de la Méditerranée, interrompue localement au niveau des estuaires, des ports et des zones de forte anthropisation. Elle se trouve sur les côtes européennes (France, Corse, Sardaigne, Italie, Yougoslavie, Grèce, Turquie) et les côtes nord africaines (Égypte, Libye, Tunisie, Algérie) (Phillips et Meñez, 1988). Elle est plus abondante sur les côtes occidentales que sur les côtes orientales (absence dans la Mer de Marmara, le Bosphore et dans la Mer noire). Elle disparaît près de Gibraltar et à l'embouchure des grands fleuves (Rhône, Pô, Nil); suite aux trop fortes variations de salinité, à la trop faible disponibilité en lumière et à la turbidité (Boudouresque et Meneisz, 1982).

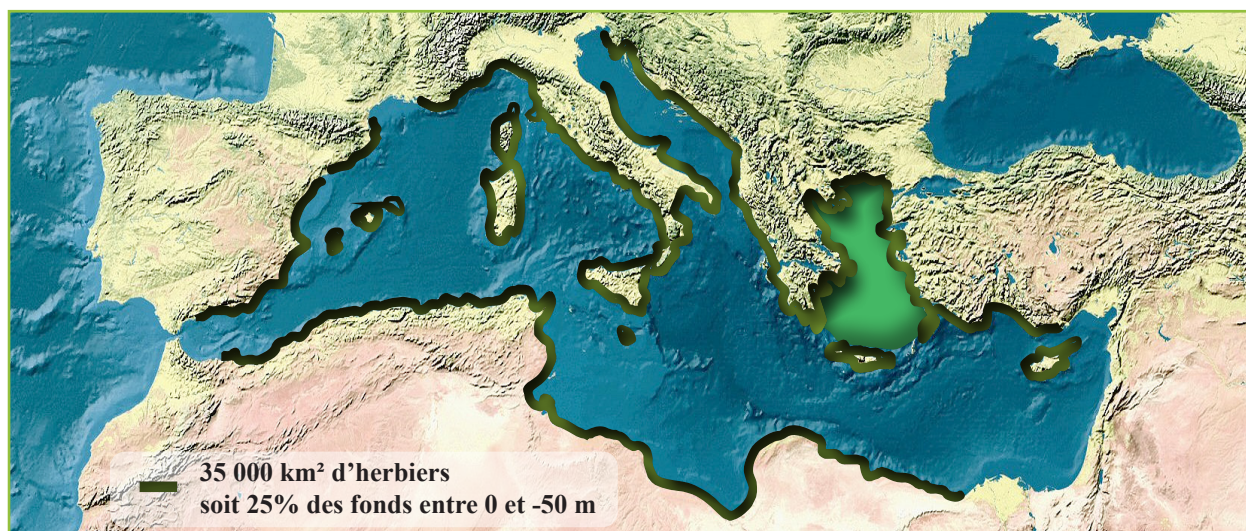
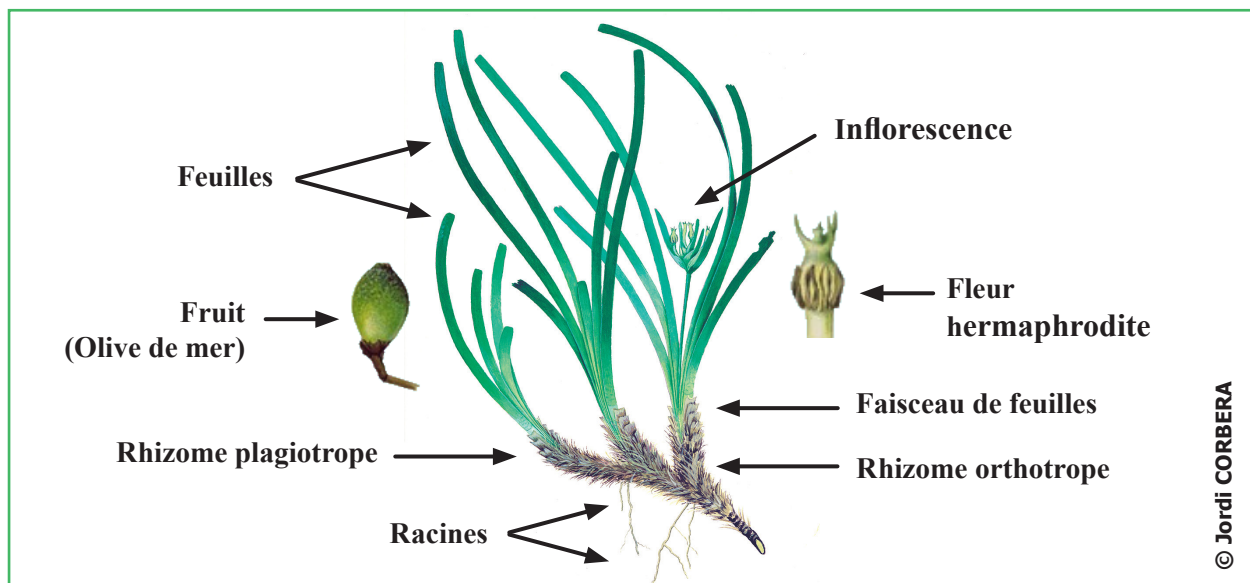


Figure I.2 : Distribution géographique de *Posidonia oceanica* en Méditerranée

I.IV. DESCRIPTION ET BIOLOGIE

La posidonie est une plante angiosperme monocotylédone sous-marine. Comme toutes les plantes à fleurs, elle a des racines, une tige rhizomateuse, et des feuilles rubanées (figure I.3). Elle fleurit en automne et produit au printemps des fruits flottants communément appelés « olives de mer ». Les tiges rampantes ou dressées (munies de racines) de la Posidonie, généralement enfouies dans le sédiment, sont appelées rhizomes (Gobert *et al.*, 2003). Ces rhizomes peuvent être de deux types : plagiotropes (à croissance horizontale) responsables de l'ancrage et de l'étendue de l'herbier et orthotropes (à croissance verticale) responsables de l'étendue en hauteur de l'herbier (Boudouresque & Meneisz, 1982 ; Cinelli *et al.*, 1995) (figure I.4).



© Jordi CORBERA

Figure I.3 : Morphologie générale de la posidonie



© J. M. RUIZ

Figure I.4 : Rhizome plagiotrope (A) et rhizomes orthotropes (B) de posidonie

Les faisceaux de *Posidonia oceanica* regroupent généralement de 4 à 8 feuilles d'une largeur d'environ 1cm (Bay, 1984) et d'une longueur de 20 à 80cm, en moyenne, mais pouvant atteindre plus d'un mètre. Ces dernières se renouvellent continuellement tout au long de l'année et vivent entre 5 et 8 mois, plus rarement jusqu'à 13 mois. La zone de croissance des feuilles est située à leur base. On nomme feuilles juvéniles les feuilles de moins de 5cm de longueur et feuilles intermédiaires celles de plus de 5cm sans gaine basale (pétiole). Lorsque la croissance est terminée, une gaine basale se met en place : la feuille est alors dite adulte (Giraud, 1979 ; Ott, 1980 ; Thélin et Boudouresque, 1983) (figure I.5). Les feuilles juvéniles se mettent en place au centre du faisceau tandis que des feuilles plus adultes le quittent à sa périphérie.

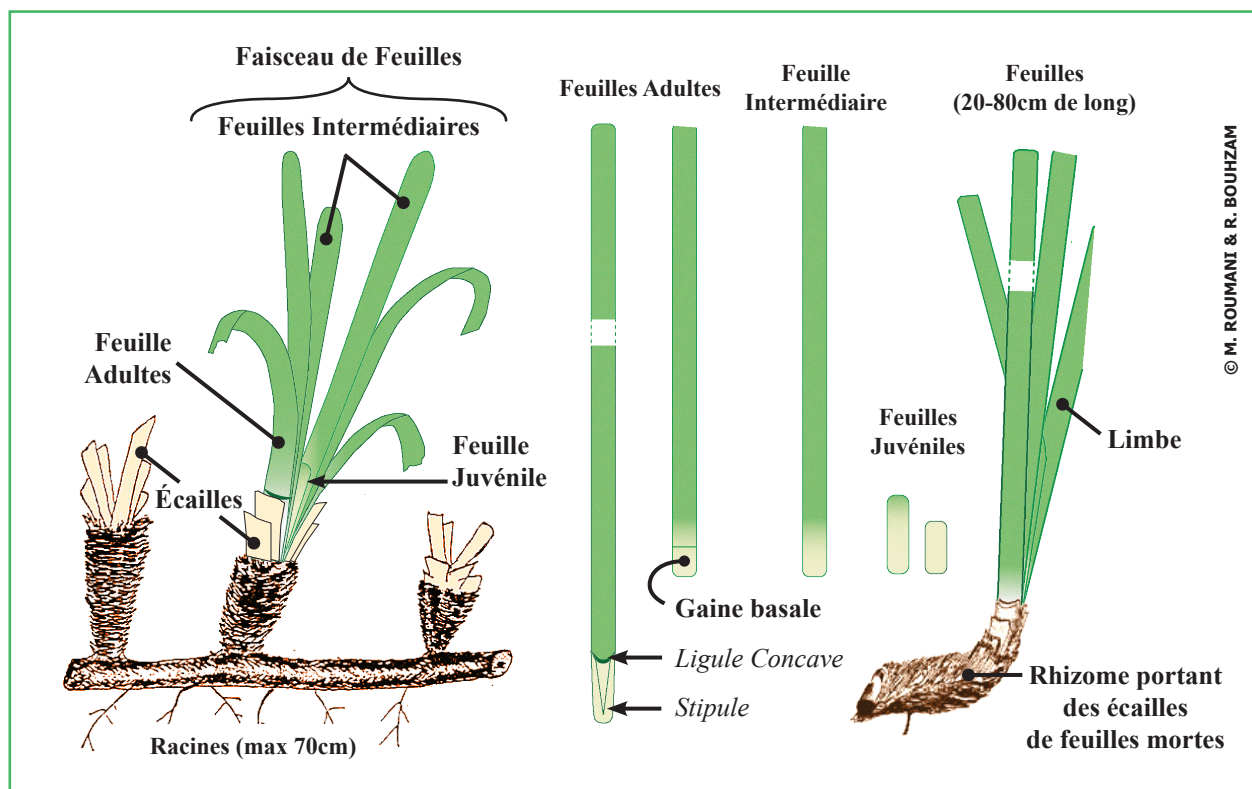


Figure I.5 : Structure d'un faisceau de feuilles de *Posidonia oceanica*

La chute des feuilles de posidonie, comme leur formation, se produit tout au long de l'année (Pergent et Pergent-Martini, 1991). Elles ne se détachent pas en totalité : seul le limbe est caduc, tandis que le pétiole (gaine basale), de quelques centimètres de longueur, reste fixé au rhizome ; on lui donne alors le nom d'écaille. Les écailles (comme les rhizomes) sont peu putrescibles, et se conservent donc pendant plusieurs siècles ou millénaires.



Figure I.6 : Écailles de posidonie

Le lacs de rhizomes et de racines, allié aux feuilles, fonctionne comme un véritable piège à sédiment, entraînant une élévation de l'herbier au cours du temps, et donc du fond de la mer. Suite à cela, on obtient une structure typique appelée « matte » (figure I.7).

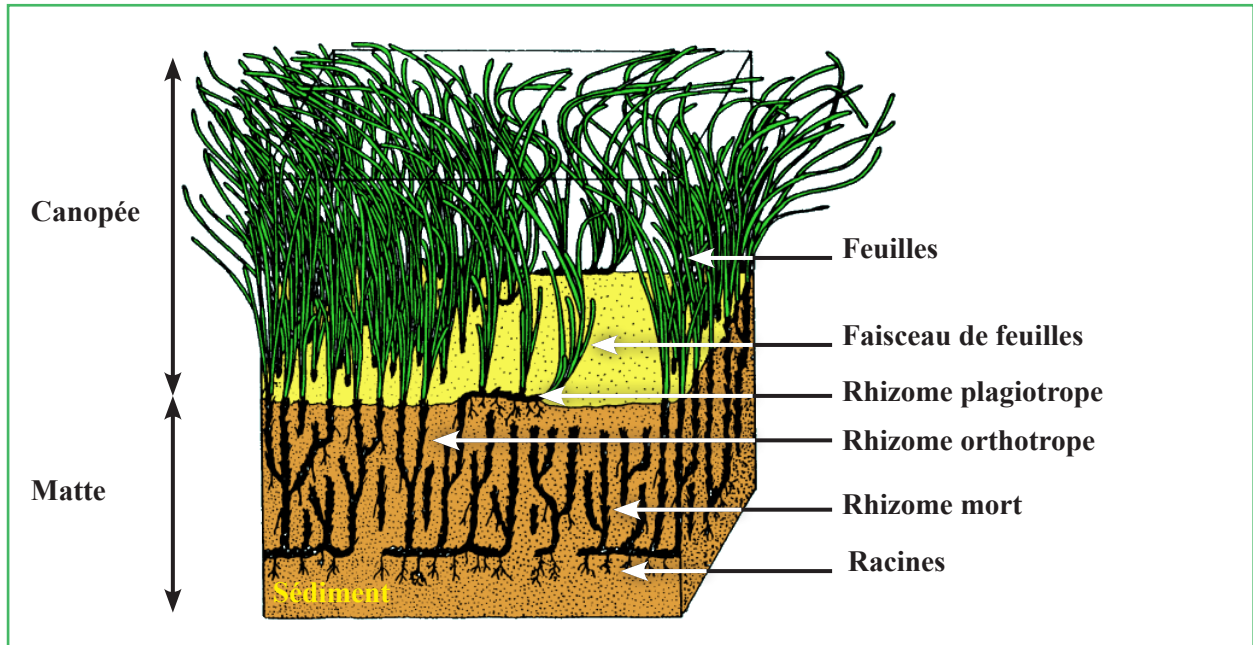


Figure I.7 : Bloc diagramme schématique d'une matte de posidonie : ensemble très compact, constitué par un lacs dense de rhizomes et par le sédiment qui les entoure.

(Boudouresque & Meinesz, 1982)

La matte, qui peut parfois être assez âgée, est la seule trace d'herbier qui subsiste lorsque celui-ci a disparu d'une zone où il était présent autrefois, c'est ce qu'on appelle « matte morte » (Molinier & Picard, 1952).

La fragmentation de rhizomes munis de restes d'écailles auxquels se sont agglutinées des fibres de feuilles de posidonies roulées par les vagues et mêlées à du sable forment des aegagropiles appelés « pelotes de mer » (figure I.8).



Figure I.8 : Aspect et trois étapes successives de formation d'un aegagropile de *Posidonia oceanica* à partir d'un rhizome mort

I.V. ÉCOLOGIE

1.5.1. CYCLE DE VIE

Le cycle de vie de la Posidonie est annuel. Sa reproduction peut être asexuée ou plus rarement sexuée. Ses fleurs hermaphrodites, de couleur verte, apparaissent en automne. Elles sont regroupées en inflorescence (figures I.9-A et I.9-B). Elles peuvent donner naissance à des fruits ressemblant à des olives vertes qu'on appelle « olives de mer » (figure I.9-C). Ces dernières mettent de 6 à 9 mois pour murir avant de se détacher et de flotter à la surface de l'eau entre mai et juin (figure I.9-D). Elles contiennent une graine qui en milieu favorable germe pour donner une nouvelle pousse (figure I.9-E). En cas de conditions défavorables à la germination, les graines entrent en dormance.

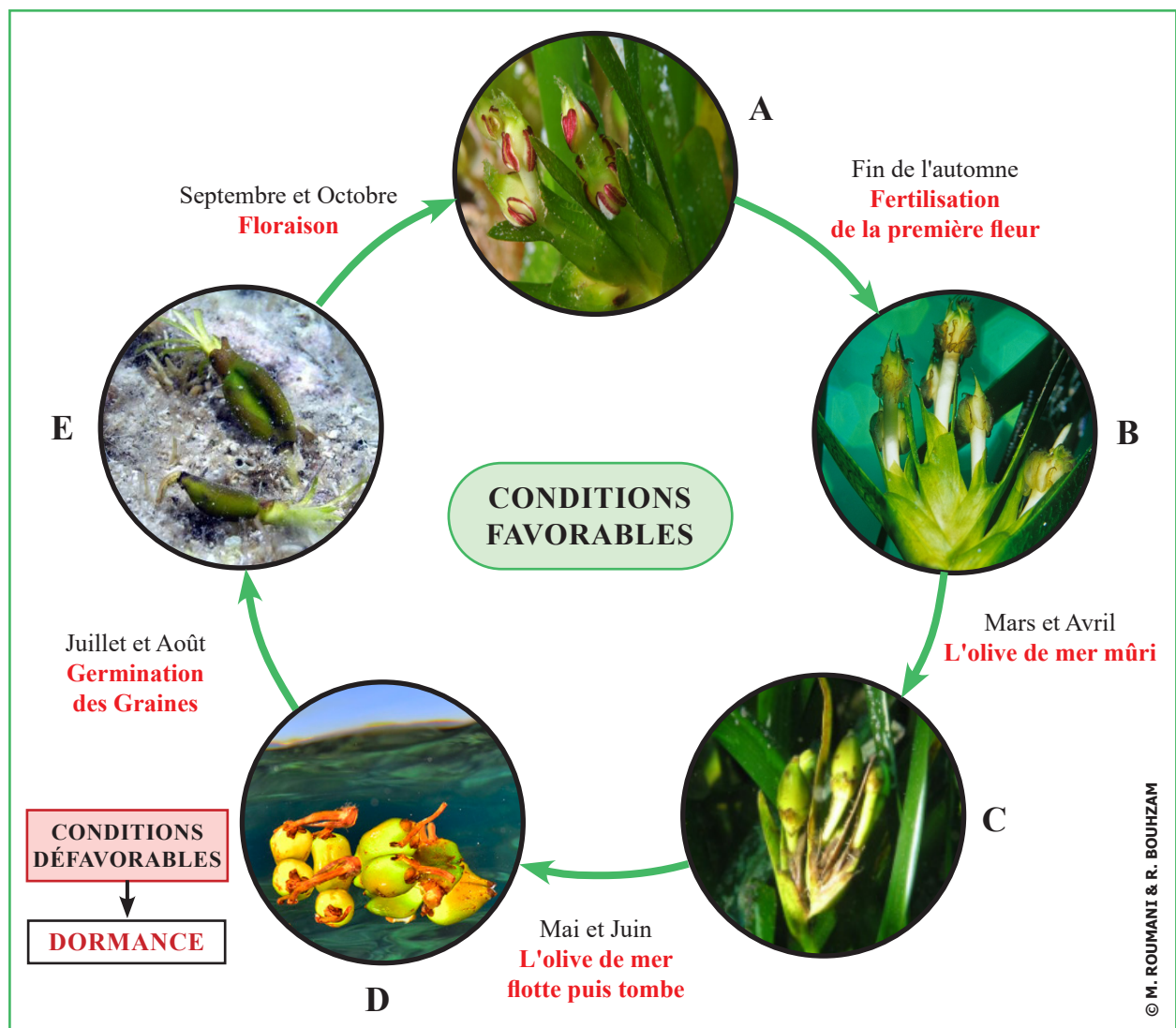


Figure I.9 : Cycle de vie annuel de la Posidonie

1.5.2. SENSIBILITÉ AUX FACTEURS ABIOTIQUES

1.5.2.1. LUMINOSITÉ

Comme pour l'ensemble des phanérogames marines, *Posidonia oceanica* est très sensible à la disponibilité en lumière et ne peut survivre en dessous de 10 à 16 % de l'irradiance de surface (Alcoverro *et al.*, 2001 ; Ruiz et Romero, 2001). La lumière constitue l'un des facteurs les plus importants pour la croissance, la répartition et la densité des herbiers à *Posidonia oceanica* (Ballesta *et al.*, 2000 ; Elkalay *et al.*, 2003). Elle s'observe depuis la surface, jusqu'à des profondeurs de l'ordre de -30 à -40 mètres, en fonction de la transparence de l'eau (Boudouresque et Meinesz, 1982).

1.5.2.2. TEMPÉRATURE

Posidonia oceanica est présente dans les eaux de températures comprises entre 10,5 et 30 °C ; sa croissance est optimale entre 17 et 20 °C (Ben Alaya, 1972 ; Augier *et al.*, 1980). Celebi *et al.*, 2006) indiquent comme limite maximale de température pour la croissance de *Posidonia oceanica* la valeur de 28,4 °C. Les températures extrêmes mesurées dans un herbier de Posidonies sont 9 et 29,2 °C (récif-barrière de la baie de Port-Cros, Var, France) (Augier *et al.*, 1980 ; Robert, 1988).

1.5.2.3. SALINITÉ

Posidonia oceanica est très sensible aux variations de salinité. En effet, celle-ci a besoin d'une salinité comprise entre 29 et 38 PSU pour se développer correctement (Fernández-Torquemada et Sánchez-Lizaso, 2005), même si elle peut survivre jusqu'à des salinités de 25 et 42 PSU. Cette propriété peut expliquer sa disparition au niveau de l'embouchure des grands fleuves (apport d'eau douce et d'une quantité importante de sédiment qui trouble l'eau) et son absence des étangs saumâtres (Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Duarte, 2002).

1.5.2.4. HYDRODYNAMISME

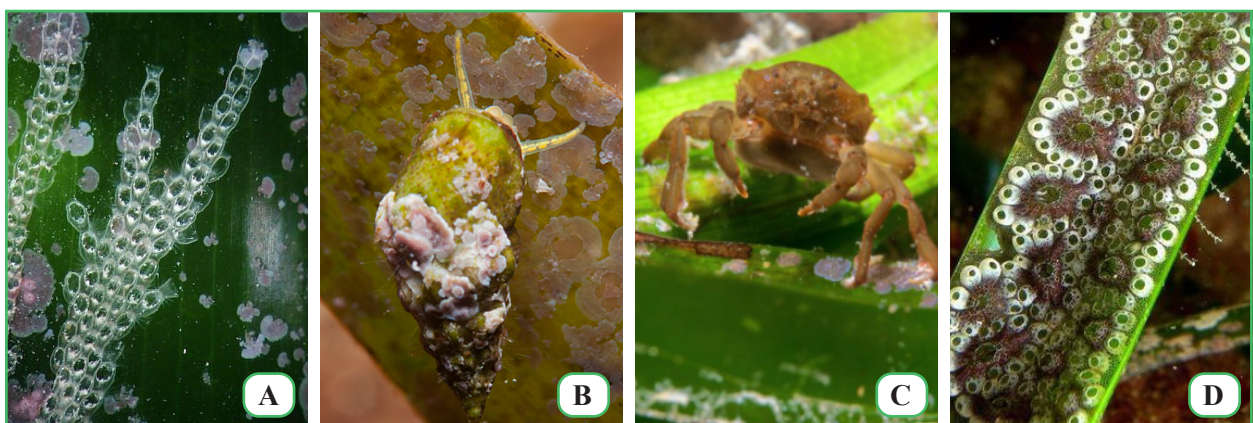
La Posidonie craint un hydrodynamisme trop intense. Les violentes tempêtes peuvent arracher des faisceaux, dont certains constitueront des boutures. Elles peuvent aussi éroder la matre, soit directement, soit en la vidant de son sédiment, ce qui la fragilise (Boudouresque *et al.*, 2006).

I.VI. BIOCÉNOSES ASSOCIÉES À *POSIDONIA OCEANICA*

On distingue deux types de biocénoses associées à la posidonie : les biocénoses à épiphytes et les biocénoses animales et saprophages.

1.6.1. BIOCÉNOSES À ÉPIPHYTES

La Posidonie représente un excellent substrat pour la colonisation par une faune sessile et une flore formant la communauté épiphyte. Harlin (1980) définit les épiphytes comme des organismes qui se développent et vivent sur une plante sans qu'il existe spécialement des relations d'ordre nutritionnel qui les unissent. Les feuilles de *P. oceanica*, offrent un bon support pour de tels organismes en raison, notamment, de la qualité du substrat (régulier et en régénération constante) et de sa position dans la colonne d'eau. Les épiphytes forment plusieurs « strates » sur les feuilles. On peut considérer le « feutre épiphyte », l'ensemble constitué par des bactéries, des cyanophycées et des diatomées (Péres et Picard, 1964). Ces épiphytes participent activement à la production primaire totale de l'écosystème de l'herbier (27, 5 %) et représentent une partie très importante de la biomasse totale des feuilles de *P. oceanica* 20 à 40 % (Lepoint *et al.*, 1999). Cette biomasse varie selon la période de l'année, l'âge de la feuille et le segment de feuille considéré (on observe plus d'épiphytes sur les parties les plus âgées), la face de la feuille (nombre plus important sur la face interne) et la profondeur (Alcovero *et al.*, 2004). Les épiphytes jouent également un rôle essentiel dans les transferts d'énergie de l'herbier vers les niveaux trophiques supérieurs (Vizzini *et al.*, 2002).



(A) *Electra posidoniae* (bryozoaire) © Maud NEMOZ.
 (B) *Rissoa variabilis* (mollusque) © Jordi REGÀS
 (C) *Pisa sp* (cristacé) © Francisco Javier MURCIA
 (D) *Botryllus schlosseri* (hydraire) © Frédéric ANDRÉ

Figure I.10 : Épiphytes communs de la Posidonie

1.6.2. BIOCÉNOSES ANIMALES ET SAPROPHAGES

La faune associée aux herbiers de Posidonie est constituée d'animaux sessiles qui vivent sur le substrat de feuilles et rhizomes, et d'animaux vagiles capables de bouger à l'intérieur de l'herbier. Les feuilles mortes sont colonisées par des microorganismes et des champignons. Il y a également des organismes vivants à l'intérieur des mattes, principalement des saprophages (détritivores : qui se nourrissent de matières animales ou végétales putréfiées). Des annélides polychètes (*Lysidice ninetta* et *Nematonereis unicornis*) (figures I.11-A et I.11-B), et des crustacés isopodes (*Idotea hectica* (figures I.11-C), *Limnoria mazzellae*), dites « borers », qui creusent, pour se nourrir et répandre leur habitat, des galeries à l'intérieur des bases des feuilles encore attachées aux rhizomes pendant des années.

Les feuilles, une fois dégradées par les vagues, les courants et les microorganismes, s'échouent sur les plages et servent de refuge à des insectes et des crustacés amphipodes et isopodes.

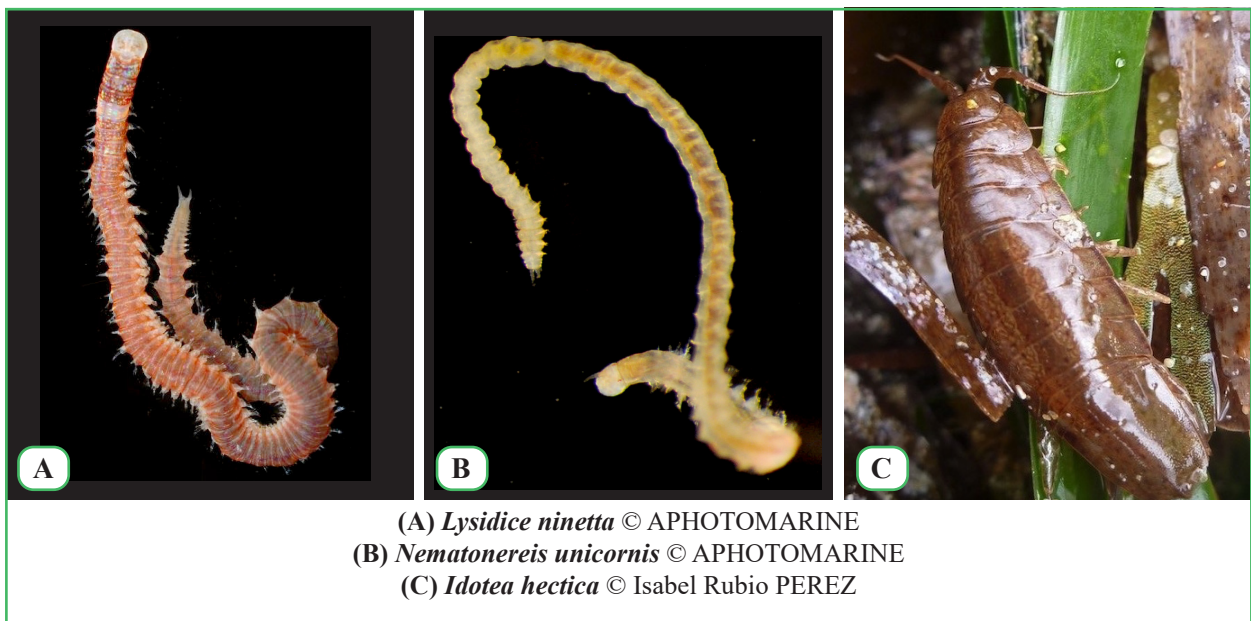


Figure I.11 : Saprophages communs de la Posidonie

Des études menées par Gambi et al en 1992 ont démontré qu'environ 70 % de la population animale des herbiers est herbivore. Les plus abondants sont les échinodermes (figure I.12), particulièrement l'oursin *Paracentrotus lividus* (figure I.12-A) qui est l'un des organismes peu nombreux pouvant se nourrir des feuilles de la plante. Les carnivores sont représentés par des poissons (figure I.13), mollusques (figure I.14), annélides polychètes et crustacés décapodes.

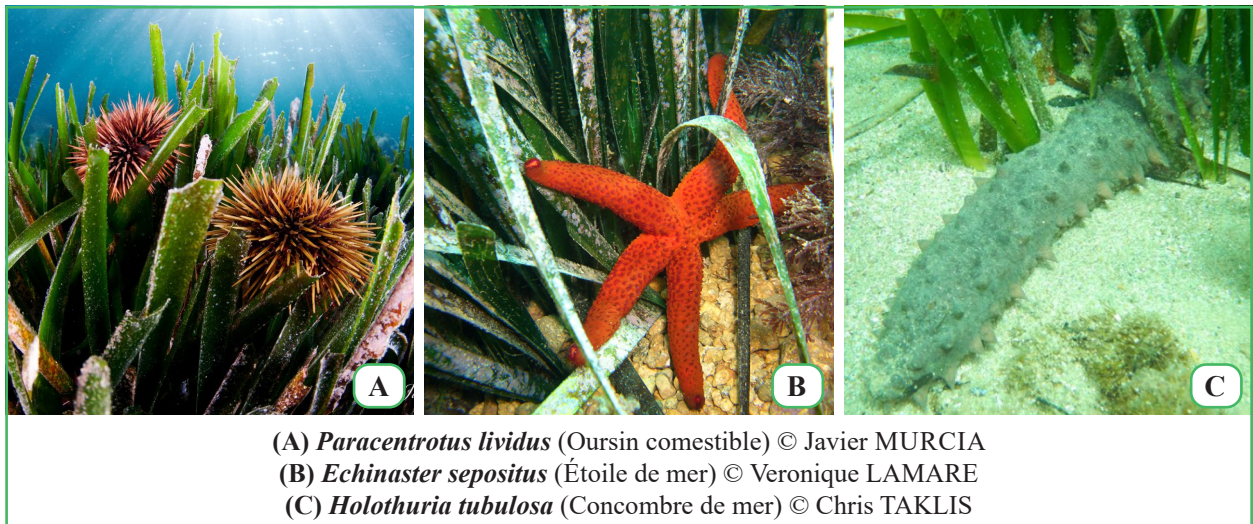


Figure I.12 : Échinodermes dans l'écosystème à *Posidonia oceanica*

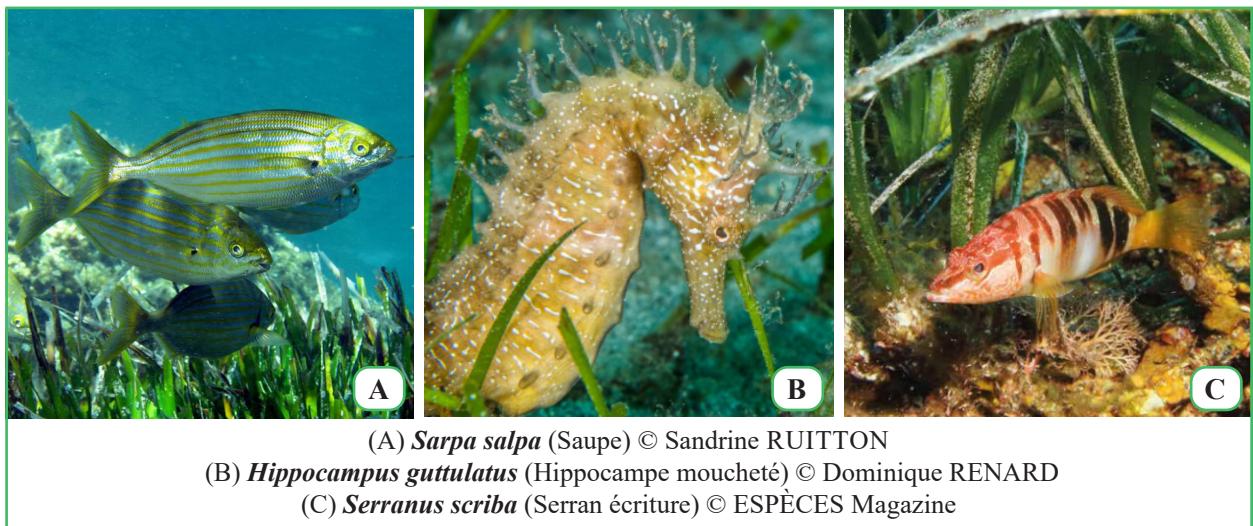


Figure I.13 : Poissons dans l'écosystème à *Posidonia oceanica*

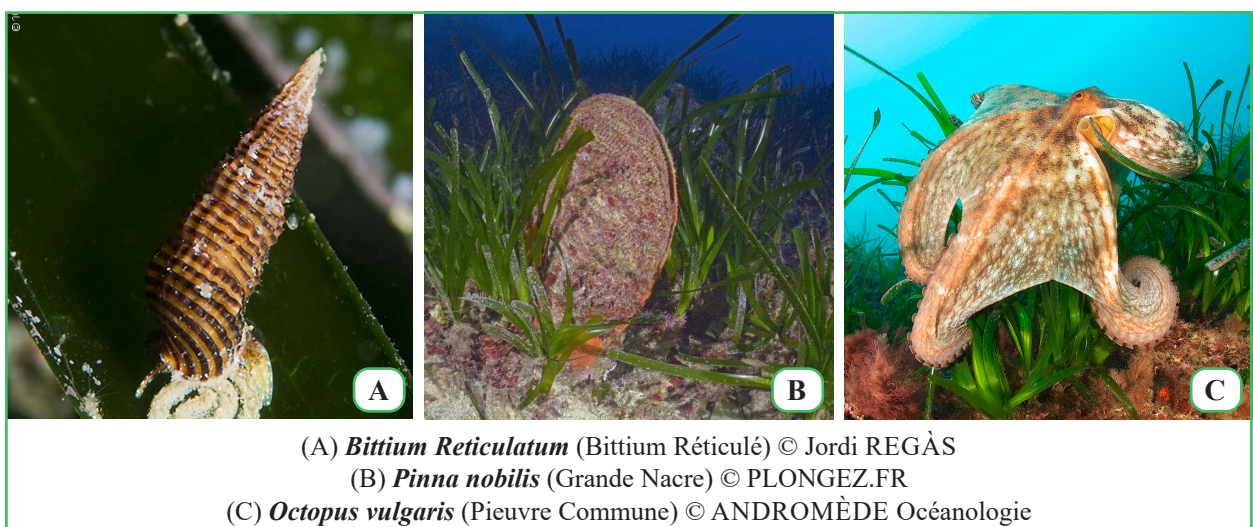


Figure I.14 : Mollusques dans l'écosystème à *Posidonia oceanica*

I.VII. LES LIMITES DE L'HERBIER

Les herbiers présentent une limite supérieure et une limite inférieure. La première, là où commence l'herbier en partant de la côte, est plutôt nette, tandis que la seconde, où finit l'herbier, peut-être de quatre types :

- **Limite progressive** : elle est caractérisée par la présence de rhizomes plagiotropes, disposés de façon parallèle dans le sens de la pente. L'herbier n'édifie pas de matte, mais il colonise un substrat situé plus profondément. Ce type de limite traduit en principe une amélioration, au moins momentanée, de la transparence des eaux (Pergent *et al.*, 1995) (figure I.15-A).
- **Limite franche** : cette limite est brusque, bien nette entre les derniers rhizomes de posidonies et le sédiment. Elle est caractérisée par la présence de rhizomes généralement orthotropes, mais sans édification d'une véritable matte. Le manque de lumière et la nature de substrat semble être à l'origine de ce type de limites (figure I.15-B).
- **Limite érosive** : un tombant de matte marque la limite entre les posidonies, qui présentent généralement un recouvrement important (>50%), et le sédiment. La formation de ce tombant, de 20 cm à 1 m de hauteur, résulte de l'hydrodynamisme. L'action des courants de fonds érode l'herbier et interdit toute progression vers de plus grandes profondeurs (figure I.15-C).
- **Limite régressive** : caractérisée par la présence d'une étendue de matte morte, recouverte ou non par le sédiment, en aval de la limite de l'herbier proprement dite. Quelques faisceaux de feuilles, témoins de l'ancienne position de l'herbier, subsistent en aval de la limite actuelle. Ce type de limite est le plus répandu le long du littoral et traduit une régression d'herbier, vraisemblablement liée à une augmentation de la turbidité moyenne des eaux (figure I.15-D).

Dans les baies calmes et abritées, l'herbier, au cours du temps, et simultanément à la montée lente du niveau marin et de la matte sous-jacente, peut se développer très près de la surface pour former des récifs barrières de posidonie. Il s'agit d'une formation construite par l'herbier dont la partie proximale des feuilles émerge de la surface, en particulier au printemps et au début de l'été, lorsque la longueur de la feuille est à son maximum (GIS Posidonie, 2021). Ces récifs jouent un rôle primordial dans la protection des côtes contre l'érosion. Dans les régions à fort hydrodynamisme, en revanche, les rhizomes peuvent être arrachés, créant des formations dites intermattes constituées de canaux d'érosion.

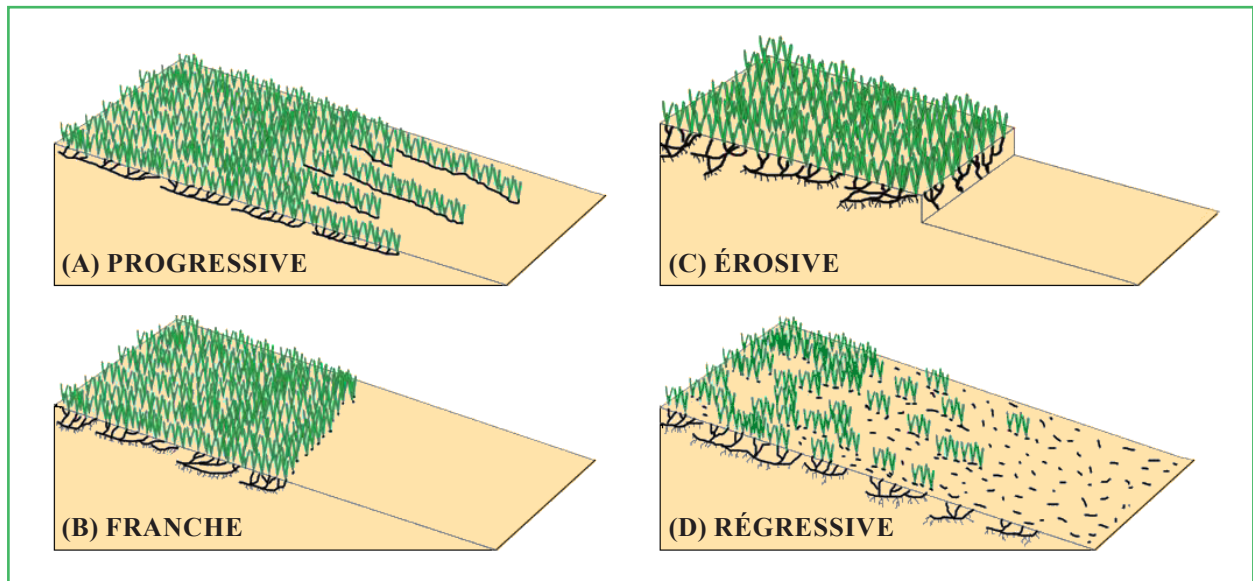


Figure I.15 : Les différentes typologies de limite inférieure d'herbier à Posidonie (Meinesz et Laurent, 1978)

I.VIII. TYPES D'HERBIERS À *POSIDONIA OCEANICA*

En fonction de la profondeur, de l'hydrodynamisme, de la température moyenne de l'eau, de l'intensité de la sédimentation et des équilibres qui en résultent entre édification de la matte et érosion, l'herbier à *P. oceanica* se présente sous divers aspects, que l'on peut assimiler à des paysages (Boudouresque *et al.*, 1990) comme suit :

1.8.1. HERBIER DE PLAINE

C'est le type d'herbier à *P. oceanica* le plus commun (au moins en Méditerranée occidentale). Il se présente sous la forme d'une prairie plus ou moins continue, horizontale ou en pente douce, généralement entrecoupée par des structures érosives (tombants de matte, chenaux perpendiculaires à la côte et chenaux parallèles à la côte) ou par des taches dépourvues de *P. oceanica* (intermatte de sable ou de matte morte) (figure I.16-A).

1.8.2. HERBIER DE COLLINE

Posidonia oceanica constitue des collines sub-circulaires ou ovoïdes, souvent confluentes, entourées par un fond sableux. L'herbier de colline semble correspondre à un équilibre dynamique entre les collines et le sable : les jeunes collines ont un faible diamètre et s'élèvent peu au-dessus du fond sableux environnant ; progressivement, les collines croissent en diamètre et en hauteur ; lorsque les collines atteignent une hauteur d'environ 1 m, ceux-ci se déchaussent, et deviennent vulnérables à l'hydrodynamisme (Boudouresque *et al.*, 1985) (figure I.16-B).

1.8.3. HERBIER EN PAIN DE SUCRE

Il a été décrit par Molinier & Picard (1952) à faible profondeur, dans des secteurs où la température de l'eau peut être importante en été. Sa formation s'explique par le fait que l'herbier ne survit que dans des taches qui continuent à s'élever, alors que cette élévation est bien sûr interrompue dans les zones qui entourent ces taches, et où l'herbier est mort (figure I.16-C).

1.8.4. HERBIER TIGRÉ

L'herbier tigré se développe entre 0,5 et 3m de profondeur. Il se présente sous forme de rubans assez étroits (de 1 à 2m de large) d'une longueur pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres, de forme rectiligne ou sinueuse, rarement ramifiés. Ces rubans sont des structures dynamiques, se déplaçant parallèlement à eux-mêmes, dans le sens inverse des courants, à une vitesse estimée à une dizaine de centimètres par an. Ils sont séparés par des étendues de matte morte colonisées par une pelouse mixte à *Cymodocea nodosa* et *Caulerpa prolifera* (figure I.16-D).

1.8.5. HERBIER EN ESCALIER

Il se développe sur des substrats durs en pente relativement forte, parcourus par des courants de fonds descendants. Le fonctionnement est similaire à celui de l'herbier tigré. Du côté amont de chaque marche d'escalier, des rhizomes plagiotropes progressent, à la vitesse moyenne de 10 cm/an, du côté aval, le courant érode le tombant de la marche (Boudouresque *et al.*, 2006) (figure I.16-E).

1.8.6. HERBIER ONDOYANT

L'herbier ondoyant se développe vers la limite inférieure de la Posidonie, entre 25 et 40m de profondeur, sur substrat subhorizontal (Clairefond et Jeudy De Grissac, 1979). Il a toutefois également été observé à faible profondeur (El Asmi-Djellouli *et al.*, 2000). Ce type d'herbier est caractérisé par des bandes d'herbier larges (jusqu'à une dizaine de mètres), parallèles entre-elles et anastomosées, en très léger relief, séparées par des bandes de sable recouvrant (éventuellement) de la matte morte, parallèles entre elles également (Boudouresque *et al.*, 2006) (figure I.16-F).

1.8.7. HERBIER EN MICRO OU MACRO ATOLLS

Ce type d'herbiers se développe entre 0,5 et 2,5m de profondeur. Il se présente sous forme d'une couronne dont le centre est occupé par de la matte morte. Il peut être observé associé aux herbiers tigrés, sur des plates-formes récifales ou constituer la seule structure présente, mais toujours dans des secteurs où l'hydrodynamisme est réduit. L'origine de ces structures semble être liée à la conjonction de deux mécanismes : la croissance centrifuge d'une touffe de Posidonie (colonisation du substrat adjacent) et la destruction de sa partie centrale (figure I.16-G).

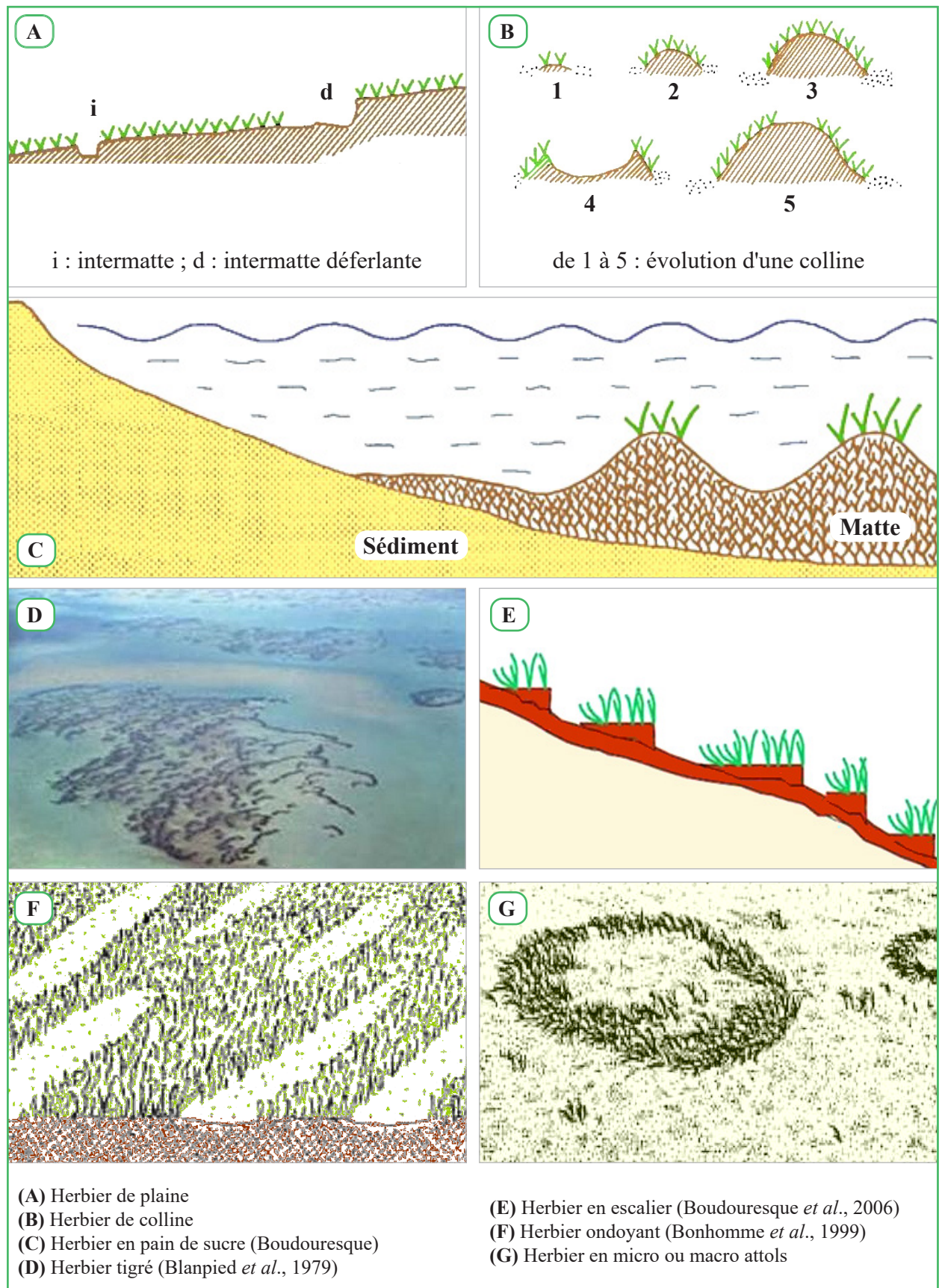


Figure I.16 : Les différents types d'herbier à Posidonie

I.IX. RÔLES DES HERBIERS À *POSIDONIA OCEANICA*

L'herbier de Posidonie constitue le climax d'une succession de peuplements et sa présence conditionne l'équilibre écologique de beaucoup de fonds littoraux méditerranéens (Boudouresque et Meinesz, 1982). Les principaux rôles des herbiers peuvent être résumés comme suit :

- **Producteur d'oxygène et fournisseur de matière organique** : D'une part, l'herbier est responsable d'une importante production d'oxygène, qui peut atteindre 14 l/m²/j (Bay, 1978). Aussi, afin qu'elles puissent assurer les échanges gazeux et de nutriments au niveau des zones souterraines, les racines de la Posidonie, maintiennent constamment une fine couche oxygénée autour d'elle, oxygénant par la même occasion le sédiment environnant (Romero et al., 1992). D'autre part, à l'échelle de l'ensemble de la Méditerranée, Rico-Raimondino (1995) estime à 4 400 000 tonnes de carbone/an la production primaire de *Posidonia oceanica* et à 1 300 000 tonnes de carbone/an la part de cette production qui est stockée dans la matre ; ce qui fait de la posidonie le principal producteur primaire bethique de la Méditerranée (Romero, 1989).
- **Support de vie** : L'herbier se trouve à la base de nombreuses chaînes alimentaires, par la production de biomasse végétale et animale qui a pour effet d'attirer et de concentrer une faune variée, souvent d'intérêt économique pour la zone littorale concernée (Bell et Harmelin-Vivien, 1982 ; Francour, 1990) mais aussi d'exporter les surplus de production vers d'autres fonds moins propices à la vie (Lacaze, 1993).
- **Pôle de biodiversité unique** : La Posidonie abrite une très grande biodiversité. Elle il est non seulement le producteur primaire mais, aussi, l'habitat de nombreuses espèces. L'herbier est une frayère, une nurserie et un lieu de vie pour plus de 400 espèces végétales et plusieurs milliers d'espèces animales, soit plus ou moins 20 % des espèces recensées en Méditerranée (Boudouresque *et al.*, 2006).
- **Bioindicateur de la qualité des eaux littorales** : La présence et la vitalité des herbiers renseignent sur la qualité des eaux du milieu environnant (Pergent, 1991) et ce à différents niveaux (Pergent, 1993) :
 - **Au niveau de la population** : sur les conséquences des rejets urbains et industriels, la turbidité moyenne des eaux, les aménagements littoraux, la présence de courants et la pêche destructive (étude des limites de l'herbier et des inter-mattes, chenaux, ...);
 - **Au niveau de l'individu** : sur l'évolution des paramètres caractéristiques du milieu et le suivi de la pollution à des périodes données (études lépidochronologiques et phénologiques, ...) ;
 - **Au niveau anatomique** : sur l'état de stress de la plante (études des cellules à tanin, métaux lourds, ...).

- **Stabilisateur des fonds marins** : La posidonie joue un rôle important de stabilisation des fonds sableux par la fixation des sédiments dans le lacis des rhizomes constituant la matre (Boudouresque et Jeudy De Grissac, 1983). Sans cette stabilisation, le profil d'équilibre des rivages sableux serait fortement modifié.
- **Protection naturelle contre l'érosion des plages** : L'herbier a un rôle fondamental dans la protection hydrodynamique de la frange côtière et des plages, par l'atténuation de 50 % de la puissance des vagues de la houle et des courants. En effet, les longues feuilles de Posidonies ralentissent ces derniers, ce qui a pour effet de diminuer la remise en suspension des sédiments piégés par la canopée et de ce fait, diminuer la turbidité de la colonne d'eau (Gacia et Duarte, 2001). La formation des banquettes de Posidonies sur les rivages, protègent les plages de l'érosion, notamment lors des tempêtes hivernales. Leur maintien sur les plages apparaît comme un élément indispensable pour la protection du littoral. Leur retrait s'accompagne souvent d'un recul significatif du trait de côte (Boudouresque et Meinesz, 1982).

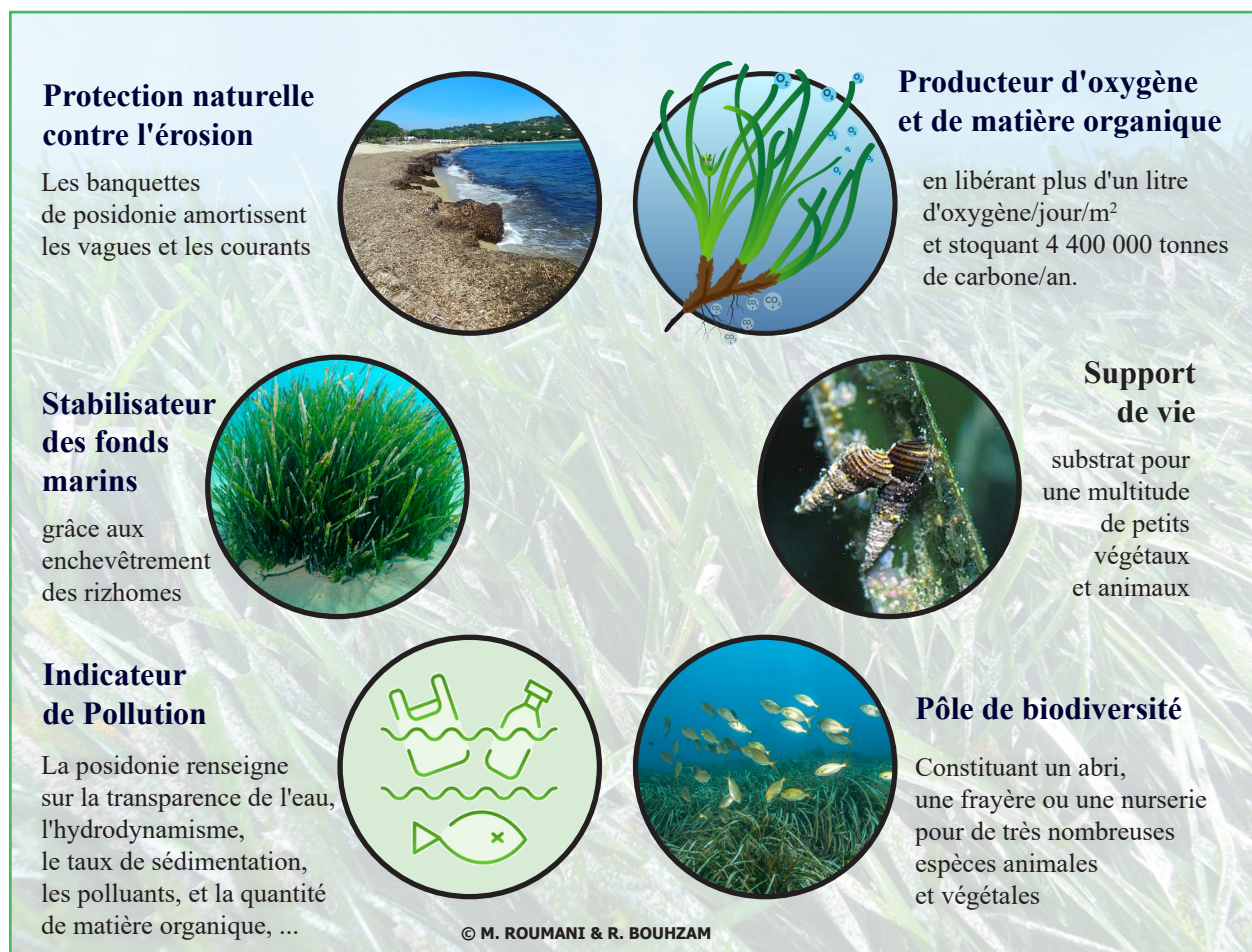


Figure I.17 : Les principaux rôles écologiques des herbiers à Posidonie

I.X. MENACES ET AGRESSIONS PESANT SUR LA POSIDONIE

Les prairies de Posidonie diminuent dans de nombreuses régions de la Méditerranée. Ce déclin global a été mesuré à environ 10% au cours des 100 dernières années (Pergent *et al.*, 2009), mais l'analyse récente de la couverture de la zone indique 34% du déclin de la zone de distribution ou de la dégradation au cours des 50 dernières années (Telesca *et al.* 2015). Les menaces sur l'Herbier de Posidonie sont multiples (Boudouresque & Meinesz, 1982 ; Pérès, 1984); elles sont essentiellement liées aux activités humaines, mais des causes naturelles peuvent également intervenir (Verlaque, 1987). Les principales causes de régression des herbiers sont :

- **Les aménagements littoraux** : Ils détruisent les prairies, modifient l'hydrodynamisme, pouvant intensifier les débits d'eau, et l'apport en sédiments provoquant l'enfouissement de la plante et la turbidité, ce qui entrave l'arrivée de la lumière, empêchant la photosynthèse.
- **Les pollutions marine** : par les rejets domestiques et industriels (détergents, métaux lourds) ainsi que par les zones portuaires (relargage des peintures anti-fouling, eutrophisation des plans d'eaux) et les micro et macro-déchets notamment en plastique.
- **L'ancrage de bateaux (mouillages des ancres, forains ou organisés)**: Avec des structures permanentes ou avec des ancres et des chaînes, elles arrachent la posidonie de son substrat et libèrent des peintures et des antioxydants toxiques.
- **Les engins de pêche (chalutage et dragage)**: Les filets capturent tout sur leur passage et endommagent les prairies, en chiffres ils peuvent arracher jusqu'à 1000 kg de feuilles (poids sec) par heure. Tout comme les dragages, ils provoquent également une turbidité, une anoxie (carence en oxygène) et un excès de nutriments.
- **L'aquaculture** : les établissements d'aquacultures sont souvent situées près de la côte, à proximité des herbiers de *Posidonia oceanica*. Les restes organiques des aliments se déposent au fond, altérant considérablement l'environnement et affectant négativement les prairies.
- **Les espèces introduites** : la compétition directe entre *P. oceanica* et plusieurs algues (*Caulerpa taxifolia*, *Caulerpa racemosa*, *Asparagopsis taxiformis*, *Lophocladia lallemandii*) ainsi que les changements physico-chimiques et biotiques produits leur présence sont des causes de régression de la Posidonie.
- **Les espèces associées** : le surpâturage par des herbivores tels que l'oursin comestible ou la saupe sont une nuisance à considérer (Verlaque, 1987).
- **L'utilisation d'explosifs**: provoquant un endommagement total de l'herbier à Posidonie.

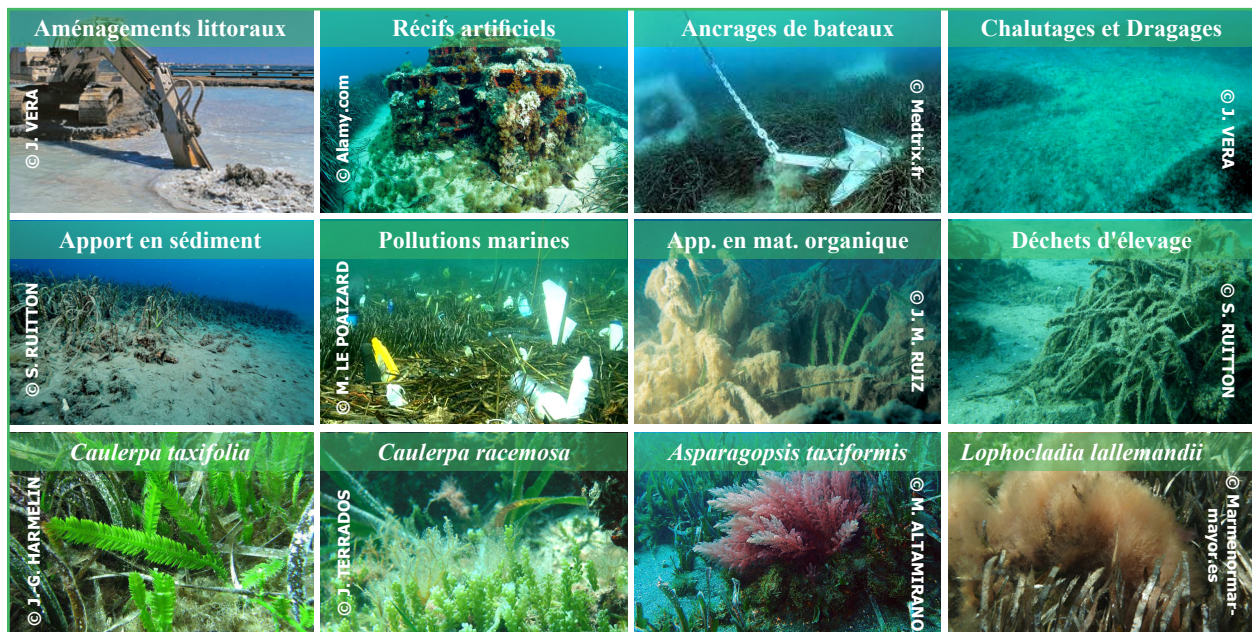


Figure I.18 : Mosaïque des principales menaces portant atteinte à l'herbier de posidonie

Les paysages sous-marins sont façonnés par des actions d'origine naturelle et d'origine anthropique. L'action humaine modèle involontairement le paysage formé par les herbiers à Posidonie. L'identification des agressions et la mesure de leurs effets sur ces derniers est donc d'un intérêt majeur pour la mise en place de mesures de gestion efficaces et adaptées. La figure I.19 illustre les acteurs naturels et anthropiques influençant la structure du paysage formé par les herbiers de posidonie.

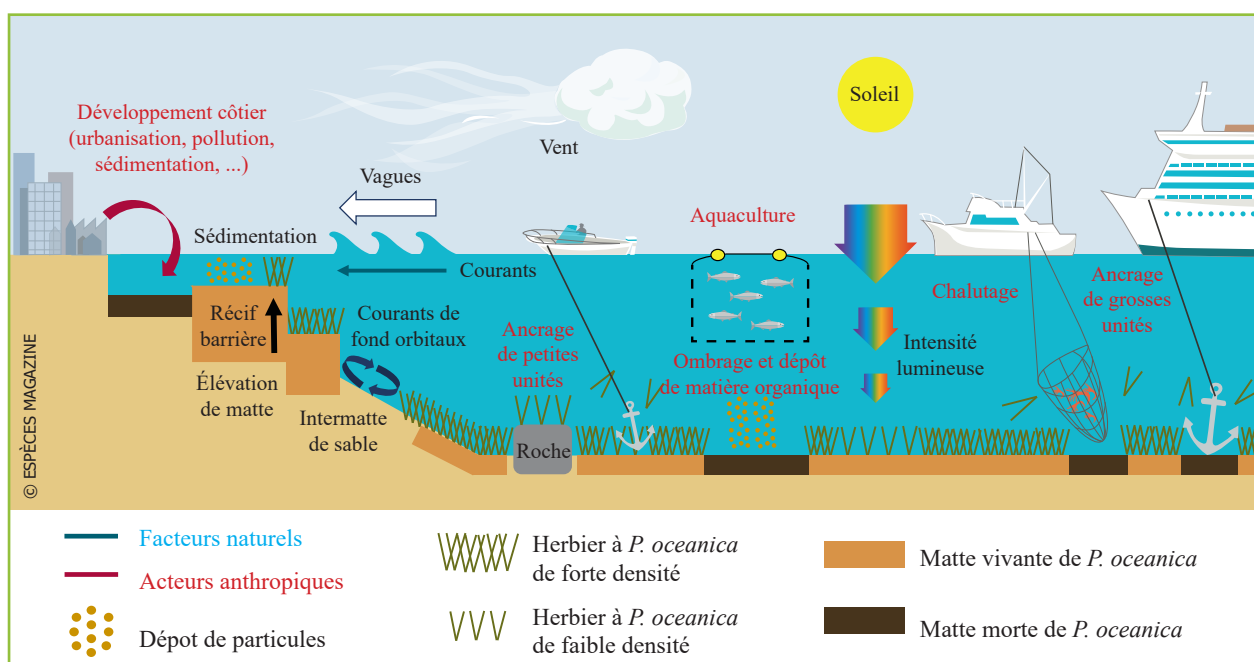


Figure I.19 : Facteurs naturels et anthropiques influençant la structure du paysage formé par les herbiers de posidonie

I.XI. MESURES DE PROTECTION ET DE GESTION DES HERBIERS À POSIDONIE

De nombreuses mesures protègent les herbiers de posidonie. Elles peuvent être indirectes comme les mesures d'obligation de procéder à une étude d'impact préalable à toute demande d'autorisation d'un projet qui pourrait porter atteinte à l'environnement marin ; ou directes et définies par les conventions internationales et lois nationales comme :

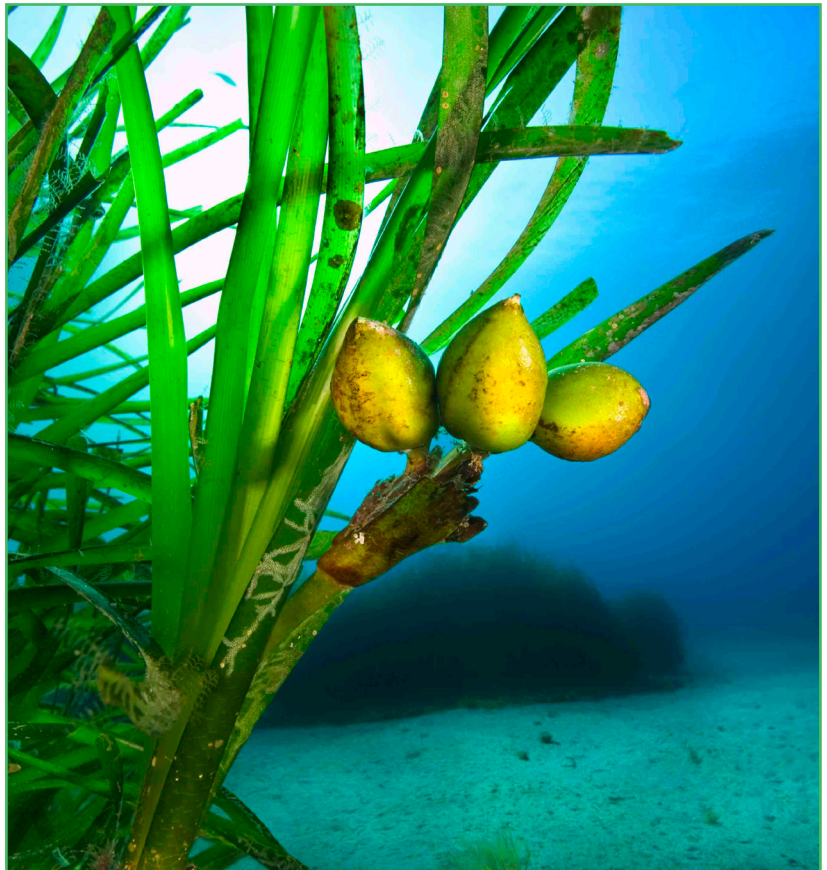
- La Convention de Berne, relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe, signée en 1979 par plusieurs pays méditerranéens dont les annexes ont été modifiées (en 1996) avec l'ajout de 3 espèces de Magnoliophytes marines de Méditerranée, principalement *Posidonia oceanica*. Ces espèces sont mentionnées comme méritant une protection (Boudouresque et al., 1996 ; Platini, 2000).
- La Convention de Barcelone, adoptée en 1976, qui constitue la convention-clé pour la protection des espaces et des espèces en Méditerranée. Outil juridique du Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM), lancé par le PNUE pour la protection des mers régionales. La convention s'est initialement focalisée sur la lutte contre la pollution marine (Tavoso, 1997) mais dès 1982, avec l'adoption du protocole relatif aux aires spécialement protégées de la Méditerranée, les 20 pays signataires dont l'Algérie ont manifesté leur intérêt pour une protection des habitats marins.
- La Loi nationale relative à la protection et à la valorisation du littoral : n° 02-02 du 22 du 5 février 2002 qui classé les herbiers sous-marins parmi les sites d'intérêt écologique ou de valeur scientifique sur le littoral à préserver de l'occupation.

L'application des mesures se traduit par la mise en place de plans de gestion ciblés permettant une gestion efficace des herbiers de Posidonie. Les principaux d'entre-eux sont :

- L'installation de réseaux de surveillance de l'état de santé de l'herbier et son utilisation comme indicateur biologique de la qualité de l'eau ;
- L'installation de réseaux de surveillance et d'éradication, dans la mesure du possible, des foyers d'espèces invasives ;
- La création d'aires marines protégées ;
- Interdiction des mouillages forains et équipement des sites de concentration de bateaux ;
- Interdiction de tout chalutage sur l'ensemble de l'herbier avec maîtrise de l'effort de pêche et limitation aux activités de pêche non destructrices de l'habitat ;
- Respect de l'interdiction d'aménagement sur les herbiers et limitation à leur proximité ;
- Limitation des unités de plongée et sensibilisation des usagers ou visiteurs de l'herbier.

CHAPITRE II

MATÉRIEL ET MÉTHODES



II.I. SURVEILLANCE DES HERBIERS DE POSIDONIE

Selon Boudouresque *et al.*, (2006) ; les outils de surveillance des herbiers se situent à trois échelles spatiales ; l'échelle de l'herbier tout entier, l'échelle locale au sein d'un herbier et la micro-échelle :

- **Les outils à l'échelle de l'herbier tout entier** sont la cartographie, l'utilisation de photographies aériennes, la mesure du recouvrement et les transects permanents. Ces derniers correspondent à des parcours au niveau de l'herbier, repérés avec exactitude, de telle sorte que l'on peut y revenir ultérieurement afin d'y déceler d'éventuels changements ;
- **Les outils à l'échelle locale** sont la mise en place de balises à la limite supérieure et/ou inférieure de l'herbier et les carrés permanents. Les balises permettent d'observer des changements de la limite de l'herbier, même s'ils sont de faible amplitude, et donc de les détecter de façon précoce. Les carrés permanents sont de petites surfaces (quelques dizaines de mètres carrés) repérées et cartographiées de façon précise, sur lesquelles on peut revenir ultérieurement afin d'y déceler d'éventuels changements ;
- **Les outils à micro-échelle** (à l'échelle du faisceau ou d'un groupe de faisceaux), sont la mesure de la densité des faisceaux, l'importance respective des faisceaux rampants et des faisceaux dressés, la mesure du déchaussement des rhizomes, la granulométrie du sédiment, la lépidochronologie, la biométrie foliaire, etc...

Nous avons choisi de nous intéresser aux outils à micro-échelle pour l'étude de l'herbier à Posidonie de la plage ouest de Sidi-Fredj.

II.II. PRÉSENTATION DE BAIE DE BOU-ISMAIL

La baie de Bou-Ismaïl (ex-Castiglione) se loge dans la wilaya de Tipaza à 30 km à l'Ouest du chef-lieu de la wilaya d'Alger. Elle est délimitée par le cap du mont Chenoua à l'Ouest ($2^{\circ}24'11''\text{E}$ et $36^{\circ}37'22''\text{N}$), Ras Acrata à l'Est ($2^{\circ}53'45''\text{E}$ et $36^{\circ}48'13''\text{N}$), la plaine de la Mitidja au Sud et la Méditerranée occidentale au Nord (voir figure II.1).

Avec un linéaire de plus de 60 km et une ouverture de l'ordre de 48 km, elle est l'une des baies les plus importantes de la côte algérienne. Son rivage, orientée N 60° , est soumis à l'influence des houles d'Ouest et Nord-Ouest. Son plateau continental est étroit aux alentours des caps et massifs : 8 km au niveau de Chenoua et un peu plus de 3 km en face de Ras Acrata. Il s'élargit au milieu de la baie : 14 km en face du Mazafran.



Figure II.1 : Situation géographique et découpage de la baie de Bou-Ismaïl

La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une géomorphologie côtière diversifiée composée des côtes rocheuses, de falaises, de plages et de dunes. On peut subdiviser son linéaire côtier en cinq secteurs et zones géographiques, de l'ouest vers l'est, comme suit (figure II.1) :

- **La baie du Chenoua :** délimitée par le massif du Chenoua à l'Ouest et la ville de Tipaza à l'Est. Le fond de cette baie est occupé par une plage de sable fin de 3 km.
- **Le secteur Tipaza-Fouka :** délimité par la ville de Tipaza à l'Ouest et la ville de Fouka à l'Est. Ce secteur est caractérisé par une côte rocheuse d'environ 35 km comprenant de nombreuses anses et deux îlots (Tipaza) ;
- **Le secteur Fouka-Sidi-Fredj :** délimité par la ville de Fouka à l'Ouest et la Presque-île de Sidi-Fredj à l'Est . Il est constitué d'environ 12 km de plages de sable et de dunes ;
- **LA PRESQUE-ÎLE DE SIDI-FREDJ :** zone charnière entre le secteur Fouka-Sidi-Fredj et la baie d'El Djamilia, elle représente une partie saillante de la côte rattachée à la commune de Staoueli. Cette zone est détaillée dans la partie II.III.
- **La baie d'El Djemila :** limitée à l'Ouest par la presqu'île de Sidi-Fredj et Ras Arcata à l'Est. D'environ 8 km de linéaire, elle est caractérisée par une côte basse sableuse et de nombreuses formations dunaires.

Le réseau hydrographique débouchant dans la baie est essentiellement constitué des oueds, perpendiculaires à la côte, Mazafran et Nador qui, malgré leur régime irrégulier, jouent un rôle important dans la sédimentologie de la baie (Le Gall, 1969 ; Ait-Kaci et Pauc, 1981, 1983).

En raison des apports terrigènes, de l'hydrodynamisme et de l'activité biologique dans la baie, les sédiments côtiers présentent divers aspects : les sables fins (Dagorne, 1970) qualifiés de très quartzeux d'origine terrigène et bioclastique par Leclaire (1792) se chargent progressivement vers le large en matériel argileux détritique pour passer du faciès sables vaseux à celui des vases sableuses surtout à l'Est de la baie pour donner des vasières prédominantes à l'Ouest de la baie (Dargone, 1970).

Pour ce qui est des principaux facteurs climatiques du milieu dans la baie, nous avons :

- **La température** : facteur prépondérant dans la vie des organismes marins, elle contribue de façon importante à la distribution géographique des espèces marines. La température des eaux superficielles de la baie fluctue en fonction des échanges atmosphère-mer, elle est de l'ordre de 21° à 27°C en moyenne (Lalami-Taleb, 1970). Mouhoub (1986) a situé les maxima de la température superficielle d'août à octobre et les minima de la température superficielle de février à mars. Les eaux profondes, resteraient (Mouhoub, 1986) relativement stables. Une homothermie est remarquée en toutes saisons et la température est d'environ 13°C à des profondeurs supérieures à 100 m (Lalami-Taleb, 1970).
- **La salinité** : même si la salinité décroît à l'embouchure des oueds Mazafran et Nador, du point de vue hyalin, une certaine homogénéité des eaux a été notée au niveau de la baie de Bou-Ismaïl. Selon, Lalami-Taleb (1970), la variation de salinité entre la surface et le fond est faible (de 0,1‰ à 0,2‰). Cependant, depuis ce temps, la baie connaît l'installation d'usines de dessalement qui perturbent sans doute cette homogénéité.
- **Le régime des vents et des houles** : Le vent est une des forces physiques régissant les courants et les houles. La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une périodicité des vents qui se traduit par une prédominance des vents d'Ouest en hiver et au printemps induisant des houles de grandes amplitudes et des vents d'Est en été et au début de l'automne avec de faibles amplitudes (Asso, 1982). Les courants dominants sont de direction Est-Ouest et se retrouvent en face d'un courant opposé diffracté par la côte de Chenoua, créant ainsi un courant de retour à l'Est de l'oued Nador. Des contres courants locaux, en liaison avec les vents dominants, induisent un courant de direction moyenne NE-SW (Kadari-Meziane, 1994).

II.III. DESCRIPTION DE LA ZONE DE SIDI-FREDJ ET DU SITE D'ÉTUDE

La presqu'île de Sidi-Fredj, située à une vingtaine de kilomètres à l'Ouest d'Alger, constitue un affleurement du socle gneissique allongé SO - NE, sur 1 km et relié à la côte par un pédoncule de sédiments pliocènes à quaternaires (Benslama, 2012). À l'Est, la pointe du Marabout est doublée vers le large par un chapelet d'îlots alors que vers l'Ouest, les îles du grand rocher et du rocher du milieu prolongent la pointe de Saint-Janvier (De Giovanni, 1973). Éloignée de la zone très industrialisée d'Alger, elle se situe au Nord-Est de la baie de Bou-Ismaïl et fait partie de la commune de Staoueli (figure II.2).



Figure II.2 : Situation géographique de la presqu-île de Sidi-Fredj

La figure II.3 ci-dessous donne une vue globale de la plage ouest de Sidi-Fredj, site choisi pour l'étude de l'herbier de posidonie dans sa partie sous-marine.



Figure II.3 : Vue panoramique de la plage Ouest de Sidi-Fredj

La carte marine ci-dessous permet de positionner avec précision le site d'étude dans la zone de Sidi-Fredj tout en indiquant la bathymétrie et la nature du substrat. En effet, c'est dans un rayon de 200m autour des coordonnées géographiques, $\varphi : 36^{\circ} 45.500'N$ et $\lambda : 2^{\circ} 50.480'E$, qu'il se localise ; dans une zone marine semi-protégée des vents dominants du Nord-Ouest par les îles du grand rocher. Cette zone est constituée d'un plateau sableux sur lequel l'herbier se développe à partir de 2-3m de profondeur ; ce qui a notamment favorisé le choix du site.

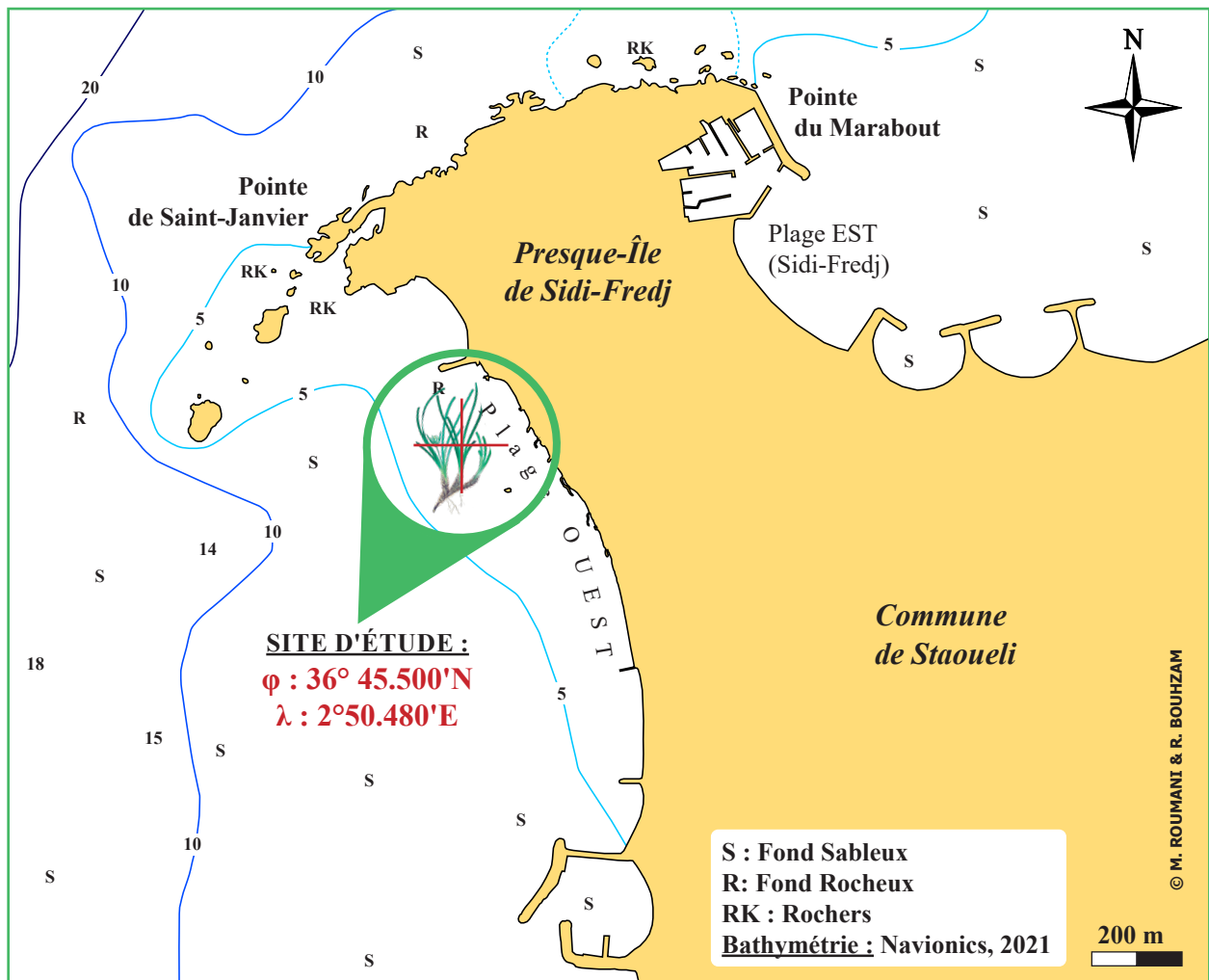


Figure II.4 : Localisation géographique du site étudié dans la zone de Sidi-Fredj

Se trouvant au voisinage direct de zones touristiques, de zones habitées et de zones agricoles pouvant avoir un impact sur les herbiers, le site est exposé à la pollution pouvant provenir des égouts des agglomérations, du centre de thalassothérapie (eaux usées et eaux de mer sanitaires chaudes) (Mezali, 1998), des eaux de lessivage des terres agricoles de la région de Sidi-Fredj et des déchets laissés par les estivants (différents déchets solides sont retrouvés sur la plage et au fond après les tempêtes).

De nombreux critères ont été pris en considération lors du choix des stations d'étude, notamment ceux liés aux caractéristiques de la baie, aux facteurs climatiques et hydrologiques mais principalement :

- A- Présence de phanérogames : l'herbier de Posidonie en priorité ;
- B- Présence d'espèces associées aux herbiers ;
- C- Action anthropique : Principalement, l'activité touristique ;
- D- Hydrodynamisme : Mode calme, zone abritée, moins d'agitation ;
- E- Sédimentologie : Fonds sableux (sables fins à moyens) à sableux-rocheux ;
- F- Accessibilité : limite supérieure.

Nous sommes parvenus, en se basant également sur des analyses par télédétection, à trancher sur la sélection des 3 stations regroupées dans le tableau II.1 ci-dessous et leur localisation est mise en valeur par la figure II.5

Tableau II.1 : Coordonnées géographiques des stations d'étude




Station	Localisation	Remarques
 S1	$\varphi : 36^{\circ} 45.422'N$ $\lambda : 2^{\circ} 50.459'E$	Station Principale Limite supérieure à 5m de profondeur
 S2	$\varphi : 36^{\circ} 45.480'N$ $\lambda : 2^{\circ} 50.550'E$	
 S3	$\varphi : 36^{\circ} 45.560'N$ $\lambda : 2^{\circ} 50.480'E$	



Figure II.5 : Localisation des stations étudiées au niveau de la Plage Ouest de Sidi-fredj

II.IV. MESURE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CIMIQUES

L'hydrologie des écosystèmes marins comporte de nombreux descripteurs dont beaucoup sont reliés entre eux par des relations de cause à effet. En raison de cette complexité, il est nécessaire d'établir une liste de paramètres qui conviendrait au cas d'étude.

Les principaux paramètres mesurés sont : la température, la salinité, l'oxygène dissous et le pH.

Ces paramètres abiotiques ont été calculés in situ au niveau de la plage Ouest de Sidi-Fredj.

La température et la salinité ont été mesurés à l'aide d'un salinomètre, le pH à l'aide d'un pH mètre et l'oxygène dissous à l'aide d'un conductimètre.

La figure ci-dessous représente le matériel utilisé pour la mesure des paramètres physico-chimiques pendant la saison estivale :



Figure II.6 : Matériel utilisé pour la mesure des paramètres abiotiques au niveau de la plage Ouest de Sidi-Fredj

II.V. MATÉRIELS ET ÉQUIPEMENTS UTILISÉS

Afin de réaliser notre étude au large de la plage Ouest de Sidi-Fredj, nous nous sommes doté du matériel et équipement spécialisé illustré dans la figure II.7. Il s'agit notamment :

- D'un matériel de plongée sous-marine ;
- De quadrats en pvc de 20x20cm pour la mesure de la densité ;
- D'une plaque transparente de 30x30cm pour l'estimation du recouvrement ;
- De règles de 15, 20 et 30cm pour le calcul du déchaussement ;
- D'un appareil à photo avec caisson Olympus PT-052 permettant de photographier l'ensemble des espèces animales et végétales inféodées à l'herbier de posidonie étudié.

Nos déplacements en mer ont été effectués grâce au voilier "Ras Acrata" et afin de faciliter la navigation et la géolocalisation, nous avons employé l'application de navigation "Navionics".



Figure II.7 : Matériels et équipements de terrain utilisés dans le cadre de l'étude

II.VI. ANALYSE DE LA VITALITÉ DE L'HERBIER À POSIDONIE**2.6.1. MESURE DE LA DENSITÉ DE L'HERBIER**

La densité d'un herbier de posidonie correspond au nombre de ses faisceaux présents par unité de surface, généralement, le mètre carré. Elle varie en fonction de la profondeur et des conditions du milieu : lumière, transparence de l'eau, type de substrat où l'herbier est implanté.

La densité des faisceaux est mesurée à l'aide de quadrats de 20x20 cm (surface minimale garantissant la représentativité de la mesure d'après (Panayotidis *et al.*, 1981), placés à l'intérieur de l'herbier, en limite inférieure (Pergent-Martini et Pergent, 1996 ; Charbonnel *et al.*, 2000a) (figure II.8-A). Ces quadrats sont jetés au hasard d'une hauteur de 1.5m sans éviter les taches de sables, mais si ces dernières sont très étendues, les quadrats sont placés directement sur l'herbier en recherchant la zone de densité maximale de faisceaux. Cette opération est répétée 30 fois permettant de calculer une moyenne représentative. La mesure s'effectue grâce au décompte direct (in situ) des faisceaux de feuilles dans chaque quadrat (figures II.8-B et II.8-C). À l'issue du comptage, la moyenne des valeurs obtenues est exprimée en mètre carré.



(A) Placement aléatoire du quadrat ;
(B) et (C) Décompte des faisceaux de Posidonies à l'intérieur du quadrat de 20x 20 cm.

Figure II.8 : Mesure de la densité des faisceaux de Posidonie

Du fait de l'intensité lumineuse élevée près de la surface, un herbier présentera des valeurs de densité très élevées dans des secteurs superficiels, alors qu'elles seront beaucoup plus faibles en profondeur (limite inférieure) ou dans des zones présentant une turbidité élevée. Par ailleurs, ce paramètre est bien approprié dans le cadre d'un suivi à long terme de la vitalité d'un herbier, car la densité dépend peu de la période à laquelle est réalisée la mesure et reste constante tout au long de l'année (Giraud, 1977 ; Pergent *et al.*, 1995).

La densité est l'un des paramètres essentiels et indispensables pour évaluer l'état de santé d'un herbier de *Posidonia oceanica*. Elle permet de classer l'herbier en six différents types, selon la terminologie de (Giraud, 1977) : herbier très dense, dense, clairsemé, très clairsemé, semi herbier, faisceaux isolés.

Tableau II.2 : Classification de l'herbier de posidonie selon la densité de faisceaux de feuilles au m², d'après Giraud (1977)

Densité par m ²	Type d'herbier
Plus, de 700 faisceaux/m ²	Type I, herbier très dense
De 400 à 700 faisceaux/m ²	Type II, herbier dense
De 300 à 400 faisceaux/m ²	Type III, herbier clairsemé
De 150 à 300 faisceaux/m ²	Type IV, herbier très clairsemé
De 50 à 150 faisceaux/m ²	Type V, semi herbier
Moins de 50 faisceaux/m ²	Faisceaux isolés

Toutefois, si l'échelle de Giraud (1977) permet de caractériser un herbier, elle n'intègre pas le facteur profondeur et est peu adaptée à la prise en compte de la densité comme paramètre descripteur de la qualité du milieu. En effet, une densité de 500 faisceaux/m² (soit un herbier dense) n'aura pas la même signification écologique si elle est mesurée à 5 m ou 20 m de profondeur (Pergent *et al.*, 1995).

Une nouvelle classification, intégrant la profondeur, proposée par Pergent-Martini (1994) et Pergent *et al.* (1995) et mise à jour par Pergent *et al.* (2008) et Pergent-Martini et Pergent (2010), a été utilisée (voir tableau II.3). Elle définit quatre type densité d'herbier : « excellente », « bonne », « normale », « médiocre » ou « mauvaise ».

Tableau II.3 : Classification des densités au m² de l'herbier de posidonie en fonction de la profondeur (d'après Pergent *et al.*, 2008 et Pergent-Martini *et al.*, 2010).

Profondeur (m)	Mauvais	Médiocre	Normal	Bon	Excellent
1	< 524	524 à 727	727 à 930	930 à 1133	> 1133
2	< 456	456 à 659	659 à 863	863 à 1067	> 1067
3	< 415	415 à 612	612 à 808	808 à 1005	> 1005
4	< 377	377 à 567	567 à 757	757 à 947	> 947
5	< 343	343 à 526	526 à 709	709 à 892	> 892
6	< 312	312 à 489	489 à 665	665 à 841	> 841
7	< 284	284 à 454	454 à 623	623 à 792	> 792
8	< 259	259 à 421	421 à 584	584 à 746	> 746
9	< 235	235 à 391	391 à 547	547 à 703	> 703
10	< 214	214 à 364	364 à 513	513 à 662	> 662
11	< 195	195 à 338	338 à 481	481 à 624	> 624
12	< 177	177 à 314	314 à 451	451 à 588	> 588
13	< 161	161 à 292	292 à 423	423 à 554	> 554
14	< 147	147 à 272	272 à 397	397 à 522	> 522
15	< 134	134 à 253	253 à 372	372 à 492	> 492
16	< 122	122 à 236	236 à 349	349 à 463	> 463
17	< 111	111 à 219	219 à 328	328 à 436	> 436
18	< 101	101 à 204	204 à 308	308 à 411	> 411
19	< 92	92 à 190	190 à 289	289 à 387	> 387
20	< 83	83 à 177	177 à 271	271 à 365	> 365
21	< 76	76 à 165	165 à 255	255 à 344	> 344
22	< 69	69 à 154	154 à 239	239 à 324	> 324
23	< 63	63 à 144	144 à 224	224 à 305	> 305
24	< 57	57 à 134	134 à 211	211 à 288	> 288
25	< 52	52 à 125	125 à 198	198 à 271	> 271
26	< 47	47 à 117	117 à 186	186 à 255	> 255
27	< 43	43 à 109	109 à 175	175 à 240	> 240
28	< 39	39 à 102	102 à 164	164 à 227	> 227
29	< 36	36 à 95	95 à 154	154 à 213	> 213
30	< 32	32 à 89	89 à 145	145 à 201	> 201
31	< 30	30 à 83	83 à 136	136 à 189	> 189
32	< 27	27 à 77	77 à 128	128 à 179	> 179
33	< 24	24 à 72	72 à 120	120 à 168	> 168
34	< 22	22 à 68	68 à 113	113 à 158	> 158
35	< 20	20 à 63	63 à 106	106 à 149	> 149
36	< 18	18 à 59	59 à 100	100 à 141	> 141
37	< 17	17 à 55	55 à 94	94 à 133	> 133
38	< 15	15 à 52	52 à 88	88 à 125	> 125
39	< 14	14 à 48	48 à 83	83 à 118	> 118
40	< 13	13 à 45	45 à 78	78 à 111	> 111

2.6.2. MESURE DU DÉCHAUSSEMENT DES RHIZOMES

Les rhizomes de Posidonie sont caractérisés par une croissance horizontale (rhizomes plagiotropes) et/ou verticale (rhizomes orthotropes). La croissance verticale est à l'origine de l'édification des mattes et permet à la plante de lutter contre l'enfouissement, lié à la sédimentation.

Le déchaussement des rhizomes traduit généralement l'existence d'un déficit sédimentaire de l'herbier (figure II.9-C). L'observation de ce paramètre permet donc d'apprécier rapidement et assez précisément l'hydrodynamisme d'une zone et les déplacements sédimentaires qui y ont lieu. En outre, un déchaussement important entraîne une fragilisation de l'herbier, ce qui accroît sa vulnérabilité vis à vis des actions de mouillage et de chalutage.

La mesure du déchaussement des rhizomes est réalisée selon les conventions définies (Boudouresque *et al.*, 2006; Boudouresque *et al.*, 2007) :

- **Pour les rhizomes plagiotrope** : le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la partie inférieure des rhizomes (figure II.9-A) ;
- **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 II.9-B).

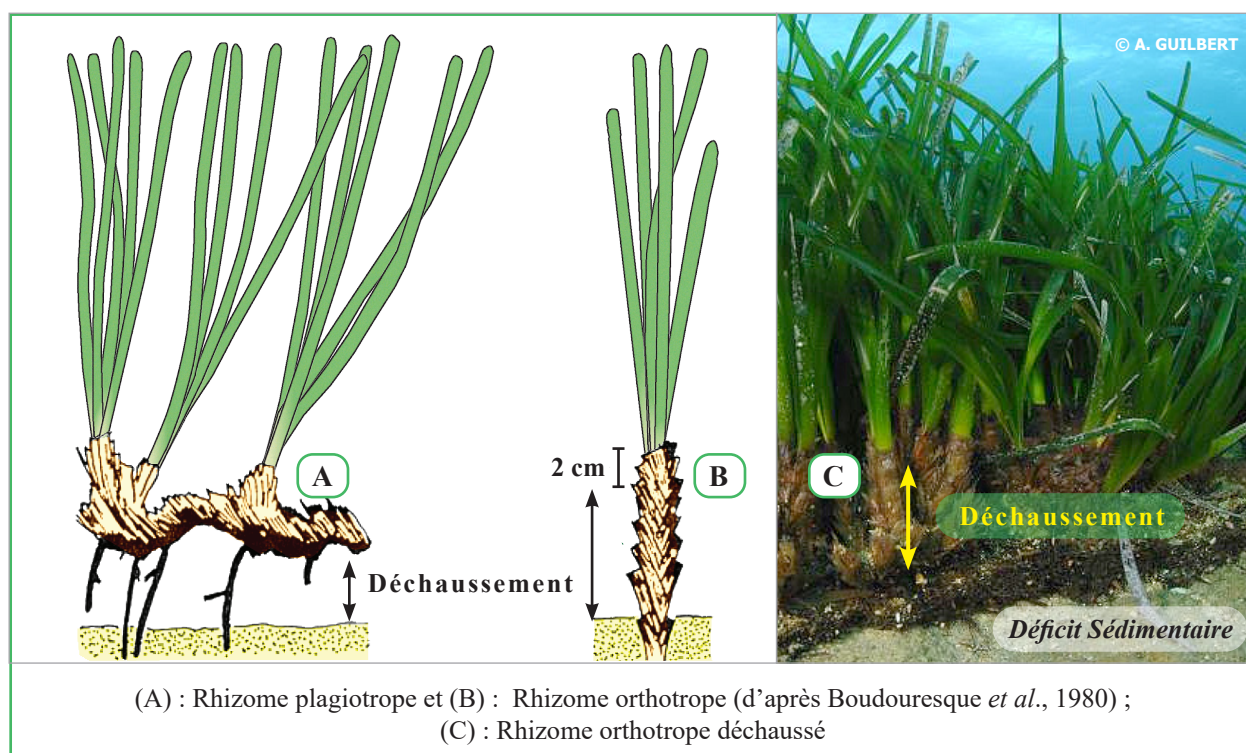


Figure II.9 : Définition de la hauteur de déchaussement des rhizomes de posidonies

La figure II.10 illustre la technique qui permet de mesurer le déchaussement lorsque le rhizome est orthotrope :

- Le plongeur choisit une feuille au hasard et la suit jusqu'à sa base (figure II.10-A) ;
- Il mesure ensuite avec une règle la distance (en centimètres), entre la ligule de la feuille la plus externe du faisceau et la surface du sédiment (figure II.10-B) ;
- Cette opération est répétée pour 12 faisceaux afin d'obtenir une moyenne représentative.

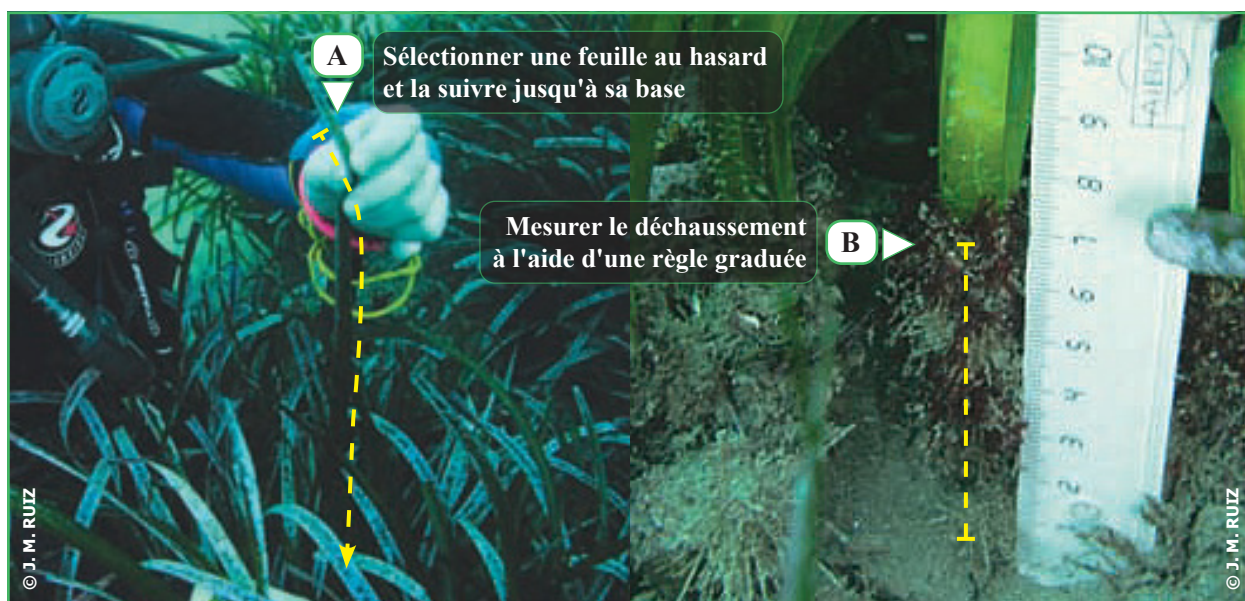


Figure II.10 : Mesure du déchaussement d'un faisceau orthotrope de posidonie

- **La distance est de signe positif :** si le niveau du sédiment est inférieur à la ligule, indiquant que la croissance verticale des faisceaux est supérieure à l'accumulation des sédiments au niveau de la prairie à Posidonie ou qu'il y a un déficit sédimentaire causé par un phénomène d'érosion ;
- **La distance est de signe négatif :** Lorsque la ligule est en dessous du niveau de sédiment, indiquant qu'il y a une accumulation excessive de sédiments dans l'herbier à Posidonie.

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

Tableau II.4 : Échelle d'évaluation du déchaussement en fonction des valeurs moyennes mesurées (d'après le RSP Charbonnel *et al.*, 2000 et Boudouresque *et al.*, 1980)

Déchaussement (valeurs seuil)	Interprétation
Inférieur à 5 cm	Déchaussement faible
5 – 15 cm	Déchaussement moyen
Supérieur à 15 cm	Déchaussement important

2.6.3. ESTIMATION VISUELLE DU TAUX DE RECOUVREMENT

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

Les valeurs du recouvrement varient selon l'état de vitalité de l'herbier :

- Dans le cas d'un herbier continu, présentant une vitalité élevée, le recouvrement atteint 80 à 100%.
- Il peut cependant présenter des valeurs beaucoup plus faibles lorsque l'herbier est soumis à des conditions de développement défavorables.
- Les valeurs diminuent selon la profondeur (au niveau de la limite inférieure, le recouvrement est généralement compris entre 5% et 40%) et avec la proximité de zones perturbées par des aménagements ou des rejets.

Le recouvrement varie également de manière naturelle, selon la saison d'observation (du fait de la variation de la longueur des feuilles), ou par exemple, dans des secteurs soumis à un fort hydrodynamisme ou à une hyper-sédimentation.

Pour estimer le recouvrement du substrat par l'herbier, il n'existe pas actuellement de méthode éprouvée et standardisée de mesure. Les méthodes proposées à l'heure actuelle reposent sur des évaluations subjectives (susceptibles de varier d'un observateur à l'autre) ou représentent un effort d'échantillonnage important (utilisation de photographies sous-marines verticales après la pose de cadre) (Cristiani, 1980 ; Romero-Martinengo, 1985) (figure II.11) ou encore, souffrent de biais méthodologiques importants.



Figure II.11: Estimation du recouvrement à l'aide de photographies sous marines

La mise au point d'une méthode originale de mesure du recouvrement a été initiée en 1995 par l'équipe du GIS Posidonie, dans le cadre du « Système de surveillance du Prado, Marseille » (Gravez *et al.*, 1995). Cette méthode est basée sur l'utilisation d'une plaquette en PVC transparente de 30x30 cm, subdivisée en un carroyage de 10 cm de côté (9 carreaux au total) (figure II.12).

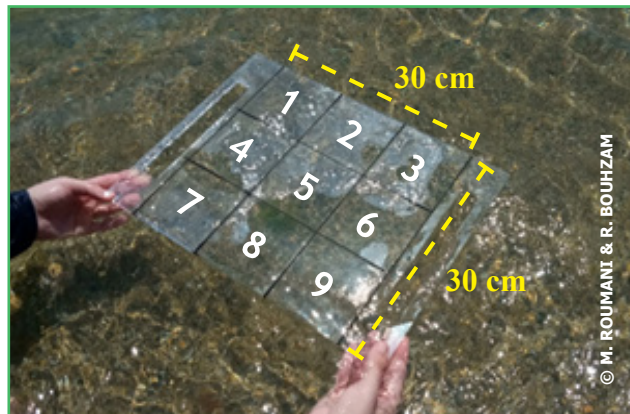


Figure II.12: Plaquette en PVC transparente de 30x30 cm réalisée dans le cadre de l'étude

Cette plaquette permet à l'observateur d'effectuer un comptage du nombre de carreaux occupés par de l'herbier (entre 0 et 9, à un demi-carreau près cette valeur étant ensuite exprimée en pourcentage).

La mesure est réalisée à la verticale du point observé, à 3 mètres au dessus du fond (figure II.13) et les points d'échantillonnage sont déterminés de manière aléatoire au sein des stations. Un plongeur peut effectuer une trentaine de mesures en 15 minutes.

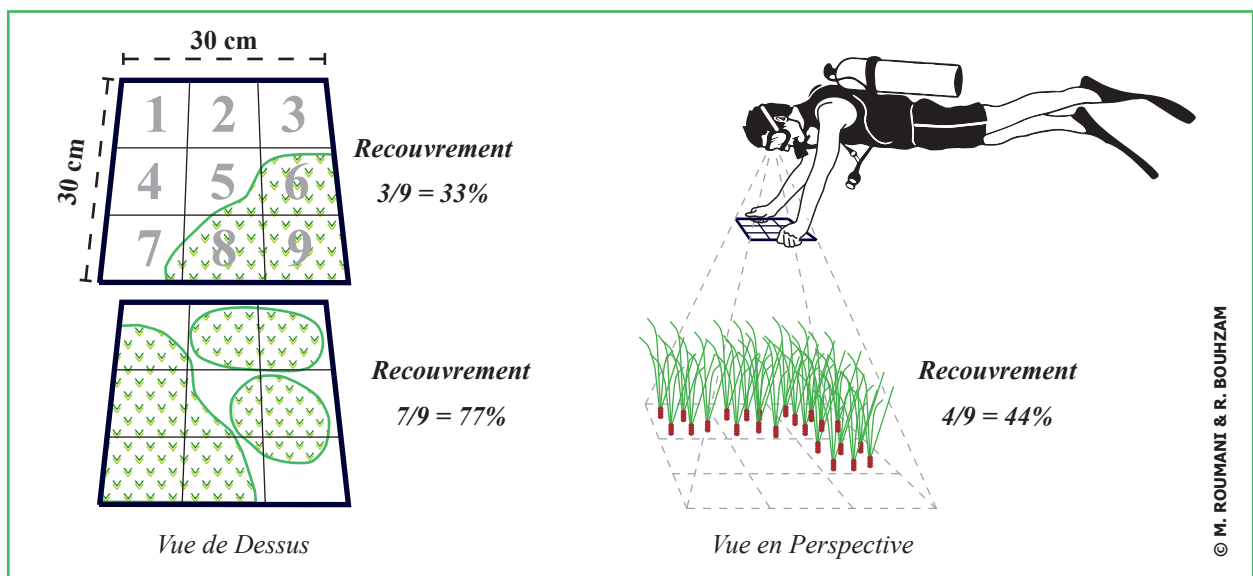


Figure II.13 : Mesure du recouvrement de l'herbier à *Posidonia oceanica* à l'aide d'une plaquette en PVC

De nombreux facteurs peuvent toutefois biaiser l'estimation du recouvrement. En effet, cette dernière est liée, d'une part, à l'appréciation personnelle de l'observateur (selon son expérience, les écarts d'évaluation peuvent atteindre de 10 à 29%) et d'autre part, à la saison d'observation (surévaluation en période estivale où les feuilles sont plus longues) et la visibilité.

Une échelle d'évaluation du recouvrement (faible, moyen, fort) est proposée par Charbonnel *et al.* (2000) tenant compte du type de la limite étudiée (tableau II.5).

Tableau II.5 : Échelle d'évaluation du recouvrement de l'herbier de Posidonie (Charbonnel *et al.*, 2000)

Recouvrement (Valeurs seuil)		Interprétation
Limite Supérieure	Limite Inférieure	
Inférieur a 40%	Inférieur a 20%	Recouvrement faible
40 a 80%	20 a 50%	Recouvrement moyen
Supérieur a 80%	Supérieur a 50%	Recouvrement fort

II.VII. RÉCOLTE DES ÉCHANTILLONS

Pour l'étude des herbiers à posidonie, il est recommandé selon Rico-Raimondino (1995) de récolter des faisceaux distants d'environ un mètre les uns des autres (de 50cm à 1m), afin de récolter des rhizomes appartenant à des individus a priori différents, donc non rattachés à un même rhizome parent encore vivant (Pergent, 1987).

Aussi, les rhizomes sont, dans la mesure du possible, choisis peu déchaussés, pour éviter une détérioration des écailles résultant de l'impact des brouteurs (Verlaque, 1987). Ils sont choisis les plus longs possible, et ne présentent pas de ramifications secondaires apparentes.

Pour les herbiers justifiant de ne pas réaliser de prélèvement de faisceaux compte tenu de leur petite surface, les mesures de longueur des feuilles ainsi que le nombre de feuilles par faisceaux doivent être réalisées in situ.

Les prélèvements ont été effectués fin juillet 2021 à des profondeurs allant de 3 à 5 mètres (limite supérieure). 15 faisceaux orthotropes (à croissance verticale) de *Posidonia oceanica*, sans faisceaux secondaires apparents, sont récoltés en scaphandre autonome et/ou apnée pour chacune des 3 stations d'étude.

Les faisceaux sont conservés au frais et dans l'obscurité dans de l'alcool dénaturé (95 %) jusqu'à leur analyse en laboratoire.

II.VIII. ANALYSE BIOMÉTRIQUE

Les parties épigées des faisceaux (feuilles et bases vivantes) sont mesurées afin d'obtenir un ensemble de données biométriques. Ces dernières constituent de bons indicateurs de la transparence de l'eau (Ruiz et Romero, 2003), de l'enrichissement du milieu (Leoni *et al.*, 2006) et de la pollution par les rejets industriels (Balestri *et al.*, 2004). De ce fait, elles font partie des descripteurs utilisés en routine pour rendre compte de la vitalité de *Posidonia oceanica* (Pergent *et al.*, 1995 ; Pergent-Martini *et al.*, 2005 ; Boudouresque *et al.*, 2006).

Les caractéristiques morphologiques ainsi que l'âge des feuilles diffèrent en fonction de leur position au sein du faisceau. Les feuilles se forment au centre et sont d'autant plus âgées qu'elles sont situées vers l'extérieur et l'acquisition d'un pétiole par les feuilles ne se fait qu'avec leur vieillissement (Giraud, 1979).

Chaque faisceau est disséqué en respectant l'ordre distique d'insertion des feuilles (Figure II.14). On regroupe alors les feuilles en 3 catégories, selon le protocole de Giraud (1979) :

- Les "*feuilles adultes*", de plus de 50 mm de long et pourvues d'un pétiole dont la longueur est supérieure ou égale à 2 mm ;
- Les "*feuilles intermédiaires*" de plus de 50 mm de long et dépourvues de pétiole (ou dont le pétiole est inférieur ou égal à 2 mm) ;
- Les "*feuilles juvéniles*" sans pétiole et de longueur n'excédant pas 50 mm.

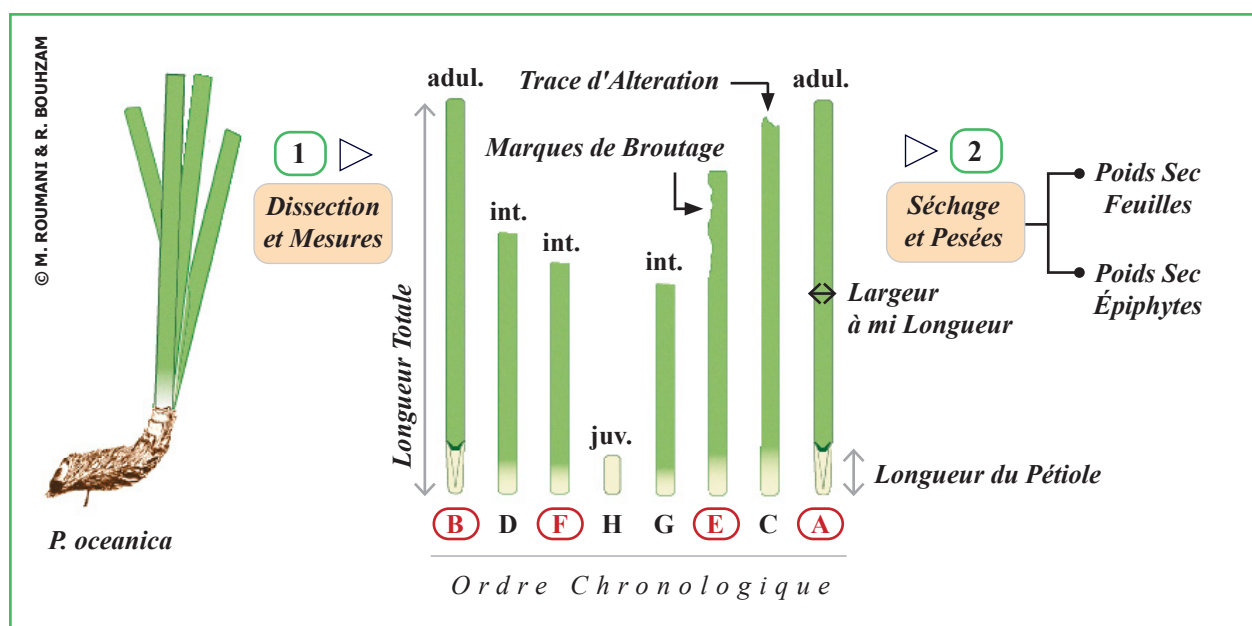


Figure II.14 : Protocole d'analyse biométrique d'un rhizome de Posidonie

Le nombre de feuilles par faisceau est alors déterminé. Pour chaque feuille, sont mesurées au millimètre près, la longueur totale (gaine incluse pour feuille adulte) (Figure II.15-A), la longueur du pétiole quand celui-ci existe (Figure II.15-B) et la largeur (mesurée à mi longueur) (Figure II.15-C).

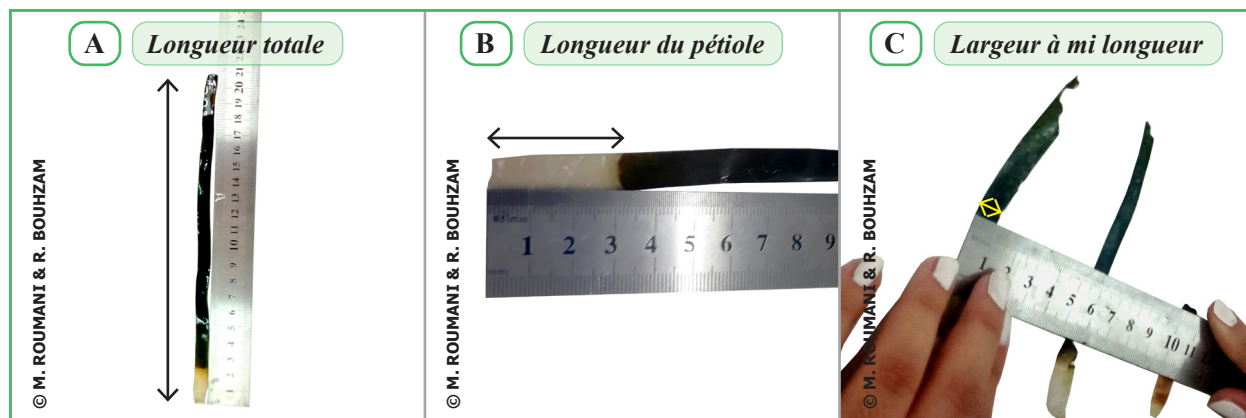


Figure II.15 : Mesures biométriques pour la surface foliaire

Les feuilles de posidonie peuvent présenter des signes d'altération et de broutage (Figure II.16-A) et leur extrémité ou apex peut être entière (Figure II.16-B) ou brisée (cassée) (Figure II.16-C) ce qui correspond soit à une consommation par les herbivores ou à l'action de l'hydrodynamisme favorisée par la présence d'épiphytes (Boudouresque & Meinesz, 1982 ; Dutrieux *et al.*, 2006). Pour chaque feuille, ces informations sont donc notés.

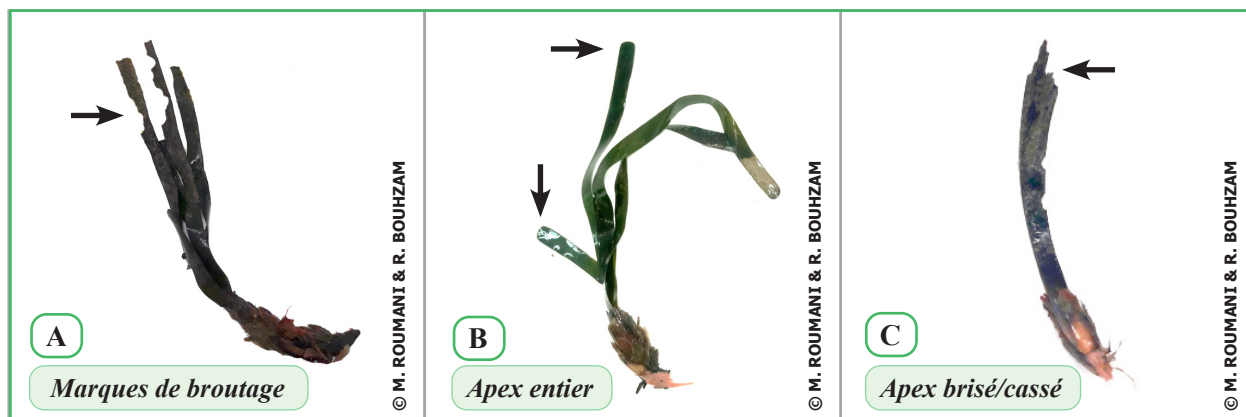


Figure II.16 : Marques de broutage et états de l'apex des feuilles de Posidonie

Un grattage à l'aide d'une lame de rasoir (Dauby and Poulicek, 1995) est réalisé sur les deux côtés de chacune des feuilles afin d'extraire l'ensemble de la charge en épiphytes (épibiontes) (Figure II.17-A). L'ensemble des feuilles et l'ensemble des épiphytes d'un même faisceau sont mis à sécher à l'étuve et séparément à 60°C pendant 48h (Figure II.17-B) puis pesés au milligramme près (Belkhiria, 1992) (Figure II.17-C).



Figure II.17 : Étapes d'estimation de la charge épiphytaire des feuilles de Posidonie

À partir de ces mesures, les paramètres biométriques : surface foliaire, indice foliaire, charge épiphytaire/épibiontes et coefficient A ont été calculés.

2.8.1. LA SURFACE FOLIAIRE (SF)

La surface foliaire, correspondant à la surface des feuilles exprimée en cm^2 par faisceau, est calculée à l'aide de la formule suivante (Giraud, 1979, Pergent- Martini *et al.*, 1994) :

$$\text{SF} = (\Sigma \text{ des Longueurs des FI} \times \text{Moyenne des Largeurs des FI}) + (\Sigma \text{ des Longueurs des FA} \times \text{Moyenne des Largeurs des FA})$$

Avec : FI : Feuilles Intermédiaires ; FA: Feuilles Adultes

2.8.2. INDICE FOLIAIRE : LEAF AREA INDEX (LAI)

Le LAI représente la surface foliaire par m^2 d'un herbier de posidonie. Il est exprimé en m^2/m^2 . Ce paramètre n'a été calculé que pour la station 1 à l'aide de la formule suivante :

$$\text{LAI} = \text{Surface Foliaire} \times \text{Densité de l'Herbier}$$

2.8.3. CHARGE ÉPIPHYTAIRE /ÉPIBIONTES (E/L)

Le ratio épiphytes (épibiontes)/feuilles par faisceau est calculé de la manière suivante (Ifremer, 2007) :

$$\text{E/L} = \frac{\text{Poids Sec des Épiphytes (Épibiontes) d'un Faisceau}}{\text{Poids Sec des Feuilles du Même Faisceau}}$$

2.8.4. COEFFICIENT A (COEF. A)

Ce coefficient correspond au pourcentage de feuilles ayant perdu leur apex (Giraud, 1977a). Cette mesure consiste à estimer le nombre de feuilles cassées par faisceau et en déduire un pourcentage (Dutrieux *et al.*, 2006 ; Pergent, 2007).

$$\text{COEF. A} = \frac{\text{Nombre de Feuilles Cassées}}{\text{Nombre Total de Feuilles}} \times 100$$

II.IX. IDENTIFICATION DE LA FAUNE ET DE LA FLORE ASSOCIÉE

Une attention particulière sera portée, sur le terrain, aux principales espèces associées aux herbiers, espèces benthiques, où pouvant être rencontrées au voisinage du site étudié (exemples d'espèces en figure II.18). Il s'agit des :

- Espèces protégées (autres phanérogames ou espèces rares) ;
- Espèces menacées et d'intérêt patrimonial ;
- Espèces d'intérêt commercial (espèces de poissons et d'échinodermes) ;
- Espèces bio-indicatrices (organismes filtreurs et suspensivores, dont l'abondance peut traduire la richesse en MES du milieu) ;
- Espèces introduites (algues envahissantes, dont l'expansion constitue un risque majeur pour les écosystèmes de Méditerranée).



Figure II.18 : Exemples d'espèces associées à rechercher dans les herbiers à Posidonie

En fonction de l'espèce observée, un ou plusieurs paramètres doivent être considérés. Si par exemple, la Grande nacre *Pinna nobilis* est identifiée, il s'agira d'en compter le nombre, de mesurer la dimension (hauteur, largeur), de déterminer le biotope (herbier, matte morte, sable) et de préciser la profondeur.

Le tableau II.6, ci-après, donne la liste des faunes et flores associées à l'herbier de posidonie et le ou les paramètres à considérer pour chaque espèce.

Tableau II.6 : Liste des faunes et flores associées à l'herbier de posidonie

LISTE DES ESPÈCES	PARAMÈTRES À CONSIDÉRER
➤ Espèces protégées :	
<ul style="list-style-type: none"> • PHANÉROGAMES : ✓ Cymodocée (<i>Cymodocea nodosa</i>) ✓ Zostères (<i>Zostera noltii</i>, <i>Zostera marina</i>) • Grande nacre (<i>Pinna nobilis</i>) • Mérou brun (<i>Epinephelus marginatus</i>) • Oursin diadème (<i>Centrostephanus longispinus</i>) • Grande cigale (<i>Scyllarides latus</i>) • Datte de mer (<i>Lithophaga lithophaga</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie couverte, description (prairie clairsemée/dense, longueur feuille, profondeur) • Nombre et dimension (hauteur, largeur), biotope (herbier, matte morte, sable), profondeur • Nombre et estimation taille, comportement (indifférence, fuite, curiosité), profondeur • Nombre et diamètre (sans les piquants), biotope (roche, coralligène, cavité), profondeur • Nombre et taille, profondeur, biotope • Description (biotope, profondeur) et abondance (rare/fréquente/abondante)
➤ Espèces menacées et d'intérêt patrimonial :	
<ul style="list-style-type: none"> • Corb (<i>Sciaena umbra</i>) • Hippocampes (<i>Hippocampus ramulosus</i>, <i>Hippocampus hippocampus</i>) • Astérine d'herbier (<i>Asterina pancerii</i>) • Éponge « corne de cerf » (<i>Axinella polypoides</i>) • Paysages remarquables : coralligène, gorgones 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre et estimation taille, comportement, profondeur, biotope • Nombre et estimation taille, profondeur, biotope • Nombre et localisation, profondeur • Nombre et dimension (hauteur, largeur), localisation, profondeur • Description (superficie, profondeur, espèces remarquables), état général
➤ Espèces d'intérêt commercial :	
<ul style="list-style-type: none"> • Oursin comestible (<i>Paracentrotus lividus</i>) • Poissons (ex. Sars, Loup, Daurade, Chapon, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Abondance : rare/fréquent/abondant • Abondance : rare/fréquent/abondant
➤ Espèces bio-indicatrices :	
<ul style="list-style-type: none"> • Organismes filtreurs : Huître, Moule, Ascidiées, Éponges, Spirographe • Ascidiée rouge (<i>Halocynthia papillosa</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Description et nombre (estimation par m²) • Description et nombre (estimation par m²)
➤ Espèces introduites :	
<ul style="list-style-type: none"> • Caulerpe tropicale (<i>Caulerpa taxifolia</i>) • Caulerpe raisin ou Caulerpe à billes (<i>Caulerpa racemosa</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie couverte, colonie isolée ou tache, substrat (sable, roche, matte morte, herbier), profondeur

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS



III.1. RÉSULTATS DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUE

➤ **Température (T):**

La température de l'eau est un facteur écologique important dans le milieu marin. Il agit sur l'herbier à Posidonie ainsi que sur les activités physiologiques des espèces associées. Cependant une forte température peut altérer la vitalité de la plante. La température enregistrée au niveau de la plage Ouest de Sidi-Fredj est une température saisonnière.

➤ **Salinité (S):**

La salinité est la teneur en sels dissous. Elle est généralement variable dans le temps, ainsi que dans l'espace (c'est à la surface de l'eau que la salinité varie le plus). Quatre facteurs principaux influent sur la salinité de l'eau: l'apport des eaux marines, l'évaporation, les précipitations et la profondeur de l'eau. La mesure de salinité au niveau de la plage Ouest montre que la valeur obtenue est normale

➤ **Oxygène Dissous (OD) :**

Ce paramètre gouverne la plus part des processus biologiques des écosystèmes aquatiques (Aminot et Kérouel, 2004). La valeur obtenue au niveau de la plage Ouest est une valeur faible qui montre qu'on est en présence d'un milieu pollué.

➤ **Potentiel d'Hydrogène (pH) :**

Il résulte de la composition ionique de l'eau. Il est variable dans le temps et dans l'espace. Il détermine l'acidité, la neutralité et la basicité de l'eau de mer, on l'utilise généralement comme indice de pollution (acidification des océans). La valeur obtenue montre que l'eau de mer est basique.

Tableau III.1 : Résultats des mesures des paramètres physico-chimiques au niveau de la plage Ouest de Sidi-Fredj

	Température (°C)	Salinité (PSU)	Oxygène Dissous (mg/L)	pH
Valeur min.	25.7	36	2.12	8.03
Valeur max.	25.09	36.04	2.24	8.25
Moyenne	25.40	36.02	2.18	8.14
Écart-type	0.43	0.03	0.08	0.16

III.II. ANALYSE DU SUIVI DE L'ÉTAT DE SANTÉ DE L'HERBIER

3.2.1. TYPOLOGIE ET DESCRIPTION DE L'HERBIER

Des banquettes de Posidonie et des mattes mortes ont été observées sur le rivage du coté Est seulement de la plage (figure III.1), c'est le signe d'un fort hydrodynamisme, qui joue un rôle important dans l'arrachement des feuilles et rhizomes de *Posidonia oceanica*, et également d'une bonne qualité de l'eau et nous indiquent aussi qu'on est pas loin de vastes herbiers. Nous avons noté également la présence de macro-déchets (figure III.2), conséquence d'une fréquentation estivale intense (figure III.3).



Figure III.1 : Banquette de posidonie de la plage Ouest de Sidi-Fredj



Figure III.2 : Accumulation de Macro-déchets dans la matte morte



Figure III.3 : Forte présence d'estivants dans la plage Ouest de Sidi-Fredj lors de la saison estivale

Nos nombreuses plongées, montrent que l'herbier est clairsemé et se présente sous forme de touffes à de faibles profondeurs (station 2 et 3) (figure III.4). Il devient plus prospère à partir de 3m de profondeur (station 1) (figure III.5) et se développe sur substrat sableux à sableux-rocheux. L'herbier de notre zone d'étude est un herbier de plaine, très clairsemé ou l'on observe l'installation d'une espèce invasive (*Caulerpa racemosa*) qui doit sûrement profiter de l'état de fragilité de l'herbier, nous avons observé également la présence de petites surfaces de *Cymodocea nodosa*. Nous avons constaté que les feuilles de la Posidonie de notre zone d'étude, sont généralement longues, broutées et fortement recouvertes d'une communauté d'épiphytes (particulièrement dense en été).

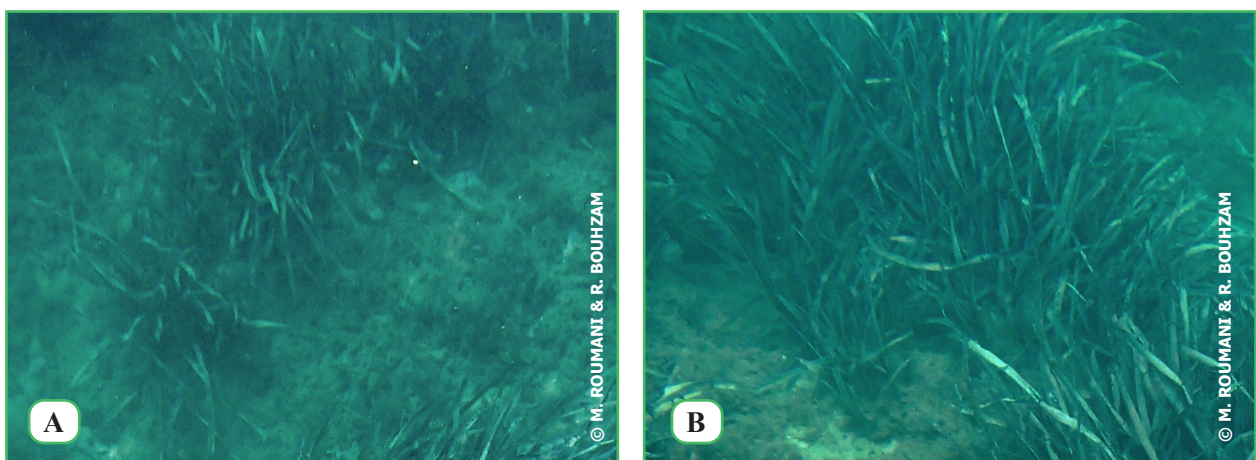


Figure III.4 : Aspect général de l'herbier au niveau de la station 2 (A) et station 3 (B)

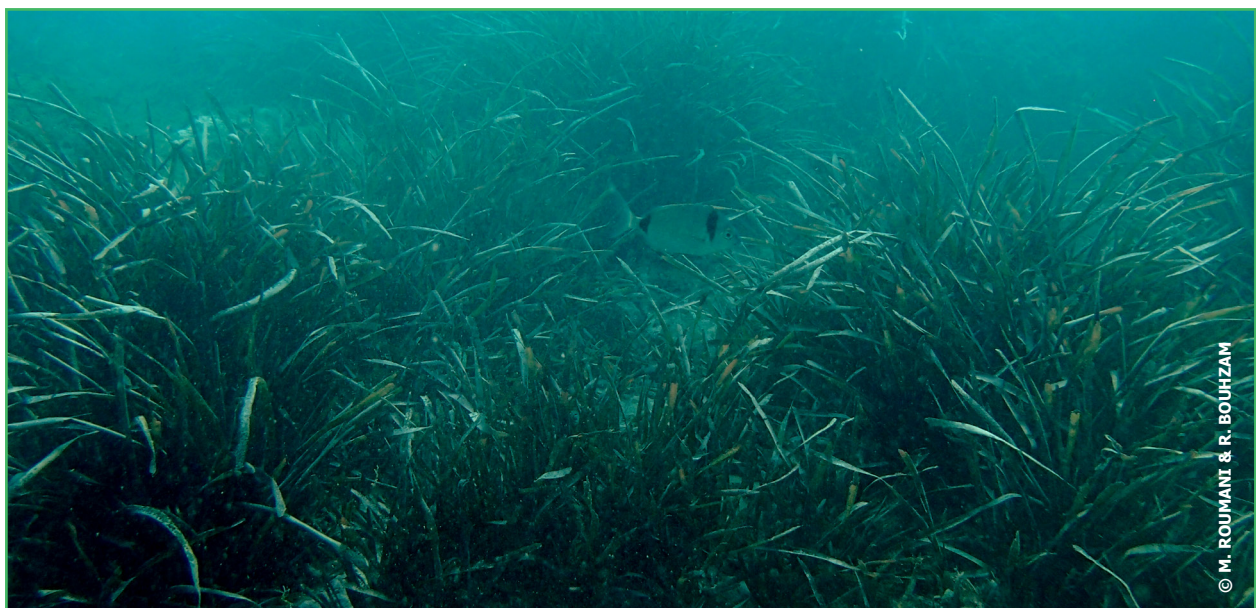


Figure III.5 : Aspect général de l'herbier de la plage Ouest de Sidi-Fredj au niveau de la station 1

3.2.2. DENSITÉ

La densité moyenne, estimée à partir de 30 comptages effectués au niveau de la station 1 est de : **263.33 faisceaux/m²** avec un écart type de **118.67** (voir annexe 1). Selon la classification de Giraud (1977), l'herbier étudié est très clairsemé (type IV) (tableau II.2). Quant à la classification intégrant la profondeur (Pergent *et al.*, 2008 et Pergent-Martini *et al.*, 2010), elle évalue la qualité écologique de notre herbier et le discrimine en densité «Mauvaise» (tableau II.3).

Tableau III.2 : Caractéristiques, densité et type d'herbier de la station 1

Profondeur (m)	03	
Substrat	Rocheux	
Densité (faisceaux /m²)	263.33	
Type d'Herbier	Type IV : Herbier très clairsemé	selon Giraud, 1977
	Densité mauvaise	selon Pergent <i>et al.</i> , 2008 et Pergent-Martini <i>et al.</i> , 2010

Nous avons pu comparer nos résultats avec ceux de Boutarene et Ghanem (2010) et Boudaa (2013) tous ont effectué leur études dans la même zone à une profondeur moindre (1,5m).

La densité moyenne estimée pour les deux cas, correspond à une densité mauvaise (d'après Pergent *et al.*, 2008 et Pergent-Martini *et al.*, 2010) effectivement :

- La densité moyenne estimée en 2010 était de 310.85 faisceaux/m², ce qui correspond à un herbier clairsemé de type III selon la classification de Giraud (1977).
- la densité moyenne estimée en 2013 était de 269.4 faisceaux/m², ce qui correspond à un herbier très clairsemé de type IV selon la classification de Giraud (1977).

On constate donc une évolution régressive de la densité de l'herbier a *Posidonia oceanica* des années 2010, 2013 jusqu'à l'année 2021 selon Giraud (1977).

Quant à la classification moderne de Pergent *et al* (2008) et Pergent-Martini *et al* (2010), les résultats obtenues dans la plage Ouest de Sidi-Fredj sont homogènes, les densités obtenues durant les 3 périodes citées seraient mauvaises.

- Selon Bengrine et Guelmami (Bou-Ismaïl, 2007), Naimi et Bellahcene (Kouali, 2012), les densités moyennes estimées à des profondeurs différentes et beaucoup plus grandes ont été de 223 faisceaux /m² à Bou-Ismaïl et de 750 faisceaux /m² à Kouali, qui comparés aux nôtres semblent très hétérogènes. On déduit que l'état de santé de l'herbier à posidonie tout au long de la baie de Bou Ismaïl varie de déplorable à bon.

La mauvaise densité enregistrée au niveau de la station étudiée traduit une réduction de vitalité de l'herbier à *Posidonia oceanica*. Effectivement, la variabilité du facteur densité est liée à plusieurs paramètres comme la turbidité moyenne, la pollution, l'hydrodynamisme, la nature du substrat ou la profondeur (Pergent-Martini, 1994). dans notre cas on suppose qu'elle est due : à la pollution (turbidité), l'hydrodynamisme et aux aménagements littoraux non réalisés conformément aux besoins environnementales (épis).

3.2.3. DÉCHAUSSEMENT

Au niveau de la station1, nous avons constaté une absence totale de rhizomes déchaussés, ceci s'explique probablement par l'absence de toute force mécanique exercée sur la strate foliaire (ancrage, chalutage) elle engendre aussi une stabilité des transports sédimentaires sur cette zone. Les quelques touffes existantes au niveau des stations2 et 3 présentaient un déchaussement.

3.2.4. RECOUVREMENT

Le recouvrement moyen de l'herbier de Posidonie estimé au niveau de la zone d'étude et calculé à partir de 30 comptage est de **48.15%** (voir annexe 2). Le recouvrement obtenu peut être considéré comme moyen selon l'échelle de classification proposée par Charbonnel *et al.* (2000) en prenant en compte la faible profondeur, ce qui explique que l'herbier est soumis à des conditions de développement défavorables. Le recouvrement présente souvent des valeurs moyennes et hétérogènes suivant le système de classification (Charbonnel *et al.*, 2000) (figure II.5). Il varie naturellement en fonction de la profondeur, de l'hydrodynamisme et du taux de sédimentation. Il est également influencé par les activités humaines (aménagement littoraux, rejets d'eaux polluées, etc.). Nos résultats comparés à ceux de Boutarene et Ghanem (2010) et Boudaa (2013) obtenus à une profondeur moindre dans la même zone d'étude montrent :

- Le recouvrement moyen estimé en 2010 était de 15.74%, ce qui correspond à un recouvrement faible selon la classification de Charbonnel *et al.* (2000).

- Le recouvrement moyen estimé en 2013 était de 30.8%, ce qui correspond à un recouvrement faible selon la classification de Charbonnel *et al.*, (2000).

Nous avons également comparé nos résultats à ceux de Naimi et Bellahcene (Kouali, 2012) effectués à une profondeur d'environ 1.5m. Le recouvrement moyen estimé en 2012 était d'environ 58.1%.

Nous jugeons que le calcul de ce paramètre est directement lié au positionnement du plongeur.

III.III. PARAMÈTRES BIOMÉTRIQUES

3.3.1. NOMBRE DE FEUILLES PAR FAISCEAUX

Le nombre moyen maximum de feuilles adultes est observé au niveau de la station 1 (trois par faisceau en mois de juillet). Le nombre moyen minimum de feuilles adultes est observé au niveau de la station 3 (2.6 par faisceau).

Pour les feuilles intermédiaires, le nombre moyen maximum de feuilles par faisceau est de 2.47 et le nombre minimum est de 1.93.

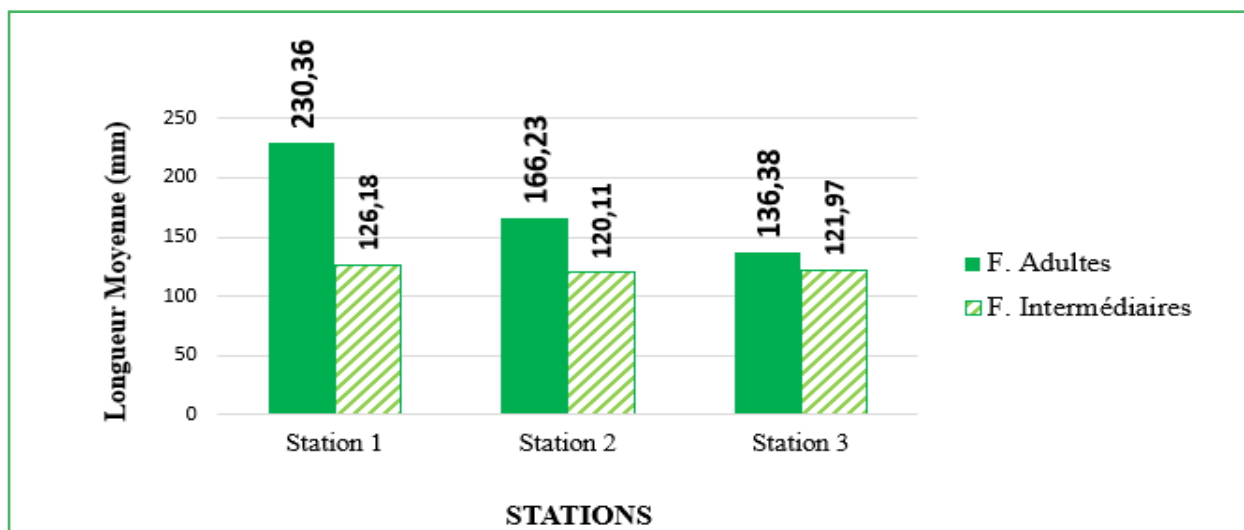
Le nombre de feuilles par faisceau présente des variations pouvant être liées aux caractéristiques des sites.

3.3.2. LONGUEUR DES FEUILLES

Après avoir mesuré la longueur des feuilles de *Posidonia oceanica* des différentes stations, on constate que les longueurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires présentent des différences significatives (Tableau III.3). La longueur moyenne maximale pour les feuilles adultes est observée au niveau de la station 1 (**230.36 mm**). La longueur moyenne minimale est observée au niveau de la station 3 (**136.38 mm**). La longueur moyenne maximale pour les feuilles intermédiaires est observée au niveau de la station 1 (**126.18 mm**) et la longueur moyenne minimale pour les feuilles intermédiaires est observée au niveau de la station 2 (**120.11 mm**).

Les longueurs de feuilles adultes sont généralement contrôlées par : l'alternance des saisons (et des facteurs abiotiques associés), la position latitudinale du site et des facteurs locaux (exemple : pression des herbivores, hydrodynamisme). Dans notre cas on remarque que la longueur des feuilles adultes diminue en fonction de l'augmentation de la charge épiphytaire.

Figure III.6 : Évolution des longueurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations d'étude de la plage Ouest de Sidi-Fredj



3.3.3. LARGEUR DES FEUILLES

Les largeurs moyennes des feuilles adultes et intermédiaires présentent des différences significatives ($p < 0.01$). Les largeurs des feuilles adultes varient entre **9.49 mm** et **9.95 mm**. Les largeurs des feuilles intermédiaires varient entre **9.34 mm** et **9.86 mm**. La largeur des feuilles augmente généralement avec l'âge sur toutes les stations étudiées. Une augmentation de l'hydrodynamisme pourrait également entraîner une augmentation de la largeur des feuilles (Rico-Raimondino, 1995), car une perte de la matière foliaire est compensée par une augmentation de la largeur des feuilles. Cette stratégie permet de maintenir une surface foliaire élevée face à une réduction de la longueur des feuilles liée à la perte des apex. Cette optimisation de la surface photosynthétique active, à travers une augmentation de sa largeur est observée dans notre cas entre la station 1 et 2.

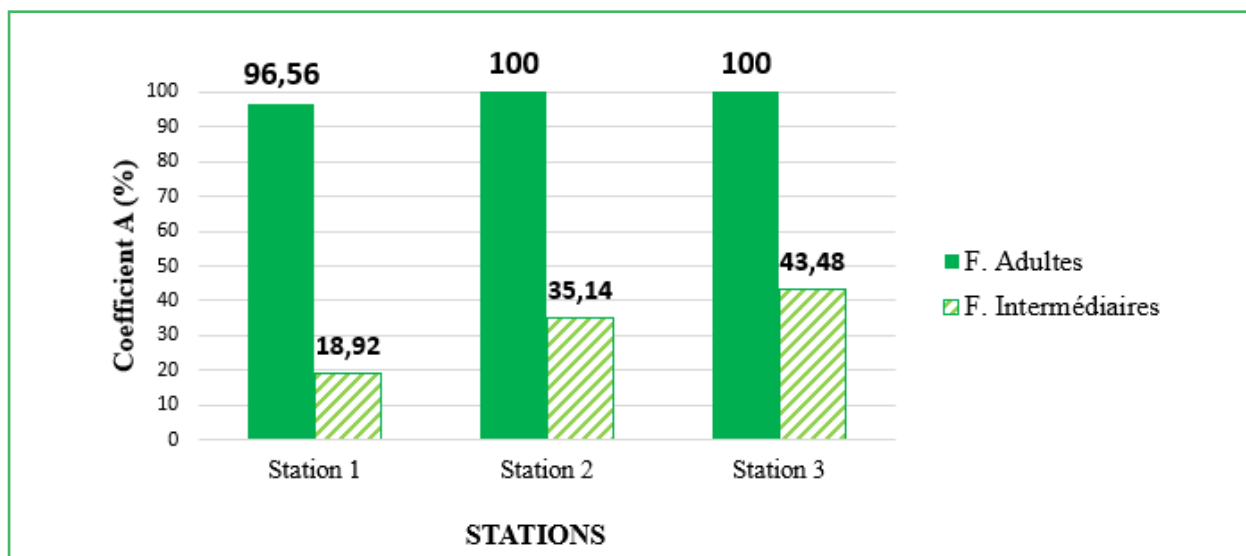
3.3.4. COEFFICIENT. A (COEF. A).

Le coefficient A des feuilles adultes présente des différences significatives ($p < 0.01$) et le pourcentage des apex perdus varie entre **95.56%** et **100%**.

Le coefficient A des feuilles intermédiaires présente des différences significatives ($p < 0.01$). La valeur minimale pour les feuilles intermédiaires est **18.92%** (station 1). La valeur maximale pour les feuilles intermédiaires est de **43.48%** (station 3).

Le coefficient A des feuilles adultes au niveau des 3 stations est particulièrement élevé du fait de leur position à la périphérie des faisceaux, subissant ainsi l'action directe des consommateurs et/ou celle de l'hydrodynamisme, favorisé par la présence des épiphytes (Mazzella *et al*, 1983).

Figure III.7 : Évolution du coefficient A des feuilles adultes et intermédiaires pour les différentes stations d'étude de la plage Ouest de Sidi-Fredj.



3.3.5. SURFACE FOLIAIRE (SF)

Les surfaces foliaires moyennes des feuilles adultes et intermédiaires, par faisceaux, présentent des différences significatives ($p < 0.01$) par rapport à la station 1 (Tableau III.3). La valeur maximale est **34.65** cm²/faisceau (station 1) et la valeur minimale est de **24.33** cm²/faisceau (station 2). La surface foliaire par faisceaux constitue un paramètre intégrateur de la biométrie on suppose que les faibles valeurs obtenus sont dues à la pression des herbivores et l'hydrodynamisme, responsables des pertes des tissus foliaires.

3.3.6. INDICE FOLIAIRE : LEAF AREA INDEX (LAI)

Il dépend de la surface foliaire et de la densité. Dans notre cas d'étude il a été calculé seulement pour la station 1 (l'unique station présentant une densité). L'indice foliaire est de : 0.912. Cette valeur reste faible du fait d'une densité mauvaise dans notre zone d'étude.

3.3.7. CHARGE ÉPIPHYTAIRE /ÉPIBIONTES (E/L)

La charge épiphytaire est maximale au niveau de la station 3 la ou le nombre moyen de feuilles intermédiaires par faisceau est minimale. Cela s'explique par la position des feuilles intermédiaires à l'intérieur du faisceau (moins exposées) et depuis moins longtemps, elles sont donc moins recouvertes par les épiphytes (Alcoverro *et al.*, 1997 ; Cebrian *et al.*, 1999, Peirano *et al.*, 2001). L'augmentation de leur nombre au sein du faisceau tend ainsi à faire baisser la charge épiphytaire.

Tableau III.3 : Paramètres morphologiques de l'herbier des 3 stations étudiées au niveau de la plage ouest de Sidi-Fredj (Juillet, 2021).

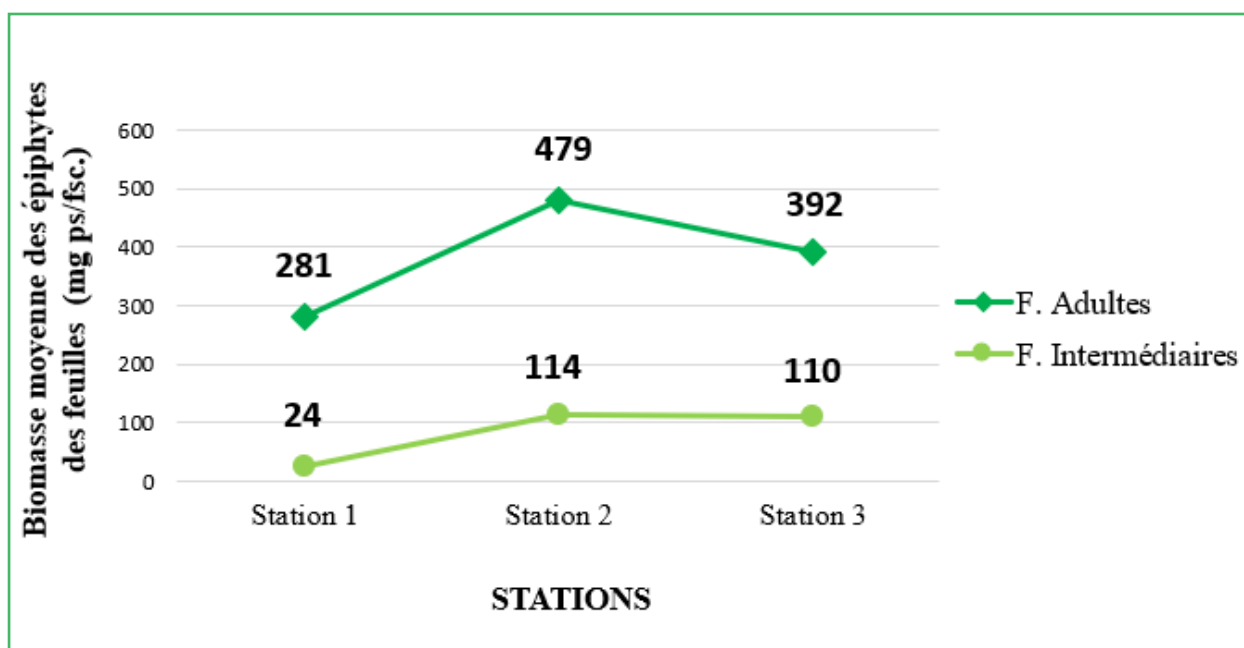
Paramètres	Station 1	Station 2	Station 3
Nombre de feuilles adultes par faisceau	3 ± 0.8	2.67 ± 0.90	2.6 ± 0.63
Longueur moyenne des feuilles adultes (mm)	230.36 ± 44.53	166.23 ± 52.95	136.38 ± 51.71
Largeur moyenne des feuilles adultes (mm)	9.84 ± 0.64	9.95 ± 1.41	9.49 ± 0.94
Longueur moyenne des bases des feuilles adultes (mm)	29.04 ± 3.02	23.65 ± 1.84	24.74 ± 3.92
Coefficient A des feuilles adultes (%)	95.56	100	100
Nombre de feuilles intermédiaires par faisceau	2.27 ± 0.6	2.47 ± 0.64	1.93 ± 0.59
Longueur moyenne des feuilles intermédiaires (mm)	126.18 ± 68.44	120.11 ± 52.59	121.97 ± 61.19
Largeur moyenne des feuilles intermédiaire (mm)	9.5 ± 0.75	9.86 ± 0.79	9.34 ± 1.04
Coefficient A des feuilles intermédiaires (%)	18.92	35.14	43.48
Surface foliaire des feuilles (cm ² /faisceau)	34.65	28.38	24.33

3.3.8. BIOMASSE DES FEUILLES ET DES ÉPIPHYTES DES FEUILLES

La valeur de la biomasse moyenne des feuilles de l'herbier de Posidonie et celle de leur épiphytes sont exprimées en poids sec en (mg)/faisceau (mgPs/f). La biomasse présente des variations temporelles (saisonniers, annuelles, interannuelles) et spatiales (horizontales et verticales) influencées par les facteurs abiotiques (nutriments et facteurs physiques) et biotiques (chaîne trophique et compétition) (Philips et Menez, 1988).

En ce qui concerne la biomasse des épiphytes, une concentration plus élevée d'épiphyte a été observée à l'apex des feuilles. La concentration diminue à mesure que l'on s'approche de la base. Les résultats des calculs ont montré un maximum d'épiphytes de feuilles au niveau de la station 2 (593mg Ps/fsc.), ceci peut s'expliquer par un broutage moins important des herbivores dans cette station.

Figure III.8 : Biomasse moyenne des épiphytes des feuilles de *Posidonia oceanica* dans les 3 stations de la plage Ouest de Sidi-Fredj



D'après les résultats obtenus, la biomasse maximale des feuilles de Posidonie (adultes et intermédiaires) est de : **429.87mg Ps/fsc.** (Station 1) et la biomasse minimale est de : **231.8mg Ps/fsc.** (Station 3).

La biomasse moyenne des feuilles adultes augmente avec la profondeur. La biomasse des feuilles adultes de la station 1 est nettement supérieure à celle des deux autres stations car elles sont situées à des profondeurs plus faibles.

Figure III.9 : Biomasse moyenne des feuilles de *Posidonia oceanica* dans les 3 stations de la plage Ouest de Sidi-Fredj

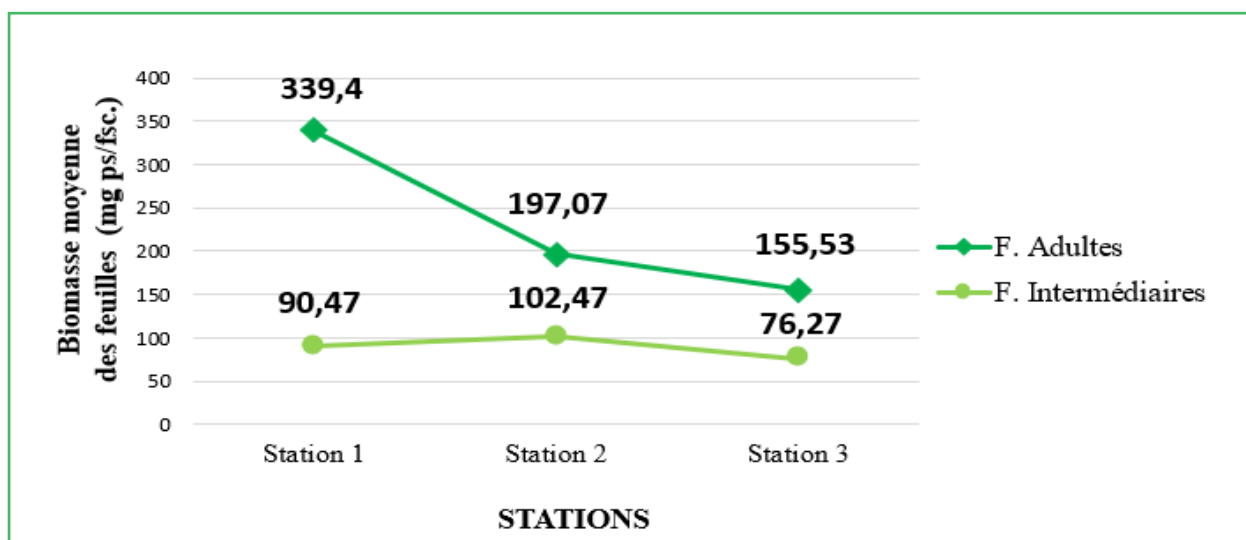


Tableau III.4 : Biomasse moyenne des feuilles et des épiphytes des feuilles (plage Ouest de Sidi-Fredj, juillet 2021)

		Biomasse des épiphytes		Biomasse des feuilles	
		mg Ps/fsc.	g Ps/m ²	mg Ps/fsc.	g Ps/m ²
Station 1	Feuilles adultes	281	73.99	339.4	89.37
	Feuilles intermédiaires	24	6.32	90.47	23.82
	Feuilles adultes et intermédiaires	305	44.31	429.87	113.19
Station 2	Feuilles adultes	479	/	197.07	/
	Feuilles intermédiaires	114	/	102.47	/
	Feuilles adultes et intermédiaires	593	/	299.54	/
Station 3	Feuilles adultes	392	/	155.53	/
	Feuilles intermédiaires	110	/	76.27	/
	Feuilles adultes et intermédiaires	502	/	231.8	/

III.IV. ESPÈCES ASSOCIÉES SIGNALÉES DANS LA ZONE D'ÉTUDE

Une grande diversité d'espèces sont associées à l'herbier à Posidonie. Les espèces signalées dans notre zone d'étude sont regroupées selon leur statut de conservation :

Espèces protégées : la grande Nacre (*Pinna nobilis*), Oursin diadème (*Centrostephanus longispinus*), la Cymodocée (*Cymodocea nodosa*).

Espèces menacées et d'intérêt patrimonial : l'astérine d'herbier (*Asterina pancerii*), hippocampes (*Hippocampus hippocampus*).

Espèces d'intérêt commercial : plusieurs espèces de (*Paracentrotus lividus*) vivant à la base des faisceaux foliaires (sous strate sciaphile), dont la taille des individus et leurs colorations diffèrent. (figure III.10-A).

Les principales espèces de l'ichtyofaune associées à l'herbier (Labridae, Sparidae) (*Thalassoma pavo*, *Coris julis* et *Diplodus vulgaris*) (figure III.11).

Espèces bio-indicatrices : *Mytilus galloprovincialis* (Moule méditerranéenne) (figure III.12-E), huitre et éponge.

On cite aussi la présence d'**espèce invasive** *Caulerpa rasémosa* (figure III.13-A).

Les espèces occasionnelles comme la seiche sont : (*Sepia officinalis*), le marbré (*Lithognathus mormyrus*) et les poissons plats.

Les échinodermes sont représentés principalement par l'oursin comestible (*Paracentrotus lividus*), l'oursin noir (*Arbacia lixula*) (figure III.10-B), l'oursin violet (*Sphaerachinus granularis*). L'holothurie (*Holothuria tubulosa*) (figure III.10-D), ainsi que l'ophiure lisse (*Ophioderma longicaudum*) (figure III.10-C).

Quelques espèces vivant dans l'épaisseur de la matre (endofaune) : Mollusques (*Haliotis tuberculata*, *Phorcus turbinatus*) (figure III.12-A et B), Crustacés (des crabes, des pagures, des coquilles).

Différentes algues ont été rencontrés. Les plus représentatifs et remarquables sont :

Rhodophycées (Algues rouges) : *Peyssonnelia squamata* et *Mesophyllum alternans* (figure III.9-C et D).

Fucophycées (Algues brunes) : *Padina pavonica* et *Cystoseira amentacea*.

Chlorophycées (Algues vertes) : *Acetabularia acetabulum* (figure III.13-B) et *Caulerpa racemosa*.

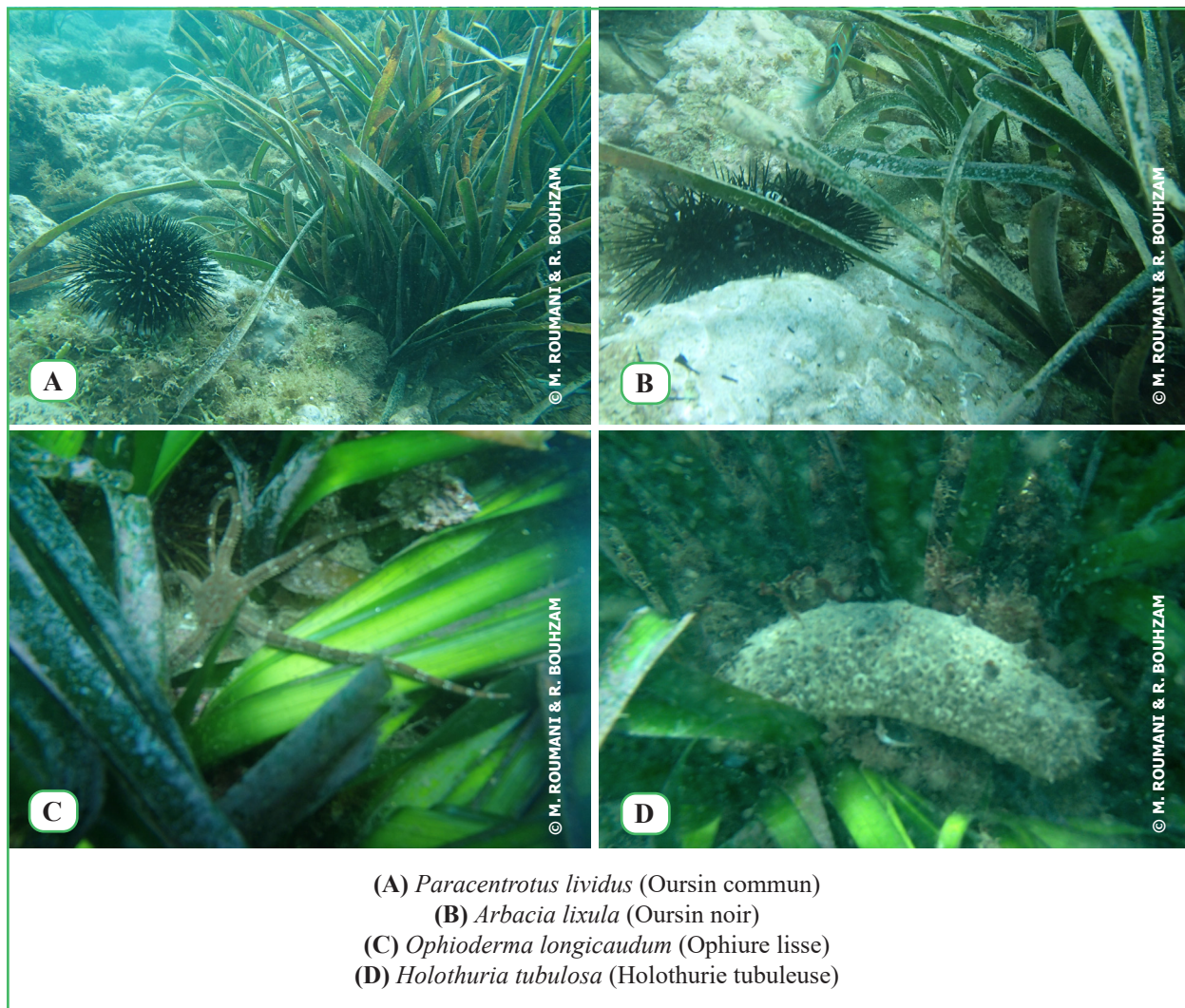


Figure III.10 : Échinodermes observés dans l'herbier étudié

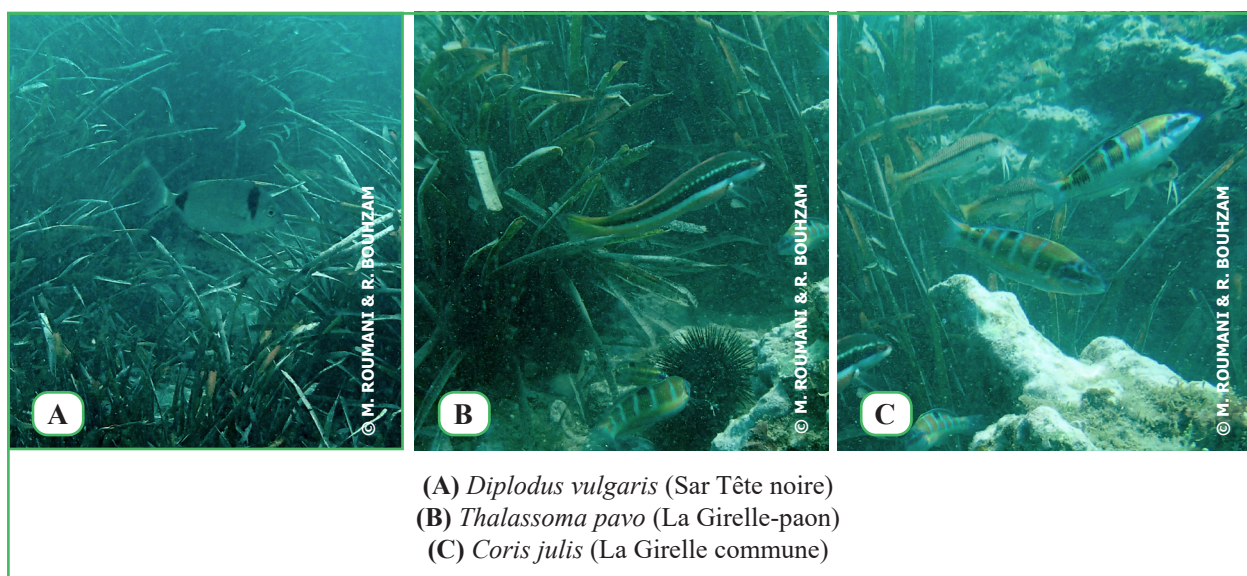


Figure III.11: Poissons observés dans l'herbier étudié

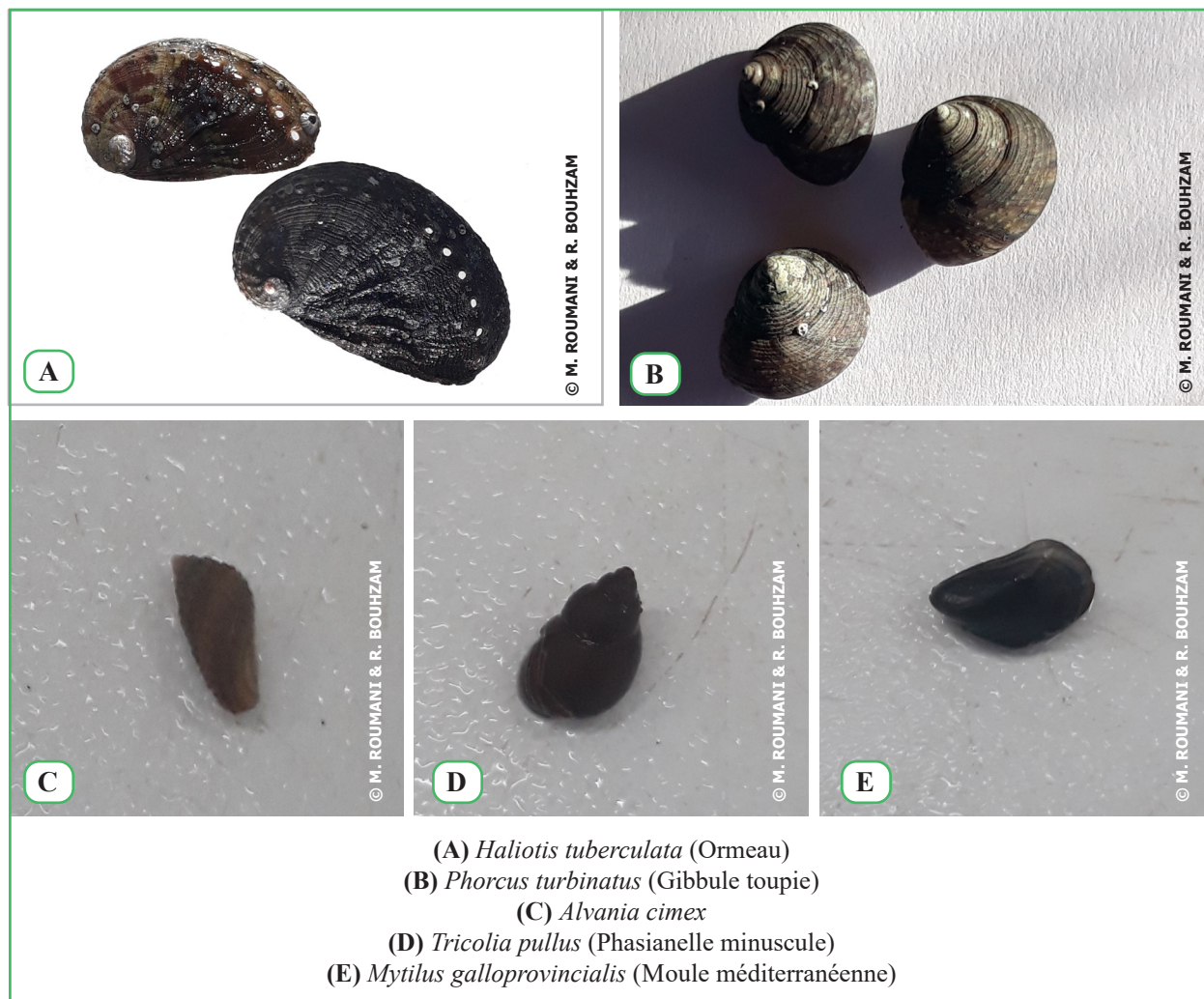


Figure III.12 : Mollusques observés dans l'herbier étudié

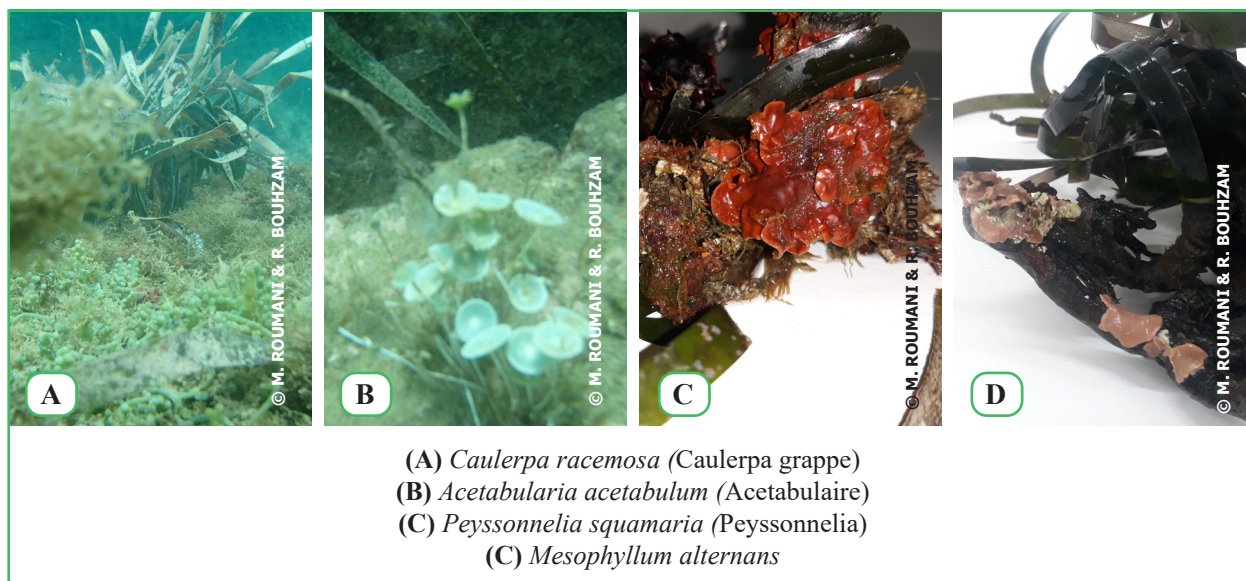


Figure III.13 : La Flore observée dans l'herbier étudié

Tableau III.5: Espèces observées et leur origine biogéographique

Famille	Nom Scientifique	Nom Commun	Origine Biogéographique
Parechinidae	<i>Paracentrotus lividus</i>	Oursin commun	Endémique (Méditerranée)
Arbaciidae	<i>Arbacia lixula</i>	Oursin noir	Cosmopolite
Holothuriidae	<i>Holothuria tubulosa</i>	Holothurie tubuleuse	Atlantico-boréal
Haliotidae	<i>Haliotis tuberculata</i>	Ormeau, oreille de mer	Boréal
Trochidae	<i>Phorcus turbinatus</i>	Gibbule toupie	Endémique (Méditerranée)
Rissoidae	<i>Alvania cimex</i>	/	Atlantico-boréal
Phasianellidae	<i>Tricolia pullus</i>	Phasianelle minuscule	Atlantico-boréal
Mytilidae	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Moule méditerranéenne	Endémique (Méditerranée)
Ophiodermatidae	<i>Ophioderma longicaudum</i>	Ophiure lisse	Endémique (Méditerranée)
Sparidés	<i>Diplodus vulgaris</i>	Sar Tête noire	Indo-pacifique
Sparidés	<i>Thalassoma pavo</i>	La Girelle-paon	Atlantico-boréal
Labridae	<i>Coris julis</i>	La Girelle commune	Endémique (Méditerranée)
Caulerpacées	<i>Caulerpa racemosa</i>	Caulerpa grappe	Lessepsienne (invasive)
Polyphysacées	<i>Acetabularia acetabulum</i>	Acetabulaire	Endémique (Méditerranée)
Peyssonneliacées	<i>Peyssonnelia squamaria</i>	Peyssonnelia	Atlantico-boréal
Mésophyllaceae	<i>Mesophyllum alternans</i>	/	Atlantico-boréal

III.V. NOUVELLE MENACE : *CAULERPA RACEMOSA*

L'herbier étudié est colonisé par *Caulerpa racemosa*, dont l'impact de compétition avec *Posidonia oceanica* pourrait se traduire par une diminution de la densité (Molenaar *et al.*, 2009). La croissance de *C. racemosa* observée au sein des herbiers de *Posidonia oceanica* est grandement affectée par la densité des herbiers. La lisière des herbiers de *P. oceanica* denses et en bonne santé agit comme une bonne barrière contre la colonisation de *C. racemosa*. En revanche, dans les prairies marines clairsemées, ou très clairsemées pendant le développement maximal automnal de *C. racemosa*, l'algue peut établir une canopée dense recouvrir complètement le fond et les rhizomes de l'herbe de mer (Ceccherelli *et al.*, 2000). Ce que nous avons d'ailleurs constaté dans notre zone d'étude.



Figure III.14 : Présence de *Caulerpa racemosa* au niveau de la station 1 étudiée

En 2006, l'ampleur de la propagation de *Caulerpa racemosa* sur les côtes algériennes a été mise en évidence (Ould Ahmed et Meineiz, 2007).

D'après Capiomont *et al.*, 2005 (in Lamouti, 2006) cette espèce, à priori originaire du Sud-Ouest Australien, colonise plusieurs types de fonds (sable, roche, vase, mate morte de 0 à 50m).

Tableau III.6: Présence de *Caulerpa racemosa* à Sidi-Fredj

Auteurs	Profondeurs	Site	Type de fonds
Lamouti, 2006	de 1 à 3 m	Plage de Thalassothérapie	Vase, Sable, Herbiers, déchets solides
Boudaa, 2013	de 1 à 2 m	Plage Ouest	Sable, Roche, déchets solides, matte morte
Bouhzam et Roumani, 2021	de 1 à 5 m	Plage Ouest	Sable, Roche, Herbiers

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail constitue une projection ponctuelle de la vitalité de l'herbier à *posidonia oceanica*, qui aidera à la compréhension et à la préservation de cet écosystème remarquable sur le long terme.

L'objectif principal de cette étude était de caractériser l'herbier à *posidonia oceanica* présent au niveau de la plage ouest de Sidi Fredj, 3 stations sont étudiées en fonction de leur profondeur.

L'herbier à posidonie a été localisé à partir de 2 à 5m de profondeur sous forme de touffes dispersés.

L'herbier à *posidonia oceanica* peut se présenter sous un certain nombre de types morpho-structuraux qui sont liés à l'hydrodynamisme, à la profondeur et/ou à la température des eaux.

Nous avons remarqué que les herbiers étudiés sont des herbiers de plaine.

Sur l'ensemble des relevés effectués dans la zone, la densité moyenne de l'herbier à posidonie est de 263.33 faisceaux/m², qui correspond à un herbier très clairsemés de type IV selon la classification de Giraud, 1977.

Le recouvrement est estimé à environ 48.15%, qui constitue un recouvrement moyen selon la classification de Charbonnel *et al*, 2000.

Une absence totale de rhizomes déchaussés au niveau de la station 1, par contre les quelques touffes existantes au niveau des stations 2 et 3 présentaient un déchaussement.

Il paraît clairement que l'écosystème à posidonie connaît un déséquilibre écologique important qui se traduit par l'abondance de la matte morte et des touffes éparses au niveau des stations 2 et 3.

Les mesures des paramètres biométriques nous ont permis d'avoir des données sur la longueur, la largeur, la surface et le nombre de feuilles par faisceau de posidonie ; ces données permettent dans le cadre d'autres travaux de fin d'étude de constater d'éventuelles modifications progressives ou régressives de notre herbier.

Une hétérogénéité de l'épiphytisme des feuilles à différentes profondeurs gouvernée par la présence des rejets d'eaux usées, ces différences de présence et de biomasses des épiphytes traduisent l'impact direct de la pollution sur les microfaunes et flore qui se fixe sur la feuille de posidonie.

Selon la classification établie par (Pergent-Martini *et al*, 2005), l'herbier de la plage Ouest de Sidi Fredj est en mauvaise état.

Cette importante régression est sous l'effet conjugué des pollutions marines et des aménagements côtiers avec leurs corollaires qui modifient le transit sédimentaire.

Cymodocea nodosa à été localisée en amont de l'herbier à posidonie ce qui explique que la cymodocée semble supporter mieux que *posidonia oceanica* les légères dessalures dues aux différents émissaires côtiers.

Une prolifération de *caulerpa racemosa* a été observé dans notre zone d'étude sur substrat sableux et sableux rocheux et exerce une forme de compétition sur l'herbier à posidonie.

La présence de l'espèce invasive *Caulerpa racemosa*, qui a tendance à coloniser les écosystèmes perturbés traduisant une réduction de la flore algale autochtone (Klein 2007). *Caulerpa racemosa* fait partie d'espèces invasives apparues, suite aux changements climatiques et aux effets néfastes de la pollution, dans le bassin méditerranéen (Boudouresque et Verlaque, 2002).

Aujourd'hui plus que jamais, il est clair que pour voir s'accomplir notre vision commune d'un monde où la nature sera appréciée et préservée, il faut multiplier nos études, pas seulement pour protéger ce qui reste mais aussi pour proposer des mesures de restauration de ce qui a été perdu.

En effet en récoltant nos faisceaux nous avons pu constater dans notre zone d'étude la présence importante de jeunes pousses sur des rhizomes de posidonie, ce qui montre un début de reprise ou de reconstitution de ces herbiers probablement pendant ces 2 dernières années de confinement (pandémie mondiale de corona qui touche la planète entière) ce qui met en évidence le rôle de la restauration passive qui encourage « le processus destiné à faciliter la restauration d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit ».

RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Maintenir la mer et le littoral biologiquement vivants est une nécessité économique et écologique, une exigence incontournable pour la continuité des cycles de vie et, par conséquent, un engagement obligatoire de la société actuelle envers les générations futures.

L'écosystème à Posidonie de la plage ouest subit une évolution régressive (il est passé d'un herbier clairsemé à très clairsemé durant les dernières années). Les résultats de la densité et du recouvrement obtenus révèlent une détérioration de l'état de vitalité de ce dernier. Un projet de restauration active implique des moyens matériels et humains importants avec des taux de réussite moyens, notre cas d'étude ne nécessite pas une restauration pareille, pour cela on propose une restauration passive qui est l'un des axes de travail les plus souhaitables pour la restauration des herbiers marins.

La restauration passive au niveau de notre zone d'étude se concentre sur la suppression des nuisances qui ont lancé cette évolution régressive.

Cette dernière s'effectue tout en procédant à l'élimination des rejets agricoles et industriels, la diminution de la pression touristique, le détournement des rejets de thalassothérapie.

L'importance écologique des herbiers de posidonies rend leur régression particulièrement préoccupante. C'est la raison pour laquelle la Posidonie apparaît sur les listes d'espèces menacées, bien que ce ne soit pas l'espèce en elle-même qui soit menacée mais l'écosystème qu'elle édifie (Boudouresque *et al.*, 1994).

Dans une vision globale, pour la pérennité, le maintien et la préservation de cet écosystème remarquable : nous proposons quelques mesures et recommandations :

- Nous proposons l'installation d'un réseau de surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* pour une meilleure gestion de l'écosystème et le suivi à long terme des réseaux de surveillance, ce qui permettra d'appréhender l'état du milieu marin dans les secteurs concernés, et ceux dans le cadre d'autre projet de fin d'étude.
- Balisage de la limite inférieure et supérieure de l'herbier à Posidonie et l'installation de carrés permanents pour permettre plus d'efficacité et de précision pour le suivi de l'herbier.
- Éviter d'effectuer des travaux d'aménagement pendant la saison estivale, saison au cours de laquelle la plante reconstitue ses réserves.
- Répertorier et identifier toutes les sources de pollution et les rejets d'origine industrielles agricole ou domestique dans la plage Ouest de Sidi-Fredj pour mieux gérer.

- Concernant les émissaires urbains domestique, il serait nécessaire d'entreprendre un déplacement de l'émissaire ou sa prolongation au-delà des limites de l'herbier. L'idéal serait d'interdire tout déversement d'eau usée à l'intérieure ou à proximité de l'herbier à Posidonie car, même dans le cas de déversement d'eau douce la déssalure portera préjudice à l'herbier.
- Sensibilisation et vulgarisation du grand et petit public sur l'importance et l'intérêt écologique de l'herbier à Posidonie.

En perspectives, il serait intéressant de :

- Définir les limites inférieures et supérieures des herbiers.
- Élargir les réseaux de surveillances.
- Étudier certains paramètres abiotiques (N, P) caractérisant la plante et son milieu.
- Faire des suivies courantologiques et hydrodynamique, afin d'expliquer le phénomène de l'exportation de la pollution au large.
- Étudier l'impact des perturbations du milieu sur la biodiversité épiphytique.
- Instaurer un réseau de surveillance et de suivi des zones colonisées par l'algue introduite *Caulerpa racemosa*.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

AIT KACI A.D., PAUC H., 1981. Le rôle de l'oued Mazafran dans la sédimentation fine en baie de Bou-Ismaïl. *Pelagos*, 26 (1) : 1-14.

AIT KACI A.D., PAUC H., 1983A. La couverture sédimentaire récente en baie de Bou-Ismaïl. Nature et structure. *Pelagos*, 28 (6) : 203-204.

ALCOVERRO T., CEBRIAN E., BALLESTEROS E., 2001. The Phytosynthetic Capacity Of The Seagrass *Posidonia oceanica* Influence Of Nitrogen And Light. *Journal Of Experimental Marine Biology And Ecology*.

ALCOVERRO T., PEREZ M., ROMERO J., 2004. Importance of within-shoot epiphyte distribution for the carbon budget of seagrasses: the example of *Posidonia oceanica*. *Botanica Marina*, 47 (4): 307-312.

ALCOVERRO T., ROMERO J., DUARTE C.M., LÓPEZ N.I., 1997. Spatial and temporal variations in nutrient limitation of seagrass *Posidonia oceanica* growth in the NW Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 146, 155-161.

AMINOT A., KÉROUEL R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. Ed Ifremer, 336p. ISBN 2-84433-133-5.

ASSO A., 1982. Contribution à l'étude de polluants métalliques chez la moule *Perna perna* (L) dans la région d'Alger. Thèse de 3ème cycle, Univ.Sc.Tech. Languedoc-Monpellier .pp316.

AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J., 1984A. L'herbier de *Posidonia oceanica* et la pollution par le mercure sur le littoral Des Bouches-du-Rhône et du Var (France). *Internationnal Workshop Posidonia oceanica Beds. GIS Posidonie publ.*, 1 :399-406.

B

BALESTRI E., BENEDETTI-CECCHI L., LARDICCI C., 2004. Variability in patterns of growth and morphology of *Posidonia oceanica* exposed to urban and industrial wastes : contrasts with two reference locations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 308 : 1-21.

BALLESTA L., PASQUALINI V., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 2000. Répartition et dynamique de l'herbier à *Posidonia oceanica* le long du littoral de la cote des Albères. *Comptes rendus de l'académie des sciences – Series III – Sciences de la vie.*

BAY D., 1978. Etude in situ de la production primaire d'un herbier de posidonies (*Posidonia oceanica* (L) Delile) de la baie de Calvi –Corse. *Progr. REp. Stn. Oceanogr. Stareso, Univ. Liege, Belg.*, 18 : 6 p non num. +1-251.

- BAY D., 1984.** A field study of the growth dynamics and productivity of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Calvi Bay. *Aquatic Botany*, 20: 43-64.
- BELKHIRIA S., 1992.** Variations saisonnières et spéciation des différents stocks de carbone dans la frondaison de l'herbier de posidonies de la Baie de La Revellata. Mém. de lic. en sci. zool. Univ. Liège 56pp.
- BELL J.D., HARMELIN-VIVIEN M.L., 1982.** Fish fauna of french mediteranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. Community structure. *Tethys*, 10(4), : 337-347.
- BENGRINE L., GUELMANI A., 2007.** L'herbier a *posidonia oceanica* dans la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, 50p.
- BENSLAMA L., 2012.** Dépôts quaternaires et évolution du précontinent Ouest algérois. Thèse de doctorat, spécialité : Géologie marine. USTHB. 95p.
- BLANPIED C., BUROLLET P.F., CLAIREFOND P., SHIMI M.D., 1979.** Cadre géographique et géologique A – Morphologie in *La mer Pelagienne*, Burollet, P F , Clairefond, P et Winnock, E. (Ed), *Géologie Méditerranéenne*, 6, (1), 19-27.
- BONHOMME P., ROYD., BERNARD G., CHARBONNELE., DIVITAIN N., 1999.** Extension de la cartographie des fonds et de l'herbier a *Posidonia oceanica* entre la calanque du Mugel et l'île verte. ADES et GIS posidonie. GIS Posidoniepub.Fr :1-90.
- BOUDAAL., 2013.** Contribution a l'étude des paramètres vitaux de l'herbier a *Posidonia oceanica* dans la plage Ouest de Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, 42p.
- BOUDOURESQUE C.F., 2002B.** Conseiller protection et usage du milieu marin : L'expérience du parc national de port-Cros Anciens élèves École Polytechnique. *Jaune rouge*, 575 :31-35.
- BOUDOURESQUE C.F., 2006.** Préservation et conservation des herbiers a *posidonia oceanica* . Ramonge pub :1-202 ISBN 2-905540-3.
- BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNELE., DIVIACCO G., MEINEZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L., 2006.** Présentation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. Ramonge pub Monaco : 220 p.
- BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., LE DIRÉACH L., RUITTON S., 2007.** Monitoring methods for *Posidonia oceanica* seagrass meadows in Provence and the French Riviera. *Port-Cros natl. Park, Fr.*, 22 : 17-38.
- BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., PERGENT G., SHILI A., VERLAQUE M., 2009.** Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: A critical review. *Bot. Mar.* 52, 395–418.
- BOUDOURESQUE C.F., GIRAUD G., PANAYOTIDIS P., 1980.** Végétation marine de l'île de Port-Cros. XIX. Mise en place d'un transect permanent. *Tr av. sci. Parc nation. Port-Cros, Fr.*, 6: 207-221.

BOUDOURESQUE C.F., JEUDI DE GRISSACA., 1983. L'herbier a *P. oceanica* en Méditerranée : les interactions entre la plante et le sédiment. Journal de la Recherche Océanographique, Fr., 8(2-3) : 99-122.

BOUDOURESQUE C.F., JEUDI DE GRISSAC A., MEINESZ A., 1985A. Un nouveau type d'herbier a *Posidonia oceanica* : l'herbier de Colline .Rapp. P.V. Réunion .Commiss. internation .Explor . Sci. Médit, 29(5) : 173-175.

BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1982. Découverte de l'herbier de posidonie. Cah. Parc Nation. Port-Cros.Fr. 4: 1-79.

BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., LEDOYER M., VITIELLO P., 1994. Les herbiers à Phanérogames marines. Les biocénoses marines littorales de Méditerranée. Synthèse, menaces et perspectives. BELLAN-SANTINI D., LACAZE, POIZAT C. édit., Muséum National d'Histoire Naturelle publ., Fr. : 98-118.

BOUDOURESQUE C.F., PERGENT G., FRANCOUR P., HARMELIN -VIVIEN M., JANGOUX M., MAZZELLA L., PANAYOTIDIS P., PERGENT -MARTINI C., RAMOS-ESPLA R., ROMERO J., SCIPIONE M.B., 1990. Le COST 647 -Posidonia Project. Posidonia Newsletter, Fr, 3 (2) ;27-34.

BOUDOURESQUE C.F., VAN KLAVEREN M.C., VAN KLAVEREN P., 1996. Proposal for a list of threatened or endangered marine and brackish species (Plants, invertebrates, fish, turtles and mammals) for inclusion in appendices I, II and III of the Bern convention. Council of Europe, document S/TPVS96/TPVS48E, 96A : 1-138.

BOUDOURESQUE C.F., VERLAQUE M., 2002. Biological pollution in the Mediterranean Sea : invasive versus introduced macrophytes.Mar. Poll. Bull., 44 : 32-38.

BOUTARENE K., GHANEM N.,2010. Mise en place d'un réseau de surveillance sur la partie marine de la plage Ouest de Sidi Fredj : Macroflore benthique. Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL,577.776.53.

C

CAPIOMONT A., BREUGNOT E., DEN HAAN M., MEINESZ A., 2005. Phenology of a deep-water population of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* in the northwestern Mediterranean Sea. Botanica marina, 48, pp 80-83. doi:10.1515/BOT.2005.006.

CEBRIAN J., ENRIQUEZ S., FORTES M., AGAWIN N., VERMAAT J.E., DUARTE C.M., 1999. Epiphyte accrual on *Posidonia oceanica* (L.) Delile Leaves : Implication for light absorption. Bot. Mar. 42, 123-128.

CECCHERELLI G., PIAZZI L., CINELLI F., 2000. Response of the non-indigenous *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh to the native seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: effect of density of shoots and orientation of edges of meadows. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 243, 227-240.

CHARBONNEL E., BERNARD G., BONHOMME P., ESCOFFIER B., 2000A. 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.

CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., BERNARD G., BONHOMME P., PATRONE J., KRUCZEK R., COTTALORDA J.M., BERTRANDY M.C., FORET P., RAGAZZI M., LE DIREAC'H L., 2000. Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence Alpes-Côte d'Azur. Première partie : présentation et guide méthodologique. Année 2000. Région PACA, Agence de l'Eau RMC, GIS Posidonie, CQEL 13, CQEL 83, Conseil Général 06, GIS Posidonie publ. : 1-76.

CINELLI F., PARDI G., PAPI I., 1995. Plant biology. In: La *Posidonia oceanica*, a contribution to the preservation of a major Mediterranean marine ecosystem. In Revista Marittima: 21-24.

CLAIREFOND ET JEUDY DE GRISSAC., 1979. Description et analyse des structures sédimentaires en milieu marin : recensement de quelques exemples dans l'herbier de posidonies autour de l'île de port-Cros (Parc nationale) .Trav. sci. Parc nation. Port-Cros 5 : 79-104.

CRISTIANI G., 1980. Biomasse et répartition de l'herbier de *Posidonia oceanica* de la Côte Bleue (B. d. Rh. France) et pollution marine par les métaux lourds. Thèse Doct., Univ. Aix-Marseille 3, Fr.: 1-150 + ix pp + 1 carte h.t.

D

DAGORNE A., 1970. Remarques préliminaires sur la sédimentation pré-littorale en Baie de Bou-Ismaïl. Ann. Alger. Géog., 7, 73- 78.

DAUBY P., POULICEK M., 1995. Methods for removing epiphytes from seagrasses : SEM observations on treated leaves. Aquat Bot 52: 217-228.

DE GIOVANI C., 1973. Etude de sédimentologie dynamique a la presqu'île de Sidi Feruch (Ouest d'Alger), thèse de doctorat, Géologie marine et sédimentologie, Univ Aix Marseille, 105p.

DEN HARTOG C., 1970. The seagrasses of the world. Amsterdam, Verh. Kon. Ned. Akad. Wet. Afd. Natuurk. 1-275.

DEN HARTOG C., KUO J., 2006. Taxonomy and Biogeography of Seagrasses . In: A. W. D. Larkum et al. Seagrasses : Biology, Ecology and Conservation. 2006 Springer. Printed in the Netherlands. pp. 1-23.

DUARTE C.M., 2002. The future of seagrass meadows. Environmental conservation, 29 (2): 192-206.

DUTRIEUX E., SARTORETTO S., SCHVARTZ T., THORIN S., 2006. Mise en œuvre du réseau de référence et de l'exercice d'intercalibration (eaux côtières). IFREMER – Agence de l'eau RMC. 139P.

E

EL ASMI-DJELLOULI Z., DJELLOULI A.S., ABDELJAOUED S., 2000.Présentation des herbiers de la baie de Monastir (Tunisie). Proceedings of the first Mediterranean symposium on marine vegetation. RAC/SPA. Publ.Tunis :32-135.

ELKALAY K., FRANGOULIS C., SKLIRIS N., GOFFART A., GOBERT S., LEPOINT G., HECQ J.H., 2003. A model of the seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Bay of Calvi (Northwestern Mediterranean). Ecological Modelling 167 (2003) 1–18.

F

FERANDEZ-TORQUEMADA Y., SANCHEZ-LIZASO J.L., 2005. Effects of salinity on leaf growth and survival of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) delile. Journal of experimental marine biology and ecology. 320 (1) : 57-63.

FRANCOUR P., 1990. Dynamique de l'écosystème a *Posidonia oceanica* dans la parc national de Port Cros. Analyse des compartiments matte, litière, faune vagile, échinodermes et poisson. Thèse. Doct. Océanol., Unive. Paris VI, Fr. : 1-373.

G

GACIA E., DUARTE C.M., 2001. Sediment retention by a Mediterranean *Posidonia oceanica* meadow : the balance beteen deposition and resuspension. Est. Coast. Shelf Sci. 52 :505-514.

GAMBI M.C., Maurizio L., Giovanni F. R., Maria B.Sc., Valerio Z., 1992. Depth and Seasonal Distribution of Some Groups of the Vagile Fauna of the *Posidonia oceanica* Leaf Stratum: Structural and Trophic Analyses. Laboratorio di Ecologia del Benthos, Stazione Zoologica di NAPOLI,punts S.Pietro,J-80077.

GIRAUD G., 1977. Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile. Bot. Mar. 20(8): 487-491.

GIRAUD G., 1977A. Sur une méthode de mesure et de comptages des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille Fr., 39 : 33-39.

GIRAUD G., 1979. Polygone de fréquence de longueur des feuilles de *Posidonia oceanica* (Linnaeus)Delile. Laboratoire de Biologie végétale, U.E.R. des Sciences de la Mer 13288, Marseille cedex 2 France. Rapp. Comm. in. Mer Médit. 25/26,4.

GOBERTS., KYRAMARIOS M., LEPOINT G., PERGENT-MARTINIC., BOUQUEGNEAU J.M., 2003. Variations at different spatial scales of *Posidonia oceanica* (L.) Delile beds; effects on the physico-chemical parameters of the sediment.. *Oceanologica Acta*.

GRAVEZ V., GÉLIN A., CHARBONNEL E., FRANCOUR P., ABELLARD O., EEMONNAY L., 1995. Surveillance de l'herbier de Posidonie de la baie du Prado (Marseille). Deuxième phase. Suivi 1995. Ville de Marseille & GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., Fr.: 1-56.

H

HARLIN M.M., 1980. Seagrass epiphytes. In : *Handbook of seagrass biology. An ecosystem perspective* R.C. Phillips, C.P. Mc Roy. Edit. Garland STPM Press 117-151.

I

IFREMER, 2007. Directive Cadre Eau: Mise en oeuvre du contrôle de surveillance - résultats de la campagne 2006 - district Corse. Rapports : Rapport de recherche externe. RST.DOP/LER-PAC/07-29. 144p.

J

JORDÀ G., MARBÀ N., DUARTE C.M., 2012. Mediterranean seagrass vulnerable to regional climate warming. *Nature Climate Change* volume 2, pages 821–824 (2012).

K

KADARI-MÉZIANE Y., 1994. Contribution à l'étude de l'impact de la pollution sur la distribution spatio-temporelle des peuplements phytobenthiques dans la baie de Bou-Ismaïl (Algérie). Thèse Magister ENS, Alger.

KLEIN J., 2007. Impact de *Caulerpa racemosa* var. *Cylindracea* (Caulerpale, Chlorophyta) sur les communautés macrophytiques en Méditerranée nord-occidentale. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille II, France. 315pp.

L

LACAZE J.C., 1993. La dégradation de l'environnement côtier : Conséquences écologiques. Edit. Masson, Paris, 130p.

LALAMI-TALEB R., 1970. Facteurs de répartition verticale du phytoplancton au large d'Alger. Thèse de doct. 3ème cycle en biologie, Université d'Alger. 168p.

LAMOUTI S., 2006. Essai de cartographie des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la zone du PAC (Plage de Thalassothérapie Sidi Fredj). Mémoire d'Ingénieur, Option : Environnement Marin. ISMAL. p41.

LECLAIRE L., 1972. La sédimentation Holocène sur le versant méridional Algéro-Baléaire. Thèse Doct, Univ.Paris, 382p.

LE GALL J.Y., 1969. Étude de l'endofaune des pelouses de Zostériacées superficielles de la baie de Castiglione (Algérie). *Téthys*, 1 (2): 395-420.

LEONI V., PERGENT G., VELA A., PERGENT-MARTINI C., 2006. Étude finale de faisabilité pour la réutilisation des banquettes de feuilles de *Posidonia oceanica* : du ramassage au recyclage – PORIME. Rapport d'Activité 2005/2006 – Région Corse. Programme INTERREG IIIA Sardaigne / Corse/ Toscane, Gis Posidonie Edit. 1-41.

LEPOINT G., HAVELANGE S., GOBERT S., BOUQUEGNEAU J.M., 1999. Fauna vs flora contribution to the leaf epiphytes biomass in a *Posidonia oceanica* seagrass bed (Revellata Bay, Corsica). *Hydrobiologia*, 394: 63-67.

M

MARBÀ N., DUARTE C.M., 2010. Mediterranean warming triggers seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot mortality. *Global change biology*, vol. 16: 2366-2375.

MAZZELLA L., GAMBI M.C., RUSSO G.F., WITTMANN K.J., 1983. Flowering in *Posidonia oceanica* Delile prairies around the island of Ischia (Gulf of Naples). *Rapport Commission International Mer Méditerranée* 28 (3), 117e119. McMillan, C., 1981. Seed reserves and seed germination for two seagrasses, *Halodule wrightii* and *Syringodium filiforme*, from the Western Atlantic. *Aquatic Botany* 11, 279e296.

MARBÀ N., DUARTE C.M., 2010. Mediterranean warming triggers seagrass (*posidonia oceanica*) shoot mortality. *Global change biology*, vol. 16: 2366-2375.

MAZZELLA L., GAMBI M.C., RUSSO G.F., WITTMANN K.J., 1983. Flowering in *Posidonia oceanica* Delile prairies around the island of Ischia (Gulf of Naples). *Rapport Commission International Mer Méditerranée* 28 (3), 117e119.

MEZALI K., 1998. Contribution à la systématique, la biologie, l'écologie et la dynamique de cinq espèces d'holothuries aspidochirotes [*Holothuria* (*Holothuria*) *tubulosa*, *Holothuria* (*Lessonothuria*) *polii*, *Holothuria* (*Holothuria*) *stellati*, *Holothuria* (*Panningothuria*) *forskali* et *Holothuria* (*Platyperona*) *sanctori*] de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L) Delile de la Presqu'île de Sidi-Fredj. Thèse Magister. Alger, Algérie : ISMAL.

MOLENAAR H., MEINESZ A., THIBAUT T., 2009. Alterations of the structure of *Posidonia oceanica* beds due to the introduced alga *Caulerpa taxifolia*. *scimar* [Internet]. 2009Jun.30 [cited 2021Oct.30];73(2):329-35.

MOLINIER R., PICARD J., 1952. Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. Océanogr.* 27(3) : 157-234.

MOLINIER R., PICARD J., 1952. Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. Ann. Inst. Océanogr. 27(3) : 157-234.

MONTEFALCONE M., PARRAVICINI V., VACCHI M., ALBERTELLI G., FERRARI M., MORRI C., BIANCHI C.N., 2010. Human influence on seagrass habitat fragmentation in NW Mediterranean Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science 86, 292-298.

MOUHOUB R., 1986. Contribution à l'étude de la biologie et de la dynamique de la population exploitée de la sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) des côtes Algéroises. Thèse de Magistère, USTHB. Alger. 163 p.

N

NAIMI M., BELLAHCENE., 2012. Surveillance de l'herbier a *Posidonia oceanica* au niveau du récif barrière de kouali. Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, 52p.

O

OTT J.A., 1980. Growth and production in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Mar, Ecol., PZSN 1 (1) : 47-64.

OULD-AHMED N., MEINESZ A., 2007. First record of the invasive alga *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) on the coast of Algeria. Cryptogamie, Algologie 28 (3) : 303-305.

P

PANAYOTIDIS P., BOUDOURESQUE C.F., MARCOT-COQUEUGNIOT J., 1981. Microstructure de l'herbier à *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. Bot. mar. 24(3): 115-124.

PEIRANO A., NICCOLAI I., MAURO R., BIANCHI C.N., 2001. Seasonal grazing and food preference of herbivores in a *Posidonia oceanica* meadow. Sci. Mar. 65, 367-374.

PERES J.M., 1984. La régression des herbiers a *Posidonia oceanica*. International Workshop *Posidonia oceanica* Beds. GIS Posidonie Publ. Fr. 1 : 455-454.

PERES J.M., PICARD J., 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer méditerranée. Recueil des Travaux de la Station marine d'Endoume, 31 (47), 5-137.

PERGENT C., 1987. Recherches Lépidochronologiques chez *Posidonia oceanica* (Potamogetonaceae). Fluctuations des paramètres anatomiques et morphologiques des écailles des rhizomes. Thèse Doct. Univ. Aix-Marseille II, France 1-853.

PERGENT G., 1991b. Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en Méditerranée. Oceanis 17(4), 341-350.

PERGENT G., 1993. L'herbier à *Posidonia oceanica* (L)Delile. Approche sturcturale, fonctionnelle et appliquée. Diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches, Univ. Corse, Fr. 1-141.

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 ; Mémoire d'accord N° 21/2007/RAC/SPA/MedPosidonia Nautilus-Okianos : 24p +Annexes.

PERGENT G., BOUDOURESQUE C.F., GUILLAUME B., ABDESSALEM S., CHARLES F., MARC V., 2009. Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress : a critical review. *Botanica marina*, 52 : 395-418.

PERGENT G., LEONARDINI R., LOPEZYROYO C., MIMAUT B., PERGENTMARTINI C., 2008. Mise en œuvre 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., Corse : 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. *Aquatic Botany*, 42: 49-66.

PERGENT G., PERGENT MARTINI C., 1995. Indicateurs biologiques : Posidonies. In : Etat des connaissances opérationnelles sur la contamination et les indicateurs de pollution chimique toxique du milieu marin. Résumé des contributions. IARE publ., Fr.: 123-135.

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: 3-29.

PERGENT-MARTINI C., 1994. Impact d'un rejet d'eaux usées urbaines sur l'herbier à *Posidonia oceanica*, avant et après la mise en service d'une station d'épuration. Thèse Doctorat, Univ. Corté, Fr.: 1-191.

PERGENT-MARTINI C., PASQUALINI V., PERGENT G., 1995. Monitoring of the *Posidonia oceanica* meadow in proximity of the sea outfall from the sewage treatment plant at Marseille (Mediterranean, France). *EARsel Publications Advances in Remote Sensing*, 4: 128–134.

PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., 1996. Spatio-temporal dynamics of *Posidonia oceanica* beds near a sewage outfall (Mediterranean- France). In: Kuo J., Phillips R.C., Walker D.I., Kirkman H. edits. *Seagrass Biology: Proceedings of an International Workshop*. Univ. Western Australia publ.: 299-306.

PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., 2010. Propositions de lignes directrices pour la standardisation des méthodes de cartographie et de surveillance des magnoliophytes marines en Méditerranée. PNUE-PAM-CAR/ASP, Contrat N°72/2009, Tunis :1 – 66.

PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., CLABAUT P., MIMAULT B., PASQUALINI V., 2005. Mise en œuvre d'un réseau de surveillance Posidonies le long de littoral de la Corse. Deuxième phase : Porto-Vecchio / Ajaccio. Contrat office de l'environnement de la Corse et GIS Posidonie Centre de Corse, GIS Posidonie, Publ., Cort : 1.133.

PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., GASAZZA G., LOPEZ C., ROYO Y., 2010. A biotic index using the seagrass *Posidonia oceanica* (BiPo), to evaluate ecological status of coastal waters. *Ecological Indicators*, March 2010, Pages 380-389.

PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., ROMERO J., MATEO M.A., BOUDOURESQUE C.F., 1994. Primary production stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 106, 139-146.

PHILLIPS R.C., MENEZ E.G., 1988. Seagrasses. *Smithsonian Contributions to the Marine Sciences*, Number 34.

PLATINI F., 2000. La protection des habitats aux herbiers en Méditerranée. Rapp, PNUE, PAM, CAR/ASP edit : 65P.

R

RICO- RAIMONDINO V., 1995. Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers a *Posidonia oceanica*. Thèse Doctorat Ecologie Univ. Aix Marseille II, Fr : 10 p non num.

ROBERT P., 1988. Étude du régime thermique des principales biocénoses marines benthiques du parc national du Port-Cros (Var, France). Diplôme de recherche universitaire, Univ. Aix Marseille II, Fr : 1-209.

ROMERO J., 1989. Première données sur la production primaire d'un herbier de *Posidonia oceanica* en Méditerranée occidentale (cotes catalanes). Rapp. P.V. Commiss. Internation. Explor. Sci. Médit., Monaco, 28(3) : 129-130.

ROMERO J., PERGENT G., PERGENT MARTINI C., MATEO M.A., REGNIER C., 1992. The detritic compartment in a *Posidonia oceanica* meadow : litter features, decomposition rate and mineral stocks . *Mar. Ecol., PSZN* 13(1) : 69-83.

ROMERO-MARTINENGO J., 1985. Estudio ecológico de las Fanerógamas marinas de la costa catalana: producción primaria de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en las islas Medes. Tesis Doct., Univ. Barcelona, Spain: 1-261.

RUIZ J.M., ROMERO J., 2001. Effects of in situ experimental shading on the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine ecology series.* 2015 : 107-120.

RUIZ J.M., ROMERO J., 2003. Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Pollut. Bull.* 46, 1523-1533.

T

TANNER K., ALLEN D., 2005. Approaches to Biology Teaching and Learning: Understanding the Wrong Answers— Teaching toward Conceptual Change. *Cell Biology Education*, 4, 112-117.

TAVOSO M.A., 1997. La convention de Barcelone pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution et le développement durable .UNEP publ., Athens. MAP technical reports séries., 117 :1-102.

TELESCA L., BELLUSCIO A., CRISCOLI A., ARDIZZONE G., APOSTOLAKI E.T., FRASCHETTIS., GRISTINAM., KNITTWEIS L., MARTIN C.S., PERGENT G., ALGANA A., BADALAMENTI F., GAROFALO G., GERAKARIS V., LOUISE PACE M., PERGENT MARTINI C., SALOMIDI M., 2015. Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific reports volume 5*, article number : 12505 (2015). Published : 28 July 2015.

THELIN I., BOUDOURESQUE C.F., 1983. Longévité des feuilles de *Posidonia oceanica* dans un herbier superficiel de la baie de Port –Cros (Var, France). *Laboratoire d'écologie du benthos et de biologie végétale marine, faculté des sciences de luminy, B.P.901. F- 13288.*

V

VERLAQUE M., 1987. Contribution à l'étude du phytobenthos d'un écosystème photophile thermophile marin en Méditerranée occidentale. Étude structurale et dynamique du phytobenthos et analyse des relations Faune -Flore. Thèse Doctorat F-tat Sci. nat. Aix-Marseille 11. Fr : 389 p. 96 pl.+ XXXVI tabi. h. t.

VIZZINI S., SARA G., MICHENER R.H., MAZZOLA A., 2002. The role and contribution of seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile organic matter for secondary consumers as revealed by carbon and nitrogen stable isotope analysis. *Acta oecol.* 32, 277-285.

ANNEXES

ANNEXE 1

Tableau des mesures de densité de l'herbier de la plage ouest de Sidi Fredj

Quadrat	Nb de Faisc./0.04 m ²	Nb de Faisc. /m ²
1	6	150
2	4	100
3	5	125
4	19	475
5	8	200
6	2	50
7	9	225
8	8	200
9	6	150
10	12	300
11	12	300
12	10	250
13	10	250
14	11	275
15	14	350
16	9	225
17	13	325
18	2	50
19	8	200
20	13	325
21	15	375
22	9	225
23	15	375
24	6	150
25	10	250
26	16	400
27	20	500
28	10	250
29	16	400
30	18	450
Moyenne	10.53	263.33
	Ecart-type(1m ²)	118.67
	CV %	45.07

ANNEXE 2

Tableau des mesures de recouvrement de l'herbier de la plage ouest de Sidi Fredj

Mesure	Recouvrement (0 à 9)	Recouvrement %
1	3	33.33
2	7	77.78
3	3	33.33
4	2	22.22
5	2.5	27.78
6	6	66.67
7	3	33.33
8	4	44.44
9	1	11.11
10	1	11.11
11	2.5	27.78
12	3	33.33
13	5	55.56
14	5.5	61.11
15	8	88.89
16	1.5	16.67
17	7	77.78
18	5	55.56
19	3	33.33
20	4	44.44
21	9	100
22	6.5	72.22
23	6	66.67
24	7.5	83.33
25	3.5	38.89
26	1	11.11
27	3	33.33
28	8	88.89
29	5	55.56
30	3.5	38.89
Moyenne	4.33	48.15
	Ecart-type%	25.41
	CV %	52..78

Les herbiers à *Posidonia oceanica* sont devenus, au cours des dernières décennies, un objectif majeur de protection et de gestion du milieu marin en Méditerranée. En effet, ils constituent un élément fondamental pour la qualité des milieux littoraux. Endémiques à la méditerranée, les herbiers à posidonie sont suffisamment présents dans la baie de Bou-Ismaïl pour permettre d'aborder leur étude de vitalité et leurs paramètres phénologiques. Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes intéressés particulièrement à l'état de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la plage Ouest de Sidi-Fredj qui se développe sur un substrat sableux à sableux rocheux. Des mesures de la densité, du déchaussement des rhizomes, de recouvrement et/ou un suivi des paramètres phénologiques a été effectué au niveau de 3 stations, à des profondeurs de 2 à 5m durant l'été 2021. L'herbier de la zone étudiée présente une densité anormalement mauvaise de 263,33 faisceaux/m² ce qui le classe parmi les herbiers de type IV : très clairsemés selon Giraud (1977), Pergent et al. (2008) et Pergent-Martini et al. (2010). Le recouvrement de l'herbier est moyen (48,15%) selon Charbonnel et al. (2000) ce qui explique qu'il est soumis à des conditions de développement défavorables. Aussi les paramètres phénologiques montrent des signes de perturbation compte tenu de la mauvaise vitalité et notamment par la forte présence de l'algue invasive, *Caulerpa racemosa* retrouvée au sein de l'herbier. Par ailleurs, plusieurs espèces associées à l'herbier à posidonie ont été observés dans notre zone d'étude, ce qui met en évidence la diversité encore bonne au sein de l'herbier. Un effort considérable doit être fourni, afin de préserver les herbiers de posidonie des différentes localités de la côte algéroise.

Mots clés : *Posidonia oceanica*, vitalité, densité, phénologie, biodiversité, plage Ouest de Sidi Fredj

In recent decades, *Posidonia oceanica* meadows have become a major objective for the protection and management of the Mediterranean marine environment. Indeed, they constitute a fundamental element for the quality of coastal environments. Endemic to the Mediterranean, *Posidonia* meadows are sufficiently present in Bou-Ismaïl Bay to allow us to study their vitality and phenological parameters. Within the framework of this work, we were particularly interested in the state of the *Posidonia oceanica* meadow on the western beach of Sidi-Fredj, which develops on a sandy to rocky-sandy substrate. Measurements of density, rhizomes loosening, coverage and/or monitoring of phenological parameters were carried out at 3 stations, at depths of 2 to 5m during the summer of 2021. The meadow in the study area has an abnormally low density of 263.33 bundles/m², which classifies it as a type IV meadow: very sparse according to Giraud (1977), Pergent et al. (2008) and Pergent-Martini et al. (2010). The coverage of the meadow is average (48.15%) according to Charbonnel et al. (2000) which explains why it is subject to unfavorable development conditions. Also the phenological parameters show signs of disturbance due to the poor vitality and in particular the strong presence of the invasive algae, *Caulerpa racemosa* found within the meadow. In addition, several species associated with the *Posidonia* meadow were observed in our study area, which highlights the still good diversity within the meadow. A considerable effort must be made to preserve the *Posidonia* meadows in the various localities of the Algerian coast.

Key words : *Posidonia oceanica*, vitality, density, phenology, biodiversity, Western beach of Sidi Fredj

أصبحت مروج *Posidonia Oceanica* ، في العقود الأخيرة ، هدفاً رئيسياً لحماية وإدارة البيئة البحرية في البحر المتوسط. في الواقع، إنهما تشكل عنصرًا أساسياً لنوعية البيئات الساحلية. تنوطن مروج *Posidonia* في البحر الأبيض المتوسط وتتواجد بشكل كافٍ في خليج بو إسماعيل للسماح بدراسة حيويتها ومعاييرها الفينولوجية. في إطار هذه الدراسة، اهتمنا بشكل خاص بحالة مروج *Posidonia oceanica* للشاطئ الغربي لسيدي فرج، والذي يتطور على طبقة رملية إلى رملية صخرية. تم إجراء قياسات الكثافة، وتباعد الجذور، والتغطية و/أو مراقبة المعايير الفينولوجية في 3 محطات، على أعماق تتراوح من 2 إلى 5 أمتار خلال صيف عام 2021. كثافة مرج المنطقة المدروسة ضعيفة بشكل غير طبيعي و تبلغ 263,33 حزمة / متر مربع والذي تصنفه بين مروج من النوع الرابع: متناثرة جدًا وفقًا لـ (1977) Giraud ، (2008) Pergent et al. و (2010) Pergent-Martini et al. . يبلغ معدل تغطية المرج (48.15%) وفقًا لـ (2000) Charbonnel et al. وهو ما يفسر سبب تعرضها لظروف تنمياوية غير ملائمة. كما تظهر المعايير الفينولوجية علامات اضطراب نظرًا لضعف الحيوية وخاصة بسبب الوجود القوي للطحالب البحرية المتجاثرة، *Caulerpa racemosa*، الموجودة في المرج. بالإضافة إلى ذلك، لوحظت العديد من الكائنات البحرية المرتبطة بمروج *Posidonia* في منطقة دراستنا ، مما يسלט الضوء على التنوع البيولوجي داخل المرج. يجب بذل جهد كبير من أجل الحفاظ على مروج *Posidonia* في مختلف مناطق ساحل الجزائر العاصمة.

الكلمات المفتاحية: *Posidonia oceanica*، الحيوية، الكثافة، الفينولوجيا، التنوع البيولوجي، الشاطئ الغربي لسيدي فرج