

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للعلوم 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 de Master II en Sciences de la Mer
Option : Environnement

Thème :

Contribution à l'étude des paramètres vitaux de
l'herbier à *Posidonia oceanica*
dans la plage Ouest de Sidi Fredj

Présenté par : Mlle BOUDAA LYDIA

Soutenu : Le 24 Octobre 2013, devant le jury composé de :

Mme. HAMDIS	Maitre conférence	Présidente
Mme. GHALMI R.	Maitre assistante A	Promotrice
Mme. HENDA A.	Maitre assistante A	Examinatrice
Mme. MAHDID.S	Maitre assistante A	Examinatrice

Promotion 2013

Remerciement

Avant tout, je remercie notre dieu, Allah, le Miséricordieux, l'Unique, le Puissant pour le courage, la protection et la volonté qui m'a donné pour réaliser ce modeste travail.

Je tiens à remercier M^{me} GHALMI R, ma promotrice pour avoir dirigé ce travail et pour l'aide scientifique et morale qu'elle a su m'apporter tout au long de son élaboration.

Je remercie également Mme HAMDI, Mme HENDA.A, Mme MAHDID.S, qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir constituer mon jury de thèse.

Un grand merci à M^{me} EDDALIA N, M^{me} OUNADI F et Mr BOUDJELAL Y, et à tout le personnel du laboratoire de recherche de SIDI FREDJ de l'ENSSMAL pour leurs aides.

Je présente mes remerciements au club de plongé de la Thalassothérapie ainsi qu'à mon frère pour leur aide sur le terrain.

Je tiens à remercier aussi le laboratoire de la police scientifique de châteaux neuf.

Mes vifs remerciements vont aussi à toutes les personnes et les amis qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

BOUDAA Lydia

Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents à mes frères et à ma sœur. Je remercie tout mes proches pour leurs soutiens et leurs confiances, sans eux ce travail n'aurait pas pu voir le jour.

BOUDAA Lydia

Liste des figures

Figure I.1: Aspect générale de l'herbier à Posidonie (îles Baléares, Espagne)	03
Figure I.2: Les différents éléments constitutifs de <i>Posidonia oceanica</i>	04
Figure I.3: Arrangement caractéristique des rhizomes de <i>Posidonia oceanica</i>	05
Figure I.4 : Morphologie de <i>Posidonia oceanica</i>	06
Figure I.5 : Floraison de <i>Posidonia oceanica</i>	06
Figure I.6 : Fruit de <i>Posidonia oceanica</i>	06
Figure I.7 : Distribution géographique de <i>Posidonia oceanica</i> en Méditerranée	07
Figure I.8 : Feuilles de <i>P. oceanica</i> atteignant la surface de l'eau	10
Figure I.9 : Présentation des différents types de limite inférieure de l'herbier de Posidonie.....	11
Figure II.1 : Situation géographique et localisation de la presque île de Sidi Fredj.....	14
Figure II.2: Photos de la plage Ouest de Sidi Fredj lors de notre sortie.....	15
Figure II.3: Déchets solides, rejets d'eau usée, éboulis dans la plage ouest de Sidi Fredj	15
Figure II.4: Localisation des 10 stations dans la plage Ouest de Sidi Fredj (Google Earth ,2012).....	15
Figure II.5 : Quadra de 30 et de 50 cm de côté	17
Figure II.6: Illustration des travaux d'estimation de la densité de l'herbier à Posidonie	17
Figure II.7: Mesure du déchaussement des faisceaux de Posidonie	19
Figure II.8: Estimation du recouvrement de l'herbier à <i>P.oceanica</i> en plongée	20
Figure II.9: Dissection phénologique de <i>Posidonia oceanica</i>	21
Figure II.10: Les travaux de mesures des paramètres biométriques	23
Figure III.1: Enfouissement des feuilles sous le sédiment	27
Figure III.2: Déchaussement des rhizomes	27

<u>Figure III.3:</u> <i>Nanozostera noltii</i>	28
<u>Figure III.4:</u> Fleurs de <i>Cymodocea</i>	28
<u>Figure III.5:</u> Algues rouges associées à l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	28
<u>Figure III.6:</u> Algues brunes associées à l'écosystème à <i>Posidonia oceanic</i>	28
<u>Figure III.7:</u> Algues vertes associées à l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	29
<u>Figure III.8:</u> Faune associée à l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	29
<u>Figure III.9 :</u> Faune ichtyologique associée à l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	30
<u>Figure III.10:</u> Histogramme de comparaison des concentrations moyennes en mercure (Hg), Plomb (Pb), Zinc (Zn) en µg/g P.S dans les sédiments de nos zones d'études avec des études antérieures dans le littoral Algérien.....	37
<u>Figure III.11:</u> Histogramme de comparaison des concentrations moyennes en mercure (Hg), Plomb (Pb), Zinc (Zn) en µg/g P.S dans les rhizomes de posidonie de nos zones d'études avec des études antérieures dans le littoral Algérien.....	38
<u>Figure III.12:</u> Histogramme de comparaison des concentrations moyennes en mercure (Hg), Plomb (Pb), en µg/g P.S dans les gonades des oursins de nos zones d'études avec des études antérieures dans le littoral Algérien.....	38
<u>Figure III.13:</u> Histogramme de comparaison des concentrations moyennes en Zinc (Zn) ,en µg/g P.S dans les gonades des oursins de nos zones d'études avec des études antérieures dans le littoral Algérien.....	39
<u>Figure III.14:</u> Recul de la limite supérieure de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> (Selon Boutarene et Ghanem 2010).....	40

Liste des tableaux

<u>Tableau 1</u> : Classification de la magnioliophyte marine <i>Posidonia oceanica</i> (Kuo et Den Hartog, 2001).....	03
<u>Tableau 2</u> : Coordonnées géographiques en degré décimaux des stations.....	16
<u>Tableau 3</u> : Classification de l'herbier de Posidonie selon la densité de faisceaux de feuilles au m ²	17
<u>Tableau 4</u> : Echelle de classification du déchaussement de l'herbier de Posidonie.....	19
<u>Tableau 5</u> : Echelle de classification du recouvrement de l'herbier de Posidonie	20
<u>Tableau 6</u> : Valeurs guides pour les métaux lourds (µg/g) par différents pays (ABRCM, 1980).....	25
<u>Tableau 7</u> : Valeurs de l'indice de contamination (Alzieu et al., 1999).....	25
<u>Tableau 8</u> : Classification des herbiers de <i>Posidonia oceanica</i> en fonction de l'état de traces de contamination métallique par le mercure µg/g P.S.....	25
<u>Tableau 9</u> : Estimation moyenne du recouvrement de l'herbier (en pourcentage) dans la zone de la plage Ouest de Sidi Fredj.	31
<u>Tableau 10</u> : Densité moyenne des faisceaux par m ² mesuré après dix jets aléatoires.....	32
<u>Tableau 11</u> : Paramètres phénologiques de <i>Posidonia oceanica</i> au niveau de la plage Ouest de Sidi Fredj...	32
<u>Tableau 12</u> : Biomasse moyenne des feuilles et des épiphytes des feuilles (Plage Ouest, juillet 2013).....	35
<u>Tableau 13</u> : Résultats des mesures des paramètres physico-chimiques.....	35

Sommaire

Introduction	01
---------------------------	-----------

Chapitre I: Généralités

I. Généralité sur la posidonie	03
I.1. Biologie.....	04
I.2. Distribution Géographique.....	07
I.3. Ecologie	08
I. 4. Les différents types d’herbier	09
1. Herbier de plaine.....	09
2. Récif barrière.....	09
3. Herbier de colline.....	10
I.5 Types de limite	11
I.5.1 limite progressive.....	11
I.5.2 limite franche.....	11
I.5.3 limite érosive.....	11
I.5.4 limite régressive	11
I.6 Flore et faune associée.....	11

Chapitre II : Matériel et méthodes

II.1.Présentation de la zone d’étude	14
II.1.1. La presque île de Sidi Fredj	14
II.1.2. Littoral Ouest de Sidi Fredj.....	14
II.1.3. Plage Ouest de Sidi Fredj.....	14
II.1.4.Sources de pollution.....	15
II.1.5. Secteur étudié.....	15
II.2. Sortie en mer	16

II.3. Matériel utilisé	16
II.4. Observations effectuées	16
II.4.1. Etat de vitalité et dynamique de l’herbier	16
A. Mesure de la densité de l’herbier	16
B. Mesure du déchaussement des rhizomes	18
C. Estimation visuelle du taux de recouvrement	19
II.4.2. Etudes associées.....	20
II.4.2.1. Biométrie foliaire	20
II.4.2.2. Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles	22
II.5. Traitements statistiques utilisés	23
II.5.1 Moyenne arithmétique	23
II.5.3. Intervalle de confiance pour une moyenne	24
II.6. les mesures In situ des paramètres physico-chimiques	24
II.7. Mesure des métaux lourds	24
II.7.1. Protocole	24
II.7.2. Les valeurs guides	24
II.7.3. Indice de contamination IC.....	25
II.8. Prise de Photographie et identification des espèces	26

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Description de l’herbier	27
III.2. Faune et flore associée	28
III.2.1. Flore	28
III.2.2. Faune.....	29
III.3. Les paramètres vitaux de l’herbier à Posidonie.....	31
III.3.1. Estimation du recouvrement.....	31
III.3.2. Estimation de la densité	32
III.3.3. Déchaussement des rhizomes	32
III.4. Paramètres biométriques.....	33
III.4.1. Nombre de feuilles par faisceau	33
III.4.2. Longueur des feuilles	34

III.4.3. Largeur des feuilles	34
III.4.4. Le coefficient A.....	34
III.4.5. Surface foliaire	34
III.4.6. Indice foliaire	35
III.5. Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles	35
III.6. Paramètres physico-chimiques	35
III.7. Les éléments en trace métallique.....	36
III.7.1. Résultats des analyses	36
III.7.1.1. Compartiment sédiment	36
III.7.1.2. Matrice biologique.....	37
A. Compartiment Posidonie.....	37
B. Compartiment Oursin.....	38
Conclusion.....	39
Conclusion Générale.....	41
Perspectives et Recommandations	43
Bibliographie	
Annexes	

Introduction

Introduction

La Posidonie, *Posidonia oceanica*, et les prairies (“herbiers”) qu’elle constitue sont devenues, au cours des dernières décennies, un objectif majeur de protection et de gestion du milieu marin en Méditerranée. (**Boudouresque, 2003**).

En effet, les herbiers à *P. oceanica* constituent un élément fondamental pour la qualité des milieux littoraux (**Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Videau et Merceron, 1992**), qui est à la base de la pêche artisanale et du développement du tourisme.

La protection et la conservation des herbiers à *P. oceanica* se justifient donc non seulement en raison de leur très grande valeur patrimoniale, mais aussi pour des raisons économiques. Elle constitue donc une illustration exemplaire de la notion de développement durable, issue du Sommet de Rio de Janeiro, en 1992 (**Boudouresque, 2003**).

La mise en place et le suivi des réseaux de surveillance est donc une démarche nécessaire pour une gestion rationnelle et intégrée de l’environnement marin et littoral.

Plusieurs descripteurs vitaux de l’herbier à *Posidonia oceanica* qui sont généralement utilisés dans le suivi de l’herbier sont essentiels pour la description de l’état de santé de *Posidonia oceanica* et l’écosystème qu’elle constitue.

Objectif :

Le présent travail consiste à l’étude de paramètres vitaux qui nous renseignent sur l’état de santé de l’herbier à *Posidonia oceanica* dans la plage Ouest de Sidi Fredj qui connaît de fortes activités anthropiques surtout en saison estivale.

Ces mesures constituent une représentation ponctuelle des paramètres vitaux de *Posidonia oceanica* soit : le recouvrement et la densité de l’herbier , le déchaussement des rhizomes, ainsi que des paramètres biométriques , qui pourront servir comme données qui aideront à l’appréciation de l’évolution et des modifications de la vitalité de cet herbier dans cette zone très sensible.

Cette approche biologique, de l’étude du milieu marin, tend à renforcer au fur et à mesure la prise en considération de la notion d’écosystème qui a désormais sa place dans les réseaux d’observation des cours d’eau, mais cherche encore sa voie en milieu marin.

Introduction

Nous avons compléter ce travail par des mesures physico-chimiques et des mesures d'éléments métalliques (métaux lourds), afin de faire un état des lieux de l'impact de la pollution sur l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans cette zone, en considérant la Posidonie comme un bio-indicateur de la contamination métallique. (**Pergent-Martini & Pergent, 2000 ; Campanella *et al.*, 2001 ; Ferrat *et al.*, 2001**).

Ce travail est divisé en trois parties ; le premier chapitre est consacré aux généralités, le deuxième chapitre traite des moyens matériels utilisés, et des méthodes et protocoles appliqués pour les différentes mesures.

Le troisième chapitre est consacré à la description de l'écosystème à *Posidonia oceanica* et aux différents résultats et interprétations des mesures des paramètres vitaux et les concentrations en éléments métalliques, ainsi que l'étude des paramètres physico-chimiques.

Chapitre I :

Généralités

I. Généralité sur la posidonie :

La Posidonie *Posidonia oceanica* (L.) Delile (**figure I.1**), souvent dénommée « algue » dans le vocabulaire local, est une plante à fleurs sous-marine endémique de la Méditerranée.



Figure I.1 : Aspect générale de l’herbier à Posidonie (îles Baléares, Espagne)

Elle a été décrite par Linné en 1735 comme étant l’espèce dans son « systema Naturae » l’appelant *Zostera oceanica*. En 1813 Delile la renomme, *Posidonia oceanica*, d’où son nom complet ***Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile** selon la nomenclature binomiale (**Tableau 1**)

Tableau 1 : Classification de la Magnoliophyte marine *Posidonia oceanica* (Kuo et Den Hartog, 2001).

Phylum : Chorophyta
Embranchement : Magnoliophyta
Classe : Liliopsida
Sous-classe : Alismatidae
Ordre : Potamogetonales
Famille : Posidoniacea
Genre : *Posidania*
Espèce : *oceanica*

L’herbier de Posidonie est considéré comme un écosystème pivot du littoral méditerranéen, abritant à plusieurs niveaux (matte, feuilles, canopée) et au cours des saisons, de nombreuses espèces à divers stades de développement (**Molinier & Picard, 1952 ; Boudouresque & Meinesz, 1982**).

Pourtant, dans de nombreux secteurs du littoral méditerranéen, les herbiers de Posidonie ont connu de fortes régressions en raison d'un grand nombre de facteurs: aménagements côtiers (emprises directes, modifications de l'hydrodynamisme et de la sédimentation), pollutions (hydrocarbures, pesticides, métaux lourds, matière organique, matières en suspension, macro déchets), ancrages et toutes les pratiques pouvant provoquer un arrachage de feuilles ou de faisceaux de Posidonie (**Boudouresque & Meinesz, 1982 ; Peres,1984**)

I.1.Biologie :

Cette plante se présente sous la forme de faisceaux de feuilles situés à l'extrémité d'axes végétaux, appelés rhizomes (**figure I.2**). 4 à 8 feuilles de 20 à 80 cm de longueur et de 1 cm de largeur environ composent généralement le faisceau de feuilles.

Les rhizomes croissent verticalement ou horizontalement en fonction de différents facteurs (lumière, espace disponible, apports sédimentaires) et peuvent constituer de grandes prairies sous-marines « les herbiers » lorsque les conditions de milieu sont favorables.

C'est grâce à la croissance de ces rhizomes que les herbiers peuvent se reconstituer dans des zones où ils avaient été dégradés. Toutefois, la croissance des rhizomes est très lente : 3 à 6 cm au maximum par an pour les rhizomes horizontaux (**Caye, 1980 ; Molenaar, 1992**).

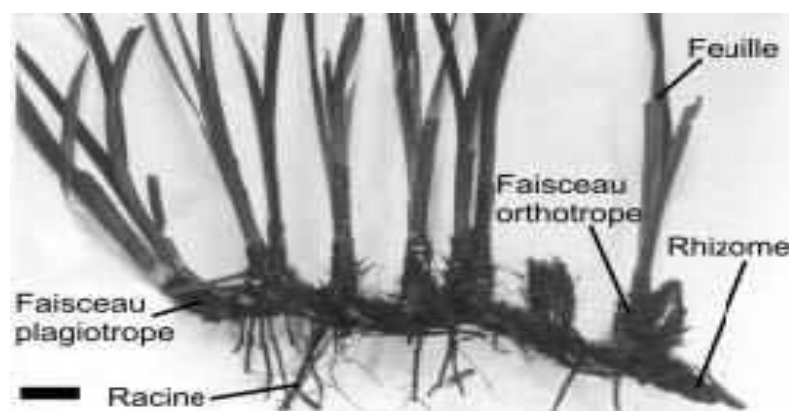


Figure I.2 : Les différents éléments constitutifs de *Posidonia oceanica*.
(D'après **Boudouresque & Meinesz, 1982**).

L'enchevêtrement des rhizomes verticaux et horizontaux, ainsi que des racines qui poussent sur les rhizomes compose une structure relativement solide et cohésive, la matte (Figure I.3). La matte sert d'ancrage à l'herbier mais joue également un rôle significatif dans la stabilisation des fonds.

Cette matte peut atteindre 8 m d'épaisseur, à raison d'une croissance verticale de un mètre par siècle. (**Molinier & Picard, 1952**)

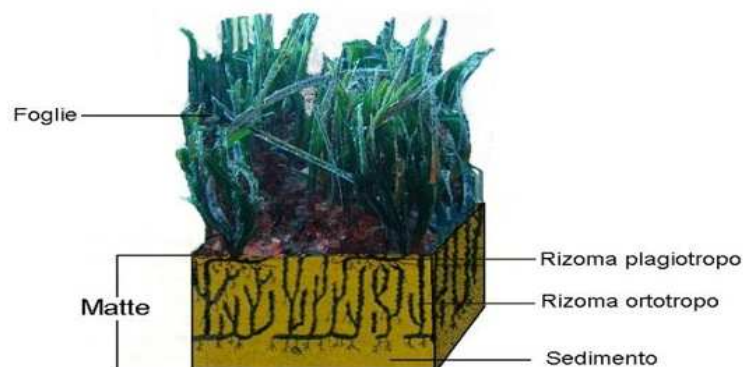


Figure I.3 : Arrangement caractéristique des rhizomes de *Posidonia oceanica* (D'après **Boudouresque & Meinesz, 1982**).

De nouvelles feuilles se forment toute l'année. Elles vivent entre cinq et huit 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 cinq centimètres de longueur et feuilles intermédiaires les feuilles de plus de cinq centimètres sans gaine basale (pétiole).

Lorsque la croissance est terminée, une gaine basale se met en place : la feuille est alors dite adulte (**Fig. I.4**).

A leur mort, les feuilles ne se détachent pas en totalité : seul le limbe est caduc, tandis que la gaine basale (pétiole), de quelques centimètres de longueur, reste fixée au rhizome. On lui donne alors le nom d' « écaille » (**Fig. I.4**).

La chute des feuilles, comme leur formation, se produit tout au long de l'année (**Pergent & Pergent-Martini, 1991**).

Les écailles (comme les rhizomes) sont peu putrescibles et se conservent donc pendant plusieurs siècles ou millénaires. Toute une série de paramètres des écailles (longueur, épaisseur, anatomie) varie de façon cyclique le long d'un cycle annuel.

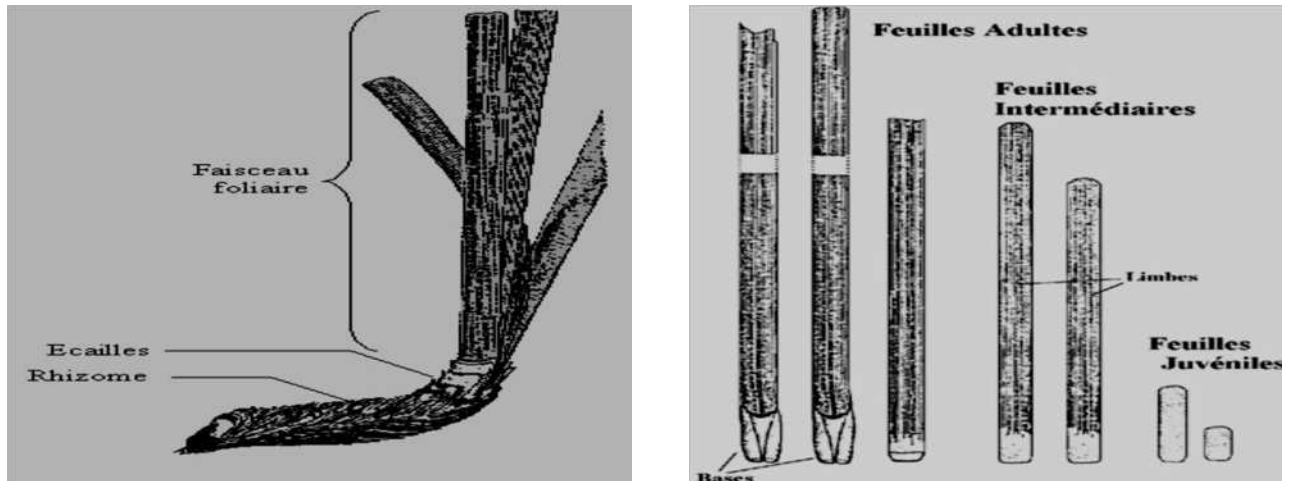


Figure I.4 : Morphologie de *Posidonia oceanica* (Boudouresque & Meinesz, 1982).

La floraison de *Posidonia oceanica* se produit en automne. Les fleurs (**Fig.I.5**) sont hermaphrodites et sont regroupées (4 à 10 fleurs) en une inflorescence portée par un pédoncule de 10-30 cm de longueur.

La floraison ne se produit pas tous les ans, surtout dans les eaux relativement froides du nord de la Méditerranée Occidentale.

La fécondation donne naissance à des fruits (**Fig. I.6**) qui se détachent de la plante à maturité, au printemps (6 à 9 mois de maturation). Ces fruits ont la forme et la dimension d'une olive ; leur couleur est vert foncé puis brun foncé à noir. Ils contiennent une seule graine. Ces fruits flottent un certain temps.



Figure I.5 : Floraison de *Posidonia oceanica*



Figure I.6 : Fruit de *Posidonia oceanica*

Selon l'orientation des courants ils s'échouent sur la plage ou s'ouvrent libérant la graine qui coulera vers le fond, où elle germera, sans période de dormance, si les conditions du substrat sont favorables (**Hartog, 1970 ; Boudouresque & Meinesz, 1982 ; Caye & Meinesz, 1984 ; Cinelli et al., 1995**).

I.2.Distribution géographique :

Posidonia oceanica est présente dans presque toute la Méditerranée. A l'Ouest, elle disparaît un peu avant le détroit de Gibraltar, vers Calaburros au Nord et Melilla au Sud (**Conde Poyales, 1989**).

La posidonie se développe sur les côtes européennes (France, Corse, Sardaigne, Italie, Yougoslavie, Grèce, Turquie) et les côtes africaines (Egypte, Libye, Tunisie, Algérie), sans s'étendre en mer Noire (**Den Hartog, 1970**).

A l'Est, elle est absente des côtes d'Egypte (à l'Est du delta du Nil), de Palestine, d'Israël et du Liban (**Por, 1978**). Elle ne pénètre pas en mer de Marmara ni en mer Noire. Enfin, elle est rare ou absente dans l'extrême Nord de l'Adriatique (**Zalokar, 1942 ; Gamulin Brida et al., 1973 ; Gamulin Brida, 1974**) et le long des côtes languedociennes, entre la Camargue et Port-la-Nouvelle (**Boudouresque et Meinesz, 1982**). **Fig. I.7**



Figure I.7: Distribution géographique de *Posidonia oceanica* en Méditerranée (PERGENT-MARTINI, 2004)

Au total, *P. oceanica* est une espèce endémique de la Méditerranée, c'est-à-dire strictement cantonnée à cette mer. On sait que cette mer s'est en grande partie asséchée lors du Messinien, il y a 5.6-5.3 Ma, en raison de la fermeture du détroit de Gibraltar. On ignore comment *P. oceanica* a survécu à cette crise. Il a certainement existé une ou plusieurs zones refuges, en Méditerranée ou dans le proche Atlantique, d'où elle a pu recoloniser la Méditerranée après la réouverture de Gibraltar. (**Krijgsman et al., 1999 ; McKenzie, 1999**).

I.3. Ecologie :

En mode calme, *Posidonia oceanica* peut se développer très près du niveau moyen de la mer : ses feuilles s'étalent alors à la surface. La profondeur maximale dépend de la transparence de l'eau. La lumière constitue l'un des facteurs les plus importants pour la répartition et la densité de *P. oceanica* (**Elkalay et al., 2003**).

Posidonia oceanica craint la dessalure. Elle dépérit immédiatement en dessous de 33‰ (**Ben Alaya, 1972**). C'est la faible salinité qui l'élimine de la mer de Marmara (21-27‰), des étangs saumâtres de la côte languedocienne et du voisinage de l'embouchure des fleuves côtiers.

L'espèce semble mieux résister aux salinités élevées, bien que **Ben Alaya 1972** ait indiqué que 41‰ constitue sa limite supérieure de tolérance. En effet, elle est présente dans des lagunes hypersalines de Tunisie (Bahiret el Biban ; 46‰ en moyenne en Août) et de Libye (Farwa : 39-44‰, en fonction de la saison) ; dans ces lagunes, sa vitalité (nombre de feuilles produites par an, croissance des rhizomes) semble identique, voire supérieure à ce qui est observé en mer ouverte (**Pergent et Zaouali, 1992 ; Pergent et Pergent-Martini, 2000 ; Pergent et al., 2002**).

Les températures extrêmes mesurées dans un herbier à *P. oceanica* sont 9.0 et 29.2°C (récif barrière de la baie de Port-Cros, Var, France), (**Augier et al., 1980 ; Robert, 1988**). Il est possible toutefois que les températures basses (moins de 10°C) et hautes (plus de 28°C) ne soient supportées qu'exceptionnellement. L'absence de *P. oceanica* des côtes levantines (Méditerranée Orientale), et sa rareté dans le Nord de l'Adriatique et le long des côtes languedociennes, pourraient être dues respectivement aux températures estivales et hivernales (**Boudouresque et Meinesz, 1982**).

Posidonia oceanica craint un hydrodynamisme trop intense. Les tempêtes arrachent des faisceaux de feuilles, dont certains constitueront des boutures. Elles peuvent éroder la "matte", soit directement, soit en la vidant de son sédiment, ce qui la fragilise.

C'est la raison pour laquelle, en mode battu, l'herbier ne s'approche pas à plus de 1 ou 2m de la surface. Les "mattes mortes" peuvent donc constituer un phénomène naturel, comme par exemple dans la baie de La Palud, à Port-Cros (Var, France) (**Augier et Boudouresque, 1967**). Dans la littérature, il n'est pas rare que la présence de "matte morte" ait été interprétée, à tort, comme le signe univoque d'un impact de l'homme (**Moreno et al., 2001**).

I.4. Les différents types d'herbier :

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 (**In Denis & al 2003**). Les trois types d'herbiers connus en Algérie sont :

(1) "**L'herbier de plaine**" est le type 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* (intermattes de sable ou de matte morte). (**Denis et al, 2003**)

(2) Dans les baies abritées, la montée de la matte peut conduire l'herbier à atteindre la surface de l'eau ; les feuilles s'y étalent ; ainsi se constitue un "**récif-frangeant**" de Posidonies qui, par progression vers le large, devient un "**récif-barrière**", séparé de la côte par un "lagon" (= lagune) peu profond. (**Denis & al, 2003**).

En Algérie, les récifs barrières sont signalée à El Kala (vers l'entrée du chenal menant au lac mellah) ; à l'anse de Kouali (fig :I.8), près de Tipaza, il est le plus prospère des récifs barrières des côtes algériennes. En 1953 Molinier & Picard signalent l'existence

de petits récifs entre Bou Ismail et Sidi Fredj et dans les secteurs de Jijel (banc des kabyles) et de Bejaia (Gouraya). (**Boumaza, 2003**)



Figure .I.8: Feuilles de *P. oceanica* atteignant la surface de l'eau
« Récif barrière, anse de Kouali »(Lamouti)

(3) Entre 10 et 20 m de profondeur (parfois moins), lorsque l'hydrodynamisme est relativement important, l'herbier peut se présenter sous la forme d'un "**herbier de colline**" *Posidonia oceanica* constitue des collines subcirculaires 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, le bilan sédimentaire (négatif, nul ou trop faiblement positif) devient inférieur à la croissance des rhizomes :

ceux-ci se déchaussent, et deviennent vulnérables à l'hydrodynamisme ; le démantèlement des collines commence par leur sommet, pour aboutir à la destruction complète de la colline. (**Denis et al, 2003**) Ce type d'herbier a été signalé à El Marsa (ex Jean Bart, Alger) (**Semroud, 1993**).

Les autres types d'herbiers connues sont : l'herbier tigré, L'herbier en pain de sucre, l'herbier en micro atolls, l'herbier en escalier ou : l'herbier ondoyant.

I.5.Types de limite :

La limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* peut se présenter sous différents aspects en fonction des conditions du milieu (lumière, hydrodynamisme,...) (Pergent *et al.*, 2004). Il existe 4 types de limites : limite progressive, brusque, érosive ou régressive (Figure I.9).

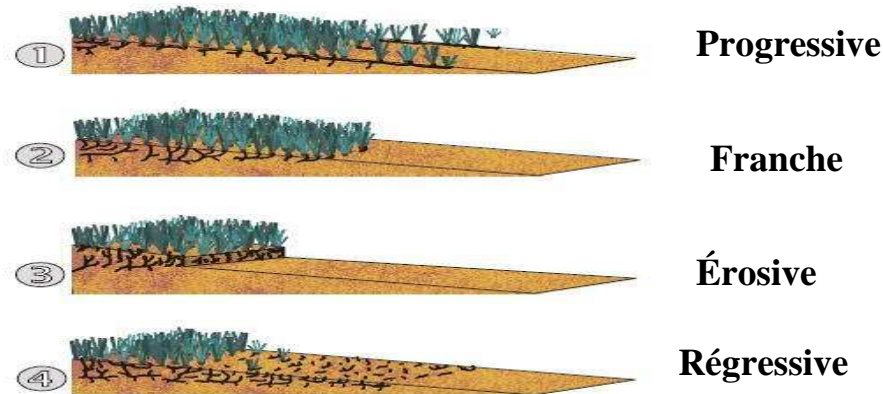


Figure I.9. Présentation des différents types de limite inférieure de l'herbier de Posidonie (D'après Meinesz et Laurent, 1978).

I.5.1. La limite progressive (Figure 1.9-1), caractérisée par la présence de rhizomes plagiotropes, disposés de façon parallèle à la pente, sans édification de matrice.

Ce type de limite traduit une amélioration de la transparence des eaux.

I.5.2. La limite franche (Figure 1.9-2), caractérisée par la présence de rhizomes généralement orthotropes, sans édification d'une véritable matrice, avec absence de matrice morte en aval de la limite. Ce type de limite traduit des conditions de milieu stabilisées.

I.5.3. La limite érosive (Figure 1.9-3), caractérisée par un tombant de matrice qui marque la limite de l'herbier et du sédiment. Les courants de fond érodent l'herbier et interdisent toute progression vers de plus grandes profondeurs.

I.5.4. La limite régressive (Figure 1.9-4), caractérisée par la présence d'une étendue de matrice morte, recouverte ou non par le sédiment, en aval de la limite de l'herbier. Quelques faisceaux de feuilles, témoins de l'ancienne position de l'herbier, subsistent en aval de la limite actuelle. Ce type de limite traduit une régression d'herbier.

I.6 Flore et faune associée :

La flore et la faune de l'herbier à *P. oceanica* sont d'une exceptionnelle richesse.

Environ 20% de toutes les espèces recensées en Méditerranée y ont été signalées, ce qui en fait le principal pôle de biodiversité en Méditerranée (**Boudouresque, 1996**).

Le caractère le plus original de l'herbier à *P. oceanica* (qu'il partage avec les autres herbiers à Magnoliophytes marines) est la juxtaposition de deux types de production primaire (**Boudouresque et al., 1994 ; Boudouresque, 1996**).

Le premier est la production de la posidonie elle-même ; il s'agit d'une matière végétale riche en composés peu biodégradables (cellulose, lignine), protégée chimiquement (acides phénoliques) contre les herbivores (**Piovetti et al., 1984 ; Cuny et al., 1995 ; Agostini et al., 1998**).

Le second type de production est celui des épiphytes des feuilles, facilement biodégradables, sans défenses chimiques, et donc très appréciés par les herbivores.

La posidonie est peu consommée par les herbivores : moins de 10% (**Velimirov, 1984 ; Boudouresque et al., 1994 ; Rico-Raimondino, 1995 ; Pergent et al., 1997**) : l'oursin *Paracentrotus lividus*, le poisson *Sarpa salpa* et divers crabes du genre *Pisa* principalement.

Une partie des feuilles mortes reste sur place, constituant une litière consommée par de nombreux détritivores, principalement des Crustacés, et des Echinodermes ; la dégradation est lente : plusieurs mois à plus d'une année (**Zupi & Fresi, 1984 ; Romero et al., 1992 ; Mazzella et al., 1995 ; Rico-Rai Mondino, 1995 ; Pergent et al., 1997**) ; le reste (en moyenne (40%)) est exporté vers d'autres écosystèmes, où ces feuilles constituent un apport majeur de nourriture (**Verlaque & Nédélec, 1983 ; Pergent et al., 1994**).

Les épiphytes des feuilles sont principalement des Rhodobiontes, calcifiées ou non des Fucophycées, des Bryozoaires et des Hydraires.

Ils sont consommés par l'oursin *Paracentrotus lividus* et par le poisson *Sarpa salpa* (en même temps que les feuilles) ainsi que par de nombreux petits Gastropodes et Crustacés Amphipodes.

De nombreuses espèces de prédateurs, principalement des poissons et des étoiles de mer se nourrissent des Crustacés, Gastropodes, Polychètes, oursins et pour quelques uns des poissons de l'herbier à *P.oceanica* (**Harmelin-Vivien, 1982, 1984 ; Khoury, 1984 ; Zupi & Fresi, 1984 ; Dance & Savy, 1987 ; Savy, 1987**).

Chapitre II :

Matériel
&
Méthodes

II. Matériel et méthodes :

II.1. Présentation de la zone d'étude :

II.1. 1 La presque île de Sidi Fredj :

La presque île de Sidi Fredj (**figure II.1**) se situe dans la baie de Bou Ismail, à une trentaine de kilomètres d'Alger. Elle est constituée d'un éperon d'environ 1km de long. A 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 prolongeant la pointe de saint janvier (**De Giovanni, 1973**).

Du point de vue administratif, elle appartient à la commune de Staouali, daïra de Zeralda et Wilaya d'Alger. Elle se situe entre 2°50'48'' Est de longitude et 36°45'17'' Nord de latitude jusqu'à 2°50'41'' Est de longitude et 36°45'06'' Nord de latitude.

L'anse Est de Sidi Fredj est une zone relativement battue par la houle de Nord Est. Avant la construction du port de plaisance un herbier de zostéracées et posidonies occupait cette zone (**De Giovanni, 1973**).



Figure II.1.1. Situation géographique de la plage ouest de Sidi Fredj. (Carte topographique 2010)



Figure II.1.2: et localisation de la presque île de Sidi Fredj (Google earth,2012)

II.1.2. Littoral Ouest de Sidi Fredj :

Au niveau de l'anse ouest de la presqu'île de Sidi Fredj se situe la zone d'étude qui s'étend de l'épi Sud jusqu'au centre de la Thalassothérapie au Nord sur une distance de 220 m, et de la haute plage à l'Est jusqu'au grand rocher à l'Ouest.

II.1.3. Plage Ouest de Sidi Fredj :

La plage Ouest (Figure II.2).est délimitée au Nord par la digue du centre de Thalassothérapie et au Sud par la digue du centre de repos de l'ANP, cette plage est bordée par plusieurs habitations, certaines de ces habitations rejettent leurs eaux usées sur la plage. Cette plage est très fréquentée durant la période estivale.

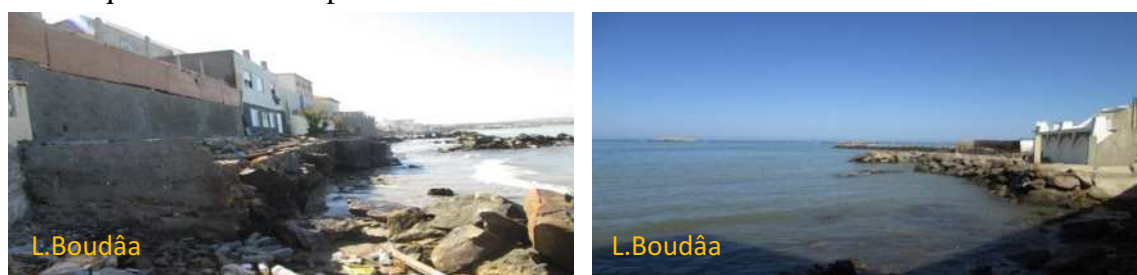


Figure II.2 : Photos de la plage Ouest de Sidi Fredj lors de notre sortie

II.1.4 Sources de pollution :

Lors de nos sorties sur le terrain nous avons relevé la présence de plusieurs sources potentielles de pollution dans la plage ouest de Sidi Fredj : déchets solides, rejets d'eau usée, Eboulis **Figure II.3.**



Figure II.3 : Déchets solides, rejets d'eau usée, éboulis artificiel dans la plage ouest de Sidi Fredj

II.1.5 Secteur étudié :

A partir de 10 jets aléatoires au niveau de l'herbier à Posidonie nous avons effectué l'ensemble de nos observations et mesures ; la localisation des 10 stations concernées (Tableau 2) est représentée dans la figure II.4 ci-dessous :

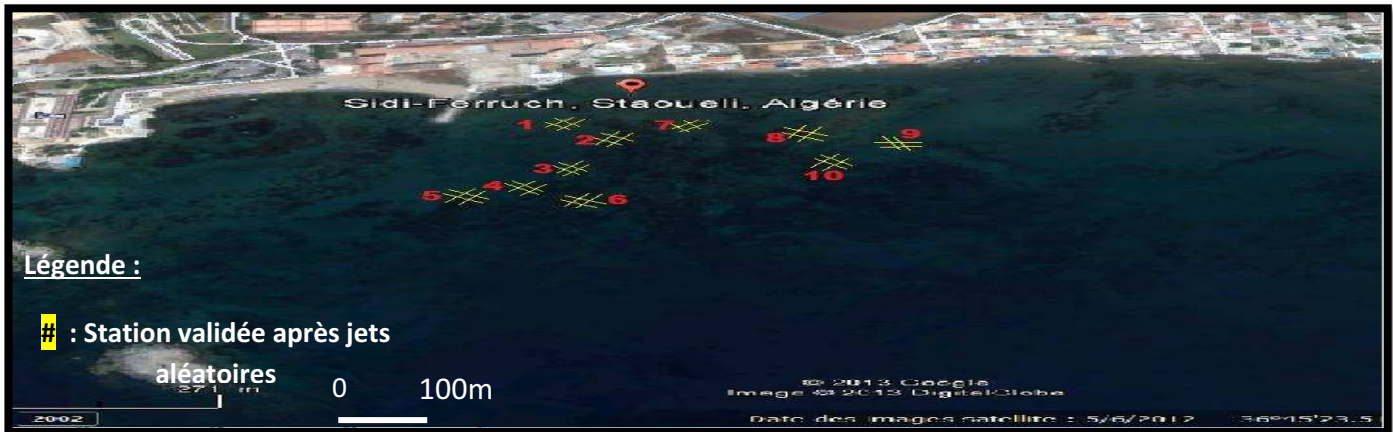


Figure II.4 : Localisation des 10 stations dans la plage Ouest de Sidi Fredj (Google Earth ,2012).

Tableau 2 : Coordonnées géographiques en degré décimaux des stations.

Station	Longitude est	Latitude nord	Profondeur (m)	Nature du substrat
1	2,84054	36,75941	1.7	sableux
2	2,84112	36,75941	1.8	rocheux
3	2,84255	36,75327	1.8	Sablo-rocheux
4	2,84422	36,75325	2.2	sableux
5	2,85023	36,75944	2.2	Sablo-rocheux
6	2,84045	36,75765	2	Sablo-rocheux
7	2,84215	36,75788	0.8	rocheux
8	2,84168	36,75785	1.1	sableux
9	2,84084	36,75715	0,8	sableux
10	2,84201	36,75784	0,8	Sableux

II.2. sortie en Mer :

Du **11/08/2013** au **15/08/2013** :

La sortie a été réalisée dans des conditions météorologiques favorables, vent faible et mer peut agitée.

Les observations et les prélèvements effectués ont été réalisés au moyen de plongée autonome.

Du **16/08/2013** au **22/08/2013** :

Travaux au laboratoire de Sidi Fredj

II.3 Matériel utilisé :

Matériels de plongée, ordinateur de plongé, 2 quadras : 30 cm² (recouvrement) et 50cm² (densité) (Figure II.5), filets, plaque en PVC, appareil photo sous-marine, glacière et glacirole , GPS de poche.

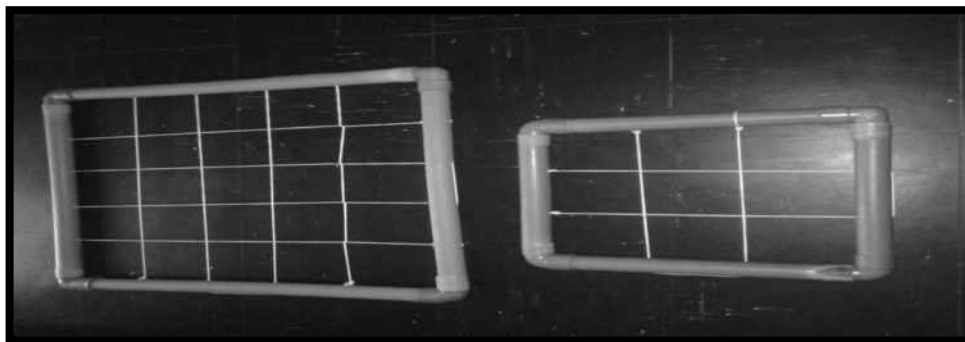


Figure II.5 : quadra de 50 et 30 cm de côté

II.4.Observations effectuées :

Plusieurs paramètres utilisés classiquement dans les suivis d'herbier de Posidonie (Charbonnel & *al.*, 2000) ont été relevés au cours de ce travail . Il s'agit de mesure de densité, de déchaussement et du taux de recouvrement

II.4.1 Etat de vitalité et dynamique de l'herbier

L'estimation de l'état de vitalité de l'herbier de posidonie fait appel à plusieurs Paramètres standardisés dont les principaux ont été retenus dans le cadre de cette étude :

A) Mesure de la densité de l'herbier :

La densité correspond au nombre de faisceaux de Posidonie par unité de surface.

Le faisceau est défini comme un ensemble de feuilles de Posidonie regroupées autour d'un même centre de croissance.

Les faisceaux ont été dénombrés à l'intérieur de quadras de 0,3 x 0,3m (0,9 m²) posés au hasard à l'intérieur d'une « tâche » de Posidonie (jets aléatoires).(Figure II.6)

Pour la mesure de la densité, à partir d'un carré de 30 cm de coté nous avons effectué 10 mesures de densité (avec 3 répliqua dans chaque point) sur le tapis de Posidonie afin de quantifier la variabilité de ce paramètre.



Figure II.6: Illustration des travaux d'estimation de la densité de l'herbier à Posidonie

Selon les herbiers, leur densité varie en fonction de la profondeur et des conditions du milieu (lumière, type de substrat où l'herbier est implanté).

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 (Pergent et al., 1995).

Ces mesures permettent de classer l'herbier selon une grille (descriptive) de lecture établie par Giraud (1977) (Tableau 3).

Tableau 3 : 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 clairseme
De 150 à 300 faisceaux / m ²	Type IV, herbier très clairseme
De 50 à 150 faisceaux / m ²	Type V, semi herbier
Moins de 50 faisceaux / m ²	Faisceaux isolés

B) Mesure du déchaussement des rhizomes :

Les rhizomes de Posidonie peuvent croître soit horizontalement (rhizomes plagiotropes), ce qui permet à l'herbier de rétablir ou d'étendre sa surface de recouvrement, soit verticalement (Rhizomes orthotropes) pour lutter contre l'enfouissement.

Le déchaussement des rhizomes traduit généralement l'existence d'un déficit sédimentaire au niveau de l'herbier. La mesure de ce paramètre permet donc d'apprécier rapidement et assez précisément l'hydrodynamisme d'une zone (Denis et al., 2003). Pour les rhizomes plagiotropes, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la partie inférieure des rhizomes. 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.7)

Le déchaussement est mesuré à la base des faisceaux, avec 10 mesures réparties de façon aléatoire (Boudouresque *et al.*, 1980). L'échelle d'évaluation du déchaussement utilisée est celle de Charbonnel *et al.* (2000) (Tableau 4).

Tableau 4 : Echelle de classification du déchaussement de l'herbier de Posidonie (Charbonnel & *al.*, 2000).

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

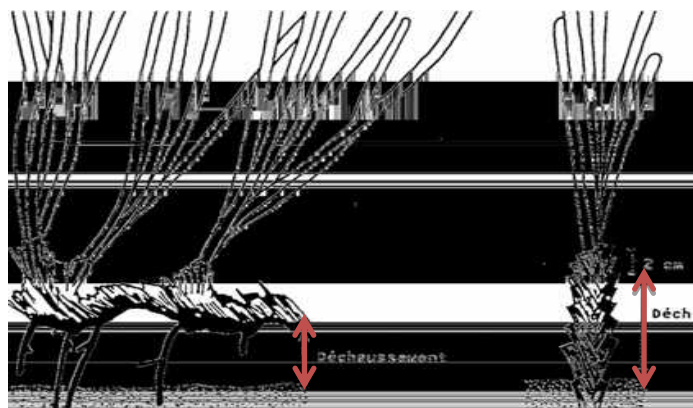


Figure II.7 : Mesure du déchaussement des faisceaux de Posidonie

C) Estimation visuelle du taux de recouvrement:

L'estimation en plongée du recouvrement de l'herbier de Posidonie se fera à l'aide d'une plaque de PVC transparente de 30 cm de côté, divisée en neuf carreaux de 10 cm de côté, selon la méthode décrite par (Gravez *et al.* 1995).

Selon (Bonhomme *et al.*, 2002), le recouvrement correspond au pourcentage de couverture du substrat par l'herbier à *Posidonia oceanica* vivant, par rapport aux zones non couvertes (sable, matie morte, roche). Le recouvrement varie en fonction de la vitalité de l'herbier, de la profondeur, de la saison, et de l'hydrodynamisme.

De nombreux facteurs peuvent biaiser l'estimation du recouvrement, liée d'une part à l'observateur (son expérience) et d'autre part à des paramètres extérieurs tels que la visibilité,

la saison (surévaluation en période estivale où les feuilles sont plus longues) et la structure de l’herbier (Charbonnel *et al.*, 1995).

A intervalles réguliers, on estime le recouvrement en évaluant par transparence le nombre de Carreaux occupés par de l’herbier (figure II.8).

10 mesures de recouvrement ont été effectuées sur la limite supérieure de l’herbier de Posidonie.

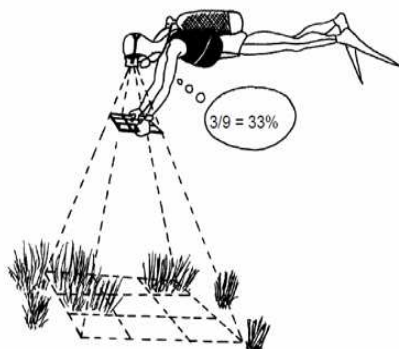


Figure II.8 : schématisation de l’Estimation du recouvrement de l’herbier en plongée (Gravez *et al.* 1995).

Une échelle d’évaluation du recouvrement le long des limites de l’herbier (faible, moyen, fort) est utilisée (Tableau 5), en fonction des valeurs moyennes mesurées ou estimées. Les valeurs seuils considérées par cette échelle sont différentes selon la position de la limite (supérieure ou inférieure), puisque le recouvrement diminue de façon naturelle avec la profondeur.

Tableau 5 : Echelle de classification du recouvrement de l’herbier de Posidonie (Charbonnel & *al.*, 2000)

Recouvrement (valeurs seuils)		Interprétation
Limite inférieure	limite supérieure	
Inférieure à 40%	Inférieur à 20%	Recouvrement faible
40 à 80%	20 à 50 %	Recouvrement moyen
Supérieur à 80%	Supérieur à 50%	Recouvrement fort

II.4.2 Etudes associées :

II.4.2.1 Biométrie foliaire :

Les caractéristiques morphologiques et l'âge des feuilles d'un faisceau diffèrent selon la position de la feuille dans le faisceau. Au sein de chaque faisceau, les jeunes feuilles apparaissent au centre, alors que les feuilles âgées sont progressivement repoussées à la périphérie (GIRAUD, 1977 ; CAYE, 1989). L'acquisition d'un pétiole par la feuille a lieu lorsque l'allongement est presque totalement achevé (GIRAUD, 1977).

▪ Prélèvements :

Trente faisceaux (30) orthotropes sont récoltés, distants de 50 cm à 1m les uns des autres, afin de récolter des individus appartenant à des rhizomes plagiotropes différents (Pergent, 1987). Les rhizomes récoltés sont conservés dans de l'eau formolée à 10%. Ils serviront à l'étude des paramètres phénologiques, biométrique et de la biomasse.

▪ Analyse biométrique :

Chaque faisceau est réhydraté, puis décortiqué feuille par feuille en respectant l'ordre distique de leur insertion (Figure II.9). Les feuilles sont séparées selon le protocole de GIRAUD (1977) en fonction de leur maturité (Annexe II):

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

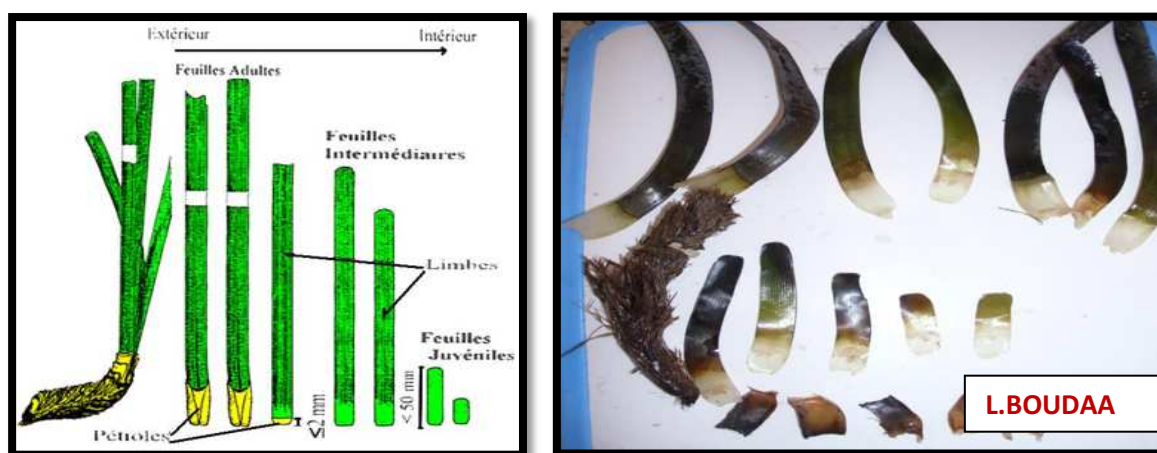


Figure II.9 : Dissection phénologique de *Posidonia oceanica*.

(D'après PERGENT, 1987, modifié).

Pour chaque faisceau, les paramètres biométriques (longueur totale de la feuille et largeur du limbe) sont mesurés (Figure II.8). Les différents paramètres relatifs à la phénologie des

feuilles de *Posidonia oceanica* ne sont calculés que pour les feuilles adultes et intermédiaires, à savoir :

- **le nombre moyen** de feuilles par faisceau ;
 - **la longueur et la largeur moyennes** des feuilles ;
 - **le "Coefficient A"** correspond au pourcentage de feuilles ayant perdu leur apex (**Giraud, 1977**). Il apporte des renseignements, pour un site donné, sur le taux de broutage (**Nedelec, 1982 ; Velimirov, 1984 ; Zupi et Fresi, 1984**), donc de l'importance des populations herbivores.
 - Les marques de broutage laissées par certains herbivores (*Sarpa salpa* ou *Paracentrotus lividus*) sont caractéristiques (**Boudouresque et Meinesz, 1982**).
- la surface foliaire par faisceaux (SF)**, correspond à la surface des feuilles exprimée en cm² par faisceau (**Pergent-Martini, 1994**). Elle est calculée de la manière suivante :

$$SF = \text{Longueur} \times \text{Largeur} \times \text{Nombre de feuilles par faisceau}$$

- **l'indice foliaire (IF)** qui correspond à la surface de feuilles par m² est calculé en multipliant la surface foliaire par la densité pour chaque catégorie de feuilles (**Drew, 1971**).

II.4.2.2 Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles :

◆ Biomasse des épiphytes des feuilles :

A l'aide d'une lame de rasoir, les deux faces de chaque feuille sont grattées soigneusement afin de séparer les épiphytes des feuilles (animaux, végétaux et algues encroûtantes ou dressées). Le produit du raclage des feuilles adultes et intermédiaires est séché séparément à l'étuve pendant 48h à 70°C. Chaque lot est ensuite pesé sur une balance de précision de type Denver instrument M-220 D (précision de 0,1mg). La biomasse des épiphytes est alors exprimée en mg P.S par faisceau.

◆ Biomasse des feuilles :

Pour chaque faisceau, les lots de feuilles adultes et intermédiaires débarrassées de leurs épiphytes, sont rincées à l'eau, puis séchées séparément à l'étuve pendant 48h à 70°C. Chaque lot est ensuite pesé (balance Denver instrument M-220 D, précision de 0,1mg). (Figure II.10)

La biomasse des feuilles est exprimée en mg P.S par faisceau.



Figure II.10 : les travaux de mesures des paramètres biométriques.

II.5 Traitements statistiques utilisés

Après la saisie des données dans des tableaux sous format Microsoft-Excel, les tests statistiques sont réalisés à l'aide d'un logiciel S-PLUS 2000 professionnel (logiciel d'analyse statistique).

II.5.1 Moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique (m_a), appelée simplement moyenne, est un paramètre de position qui sert à caractériser l'ordre de grandeur des observations (Dagnelie, 1973). Elle correspond à la somme de chacune des valeurs observées d'une variable divisée par le nombre de valeurs observées, c'est à dire la fréquence totale. Si on désigne les n valeurs observées d'une variable par x_1, x_2, \dots, x_n , alors on a :

$$m_a = \sum x_i / n$$

II.5.2. Intervalle de confiance pour une moyenne

L'estimation complète de la moyenne est précisée, soit par le calcul de l'écart-type, soit par la détermination d'un intervalle, nommé "intervalle de confiance" (**Dagnelie, 1973**) qui recouvre la véritable moyenne (μ). Pour un niveau de confiance $1-\alpha$ (5%), soit une probabilité de 95%, la formule de l'intervalle de confiance (IC) de la moyenne m_a est :

$$\text{IC} (m_a - 1.96 s/\sqrt{n} - m_a + 1.96 s/\sqrt{n})$$

Le rapport s/\sqrt{n} est appelé erreur type (σ_m) de la moyenne, il renseigne sur la précision de la mesure.

II.6 Les mesures in situ des paramètres physicochimiques :

Les mesures *in situ* sont effectuées à l'aide d'un conductimètre (Cond 197i, WTW) et d'un *pH-mètre* (WTW pH 315) pour la détermination des paramètres physico-chimiques : température, pH et la salinité.

II.7 Mesure des métaux lourds :

II.7.1 Protocole :

Le protocole d'échantillonnage du sédiment, de l'oursin commun *Paracentrotus lividus* et de *Posidonia oceanica* ainsi que les protocoles de mesure des métaux lourds sont clairement élargies dans l'annexe III.

II.7.2 Les valeurs guides :

Les stratégies de définition des valeurs guides (**Tableau II.4**) sont largement laissées à l'appréciation des autorités compétentes de chaque pays.

De manière générale, elles sont établies par référence à des rapports de présence des contaminants dans le sédiment, ou par rapport à une estimation de leur fraction biodisponible (fraction extractible) ou à des concentrations (sans effets, effets mineurs, effets néfastes).

Tableau 6: Valeurs guides pour les métaux lourds ($\mu\text{g/g}$) par différents pays
(ABRCM, 1980)

Pays	Mercure	Plomb	Zinc
Algérie	1.5	250	500
France	0.2	22	80
Hollande	0.3	85	140

II.7.3 Indice de contamination (IC) :

L'indice de contamination est utilisé pour déterminer l'état de pollution dans une zone étudiée, et ceci se fait par rapport aux zones de références, on le calcule suivant la formule suivante :

$$\text{IC} = \frac{\text{concentration observée}}{\text{Concentration normale}}$$

Les valeurs trouvées sont interprétées selon le tableau suivant (Alzieu et al., 1999) :

Tableau 7 : Valeurs de l'indice de contamination (Alzieu et al., 1999)

IC Observation	Observation
IC < 3	Concentration normale
3 < IC < 10	Cas de pollution
IC > 10	Zone à risque

Tableau 8: Classification des herbiers de *Posidonia oceanica* en fonction de l'état de traces de contamination métallique par le mercure $\mu\text{g/g}$ P.S. (Pergent-Martini et al., 2005)

Hg ($\mu\text{g/g}$)	Qualité de l'herbier
< 0,048	Haute
0,048 – 0,096	Bonne
0,097 – 0,144	Modérée
0,145 – 0,192	Pauvre

II.8 Prise de Photographie et identification des espèces :

Au moyen de plongé autonome nous avons pris en photo les espèces associées à l'écosystème à *Posidonia oceanica* et nous avons procédé par la suite à l'identification des espèces.

La détermination s'est basée sur des flores (Delpines et *al.*, 1987) ainsi que sur le guide des algues des mers d'Europe (Delpine et *al.*, 2006).pour la faune marine (La vie sous-marine en Méditerranée. Eds VIGOT).

Chapitre III :

Résultats
&
Discussions

III. Résultats et discussions :

III.1. Description de l'herbier :

L'herbier de notre zone d'étude est un herbier de plaine, se développant sur substrat meuble et sur matre. A l'abri des houles dominante de secteur Nord et nord Est, la montée de la matre à conduit à la formation d'un récif- barrière au devant du quel (vers la cote) ce sont installé des Magnoliophytes à feuilles plus étroites et plus courtes que la posidonie *Cymodocea nodosa* et *Nanozostera noltii*.

L'herbier présente plusieurs structures érosives : inter mattes, chenaux et marmites de géant.

Il présente un état de vitalité très hétérogène, au voisinage de l'épi, il est clairsemé, les feuilles sont courtes, broutées, et épiphytes.

Vers 5-6 m de profondeur au pied de deuxième îlot les feuilles sont longues et l'herbier plus dense.

Dans la zone non abritée soumise au vent et à la houle de secteur ouest nous avons constaté une «hyper sédimentation » les feuilles sont complètement ensevelies sous le sédiment (fig III.1).

Dans d'autres zone il présente un déchaussement importants (entres le première îlot et la pointe de saint janvier) (fig.III.2)



Figure III.1 : enfouissement des feuilles sous le sédiment (Sidi Fredj)



Figure III.2 : Déchaussement des rhizomes (Sidi Fredj)

III.2 Faune et flore associée (espèces identifiées) :

III.2.1 Flore :

La flore est représentée par deux **magnoliophytes** marines *Nanozostera noltii* et *Cymodocea nodosa*



Figure III.3: *Nanozostera noltii*
(Sidi Fredj ; Ferchouli adlan)



Figure III.4 : Fleurs de *Cymodocea nodosa*
(Malte)

Nous avons rencontré différentes algues à différents endroits de l'herbier à Posidonie :

- épiphytes (sur les feuilles)
- entre les rhizomes
- au niveau de la matre
- aux abords de l'herbier sur le sable

Les plus représentatifs et remarquables sont :

➤ Des Rhodophycées (Algues rouges) :



Asparagopsis armata



Falkenbergia rufolanosa



Peyssonnelia squamata

Figure III.5: Algues rouges associées à l'écosystème à *Posidonia oceanica*

➤ Fucophycées (Algues brunes) :



Padina pavonica



Dictyota dichotoma



Colpomenia sinuosa

Figure III.6 : Algues brunes associées à l'écosystème à *Posidonia oceanica*

Chlorophycées (Algues vertes) :



Udotea petiolata



Caulerpa racemosa.

Figure III.7: Algues vertes associées à l'écosystème à *Posidonia oceanica*

◆ Prolifération de *Caulerpa racemosa* :

Cette algue verte invasive colonise un espace relativement important sur plusieurs types de substrats (sableux, rocheux, déchet solide (Pneu...), matre morte ..) ; au profil de *Posidonia oceanica*.

Cette Caulerpe exerce une forme de compétition pour l'herbier à Posidonie qui est en régression permanente (recul de la limite supérieure).

III.2.2 Faune :

Les **crustacés** : des coquilles, des crabes araignés ainsi que des pagures

Les **échinodermes** sont représentés par l'oursin comestible *Paracentrotus lividus*, l'oursin violet *Sphaerechinus granularis* l'holothurie *Holothuria tubulosa* et les étoiles de mer *Echinaster sepositus* et *Coscinasterias tenuispina*



Filograna implexa



Paracentrotus lividus



Echinaster sepositus



Murex trunculus



grande nacre (*Pinna nobilis*)



Cerithium vulgatum

Figure III.8 : faune associée à l'écosystème à *Posidonia oceanica*

Nous avons rencontré 14 espèces de **poissons** repentants à 8 familles, les deux familles les plus représentés sont celles des sparidae (4 espèces) et celles des labridae (2espèces) , plusieurs espèces ont un intérêt économique certains tel que *Sparus aurata* dont nous avons rencontré des individus d'une quarantaine de centimètre, *Epinephelus marginatus*, *E. alexandrinus*, *Sphyranea sphyraea*, *Pagelus* et *Pagrus* ainsi que les sars.

D'autre comme les labridé et les sont très ethniquement liée a l'écosystème a *Posidonia oceanica*.

Faune ichtyologique :

	Nom scientifique
Gobiidae	<i>Gobius sp.</i>
Labridae	<i>Coris julis</i> <i>Symphodus mediterraneus</i>
Serranidae	<i>Serranus scriba</i> <i>Epinephelus alexandrinus</i> <i>Epinephelus marginatus</i>
Sparidae	<i>Boops boops</i> <i>Diplodus anularis</i> <i>Sarpa salpa</i> <i>Pagrus caeruleostictus</i>
Mullidae	<i>Mullus barbatus</i>
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>
Syngnathidae	<i>Syngnathus typhle</i>
Sphyraenidae	<i>Sphyranea sphyraea</i>

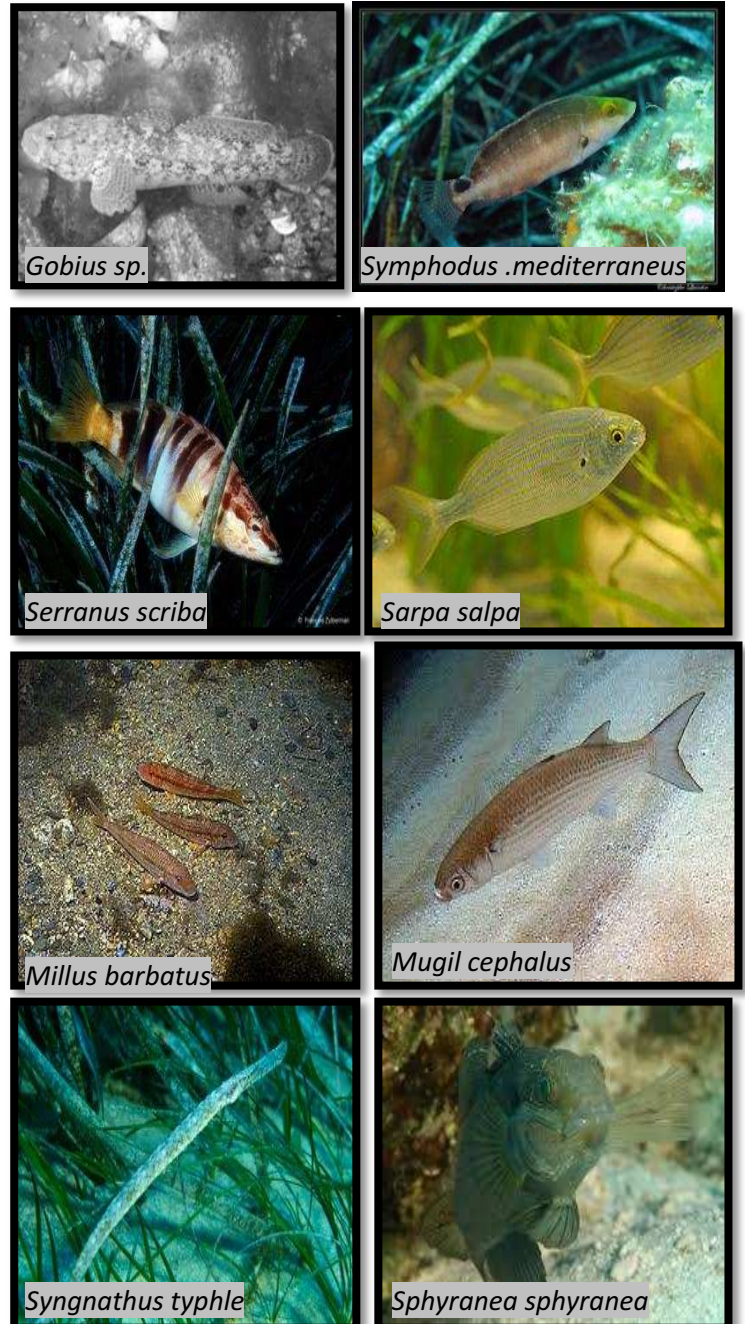


Figure III.9: faune ichtyologique associée à L'écosystème à *Posidonia oceanica*

III.3 Les paramètres vitaux de l'herbier à Posidonie :

III.3.1 Estimation du recouvrement :

La valeur moyenne du pourcentage de recouvrement estimé à l'aide d'un quadra de 30 cm de côté (0,09m²) est de l'ordre de 30,8 % (**Tableau 9**) dans une profondeur moyenne de 1.52 m ; il s'agit d'un recouvrement moyen selon la classification de **CHARBONNEL et al, (2000)**.

Nous avons noté une hétérogénéité du recouvrement les valeurs oscillent entre 11 et 55 %. Les plus faibles valeurs sont notées au niveau des stations 6 et 8, correspondant à un recouvrement moyen, selon la même classification.

Nous avons comparé nos résultats à ceux obtenus par **Boutarene et Ghanem (2010)** car effectué dans la même zone d'étude à la même profondeur, le recouvrement moyen estimé en 2010 était de 15,74 %, ce qui correspond à un recouvrement faible.

L'augmentation du taux de recouvrement est uniquement due au nombre restreint de station que nous avons considéré (10stations) par rapport au nombre de stations élevé étudiés par **Boutarene et Ghanem (2010)** et à l'hétérogénéité des taux de recouvrements.

Il faut aussi rester prudent car les mesures ont été effectuées par des observateurs différents.

Nous avons également comparé nos résultats à ceux de **Naimi et Bellahcene (Kouali 2012)**, car effectuées sur des profondeurs similaires (Récif barrière de Posidonie à environ 0.5 à 1.5 m de profondeur) : le recouvrement moyen était estimé à **Kouali** à environ 58.1 % .

Tableau 9: Estimation moyenne du recouvrement de l'herbier (en pourcentage) dans la zone de la plage Ouest de Sidi Fredj.

Mesure (Jet)	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Recouvrement moyen (%)	22	33	22	55	33	11	55	11	44	22

Selon **CHARBONNEL, et al. (1995)**, ce paramètre dépend essentiellement de l'appréciation de l'observateur et de la saison durant laquelle les mesures sont effectuées. En effet, l'estimation du recouvrement est une évaluation subjective, susceptible de varier d'un observateur à un autre.

III.3.2. Estimation de la densité :

La densité moyenne a été estimée à partir d'une dizaine de comptage à partir d'un carré de 30cm de côté, les moyennes obtenues sont exprimées en nombre de faisceaux/m² dans le (Tableau 10)

Tableau 10: Densité moyenne des faisceaux par m² mesuré après dix jets aléatoires.

Mesure par jet	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Densité	242	221	288	275	305	288	281	248	292	254

Parmi les 10 relevés effectués au niveau de la zone, les valeurs de densité de l'herbier à Posidonie s'échelonnent de 221 à 305 faisceaux/m², la densité moyenne sur l'ensemble des relevés s'élève à **269,4 faisceaux/m²** (IC=22,95%).

Les densités moyennes sont à peu près homogènes dans l'ensemble.

Ce qui correspond à un herbier très clairsemé de type IV, selon la classification de **GIRAUD (1977)**.

Nous avons comparé nos résultats à ceux obtenus par **Boutarene et Ghanem (2010)** car effectué dans la même zone d'étude à la même profondeur, la densité moyenne estimée en 2010 était de **310.85 faisceaux/m²**, ce qui correspond à un herbier clairsemé de type III.

Ce qui nous permet de constater une diminution de la densité de l'herbier à Posidonie dans la plage ouest de Sidi Fredj.

Selon **Naimi et Bellahcene (Kouali 2012)**, la densité moyenne à Kouali était estimée en 2012 à **750 faisceaux/m²**.

Ce qui représente le double de la densité enregistrée au niveau de Sidi Fredj, ceci prouve l'état déplorable de l'herbier à Posidonie dans notre zone et qui est en régression permanente.

III.3.3. Déchaussement des rhizomes :

Parmi les 30 relevés effectués, les valeurs de déchaussement des rhizomes évoluent de -3 à 11cm.

- ☞ Les valeurs sont majoritairement positives dénotant un déchaussement.
- ☞ Le déchaussement moyen atteint 6,3cm (IC=95%).

☞ Suivant la classification adoptée par le Réseau de Surveillance Posidonie (Charbonnel & al., 2000), le déchaussement est moyen.

En conclusion, l'herbier étudié présente un recouvrement moyen, une densité dénotant un herbier très clairsemé de type IV et un déchaussement moyen.

III.4 Paramètres biométriques :

Les résultats obtenus sont représentés dans le **tableau 11** exprimés en Valeurs extrêmes, moyennes :

Tableau 11 : Paramètres phénologiques de *Posidonia oceanica* au niveau de la plage Ouest de Sidi Fredj 2013.

	Feuille adulte	Feuille intermédiaire	Feuille globale
Nombre de feuille/faisceau	2,3 ± 1	1,4 ± 0.8	3,7 ± 1.8
Longueur des feuilles (mm)	460,4 ± 112	270 ± 78	385 ± 58
Largeur des feuilles (mm)	10,0 ± 0.5	10.1 ± 0.5	10,0 ± 0.5
Coefficient A(%)	68.2	44.8	56.5
Surface foliaire (cm ² /faisceau)	179.4 ± 134.4	75.6 ± 31.2	257.95 ± 29
Indice foliaire IF (m ² /m ²)	6.2 ± 2.2	2.3 ± 0.4	4.7 ± 1.3

III.4.1 Nombre de feuilles par faisceau :

Le nombre moyen de feuilles globales (adultes et intermédiaires) est de 3.7±1.8 Feuilles par faisceau.

Ce paramètre présente une variabilité interannuelle importante liée au rythme de chute et de formation des feuilles, lui-même lié au rythme des saisons et à l'hydrodynamisme.

Selon Naimi et Bellahcene (Kouali 2012) , le nombre de feuilles de faisceau à Kouali est estimé à 4.4 ± 1.1 Feuilles par faisceau.

Le nombre de feuilles réduit dans notre zone d'étude est probablement du à l'hydrodynamisme.

III.4.2 Longueur des feuilles :

La longueur moyenne des feuilles globales (adultes et intermédiaires) est de 385 ± 58 mm.

A **Kouali**, pour des profondeurs similaires les longueurs des feuilles de *Posidonia oceanica* estimées par **Naimi et Bellahcene (2012)** sont estimées à 272.8 ± 72 mm.

La production foliaire (production nouvelle), plus importante à **Kouali** par la disponibilité des facteurs écologiques favorisant la production de nouveaux faisceaux et de nouvelles feuilles juvéniles de petites tailles, explique les résultats trouvés dans cette zone comparé à Sidi Fredj où la production primaire est beaucoup moins important.

III.4.3 Largeur des feuilles :

La largeur moyenne des feuilles globales (adultes et intermédiaires) est de 10 ± 0.5 mm.

A Kouali, pour des profondeurs similaires la largeur des feuilles de *Posidonia oceanica* sont selon **Naimi et Bellahcene (2012)** du même ordre de grandeur.

III.4.4 Le coefficient A :

Pour les feuilles globales (adultes et intermédiaires), la valeur du coefficient A est de 56.5% pour les feuilles globales et de 68.2 pour les feuilles adultes, elle traduit la présence d'un hydrodynamisme important vu que les extrémités des feuilles étaient brisées.

Ce coefficient est particulièrement élevé pour les feuilles adultes du fait de leur position à la périphérie du faisceau, subissant ainsi l'action directe des consommateurs et/ou celle de l'hydrodynamisme, favorisé par la présence des épiphytes (**MAZZELLA et al., 1983**).

A Kouali selon, **Naimi et Bellahcene (2012)**, le coefficient A dans cette zone est de l'ordre de 60% pour les feuilles globales et de 100% pour les feuilles adultes.

III.4.5 Surface foliaire :

La surface foliaire des feuilles globales exprimée en $\text{cm}^2/\text{faisceau}$ intègre la longueur moyenne, la largeur moyenne et le nombre moyen de feuilles. La surface des feuilles globales est de 287.79 ± 68.5 $\text{cm}^2/\text{faisceau}$.

III.4.6 Indice foliaire IF :

L'indice foliaire dépend de la surface foliaire et de la densité. L'indice foliaire des feuilles globales est de $4,7 \pm 1,3$. Cette valeur reste faible du fait de la faible densité enregistrée au niveau de notre zone d'étude.

III.5 Biomasse des feuilles et des épiphytes des feuilles :

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 12.

Tableau 12: biomasse moyenne des feuilles et des épiphytes des feuilles (Plage Ouest, juillet 2013).

	Biomasse des épiphytes		Biomasse des feuilles	
	mg Ps/fsc.	g Ps/m ²	mg Ps/fsc.	g Ps/m ²
Feuilles adultes	223.8 ±115	36.09± 18.54	978.66±441.9	218.45±98.63
Feuilles intermédiaires	48.45 ±19.89	10.76±4,42	299.8±89.77	66.91±20.03
Feuilles adultes et intermédiaires	272.25±134.89	46.85±22.96	1278.46±91.67	285.36±118.66

D'après les résultats obtenus la biomasse des épiphytes représente en moyenne environ un quart de la biomasse des feuilles adultes, et environ 1/6 de la biomasse des feuilles intermédiaires.

Nous avons remarqué une hétérogénéité de l'épiphytisme des feuilles ; nous avons ainsi constaté que la présence et la biomasse des épiphytes ne dépendent pas de la profondeur mais plutôt de la présence des sources de pollution principalement en matière organique dans la région.

La présence des épiphytes pourrait entraîner une régression progressive de l'herbier du fait de son impact sur l'activité de photosynthèse de la Posidonie.

III.6 Paramètres physico-chimiques :

Tableau 13: résultats des mesures des paramètres physico-chimiques

	Température (°C)	salinité (PSU)	pH
Zone : plage Ouest			
valeur min	16.2	35,03	7.23
valeur max	18.13	35,7	7.38
Moyenne	16.93	35,36	7.30
Ecart type	1,364	0,473	0,106

Les valeurs du pH sont plus faibles à celle de l'eau de mer qui est de 8,2 à 8,3. (**Gaujous, 1995**), ceci constaté dans les trois zones étudiées, Ces valeurs sont probablement dues à la dégradation de la matière organique qui cause l'acidification de ces eaux.

III.7 Les éléments en trace métallique (ETM) :

L'analyse des métaux lourds s'est portée sur les éléments majeurs susceptibles d'engendrer des perturbations sur les biocénoses marines, le mercure, le plomb, et le Zinc; éléments permettant de renseigner sur l'état des lieux et l'origine éventuelle de la Pollution dont les résultats sont présentés ci-après avec discussion.

Pour situer nos résultats nous les avons comparés avec des études antérieures effectuées dans des zones différentes du littoral Algériens.

III.7.1. Résultats des analyses :

III.7.1.1. Compartiment Sédiment:

Les teneurs en éléments toxiques métalliques sont supérieures dans la plage Ouest de Sidi Fredj selon (**Boudaa et Ayat 2013**) comparé à la zone de Bou Ismail selon (**Bouguella et Boudjemal 2012**) et (**Termoul.F 2010**). Figure III.10

La plage Ouest de Sidi Fredj connaît une contamination au Mercure due principalement aux déchets solides essentiellement en papier et en plastique.

Le calcul d'indice de contamination (IC) en mercure, plomb, et zinc nous a permis d'évaluer l'état de pollution par les éléments en trace métallique dans le sédiment.

Suivant les normes Algériennes, les indices de contamination calculés dans la plage Ouest de Sidi Fredj présentent des valeurs inférieures à 3, ce qui indique que toutes les stations ne présentent pas de pollution importante en métaux lourds.

Mais présente tout de Même des concentrations non négligeables en Plomb, Zinc et Mercure.

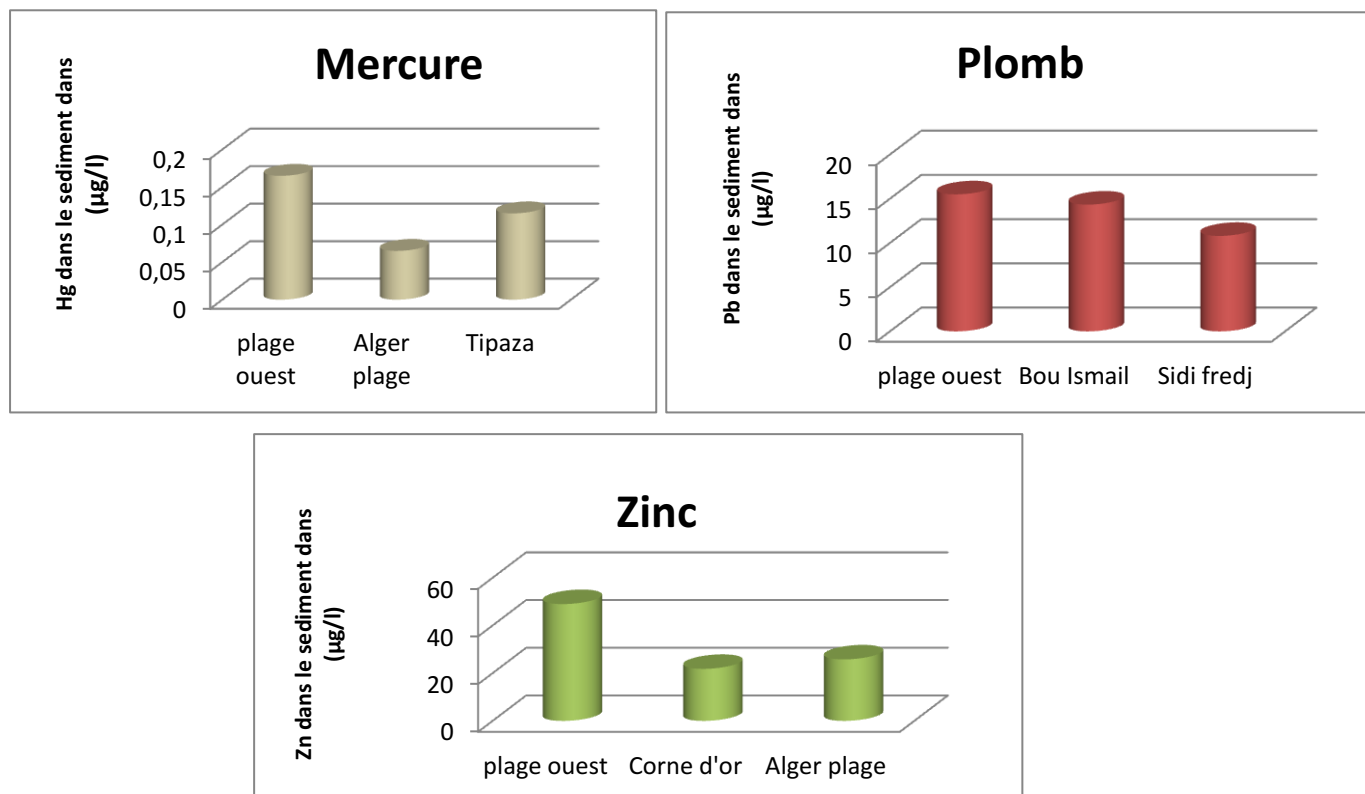


Figure III.10: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes en mercure (Hg), Plomb (Pb), Zinc (Zn) en µg/g P.S dans les sédiments de nos zones d'études avec des études antérieures dans le littoral Algérien.

III.7.1.2. Matrice biologique :

A. Compartiment Posidonie :

D'après nos résultats (Figure III.11) la Posidonie de la plage ouest de Sidi Fredj connaît une contamination plus au moins importante en éléments métalliques comparé à la zone de Tipaza et de Bou Ismail (selon Bouguella et al, 2012).

Nous remarquons des concentrations impotentes en Mercure dans la zone de Tipaza probablement due à l'industrie papetière dans la région.

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

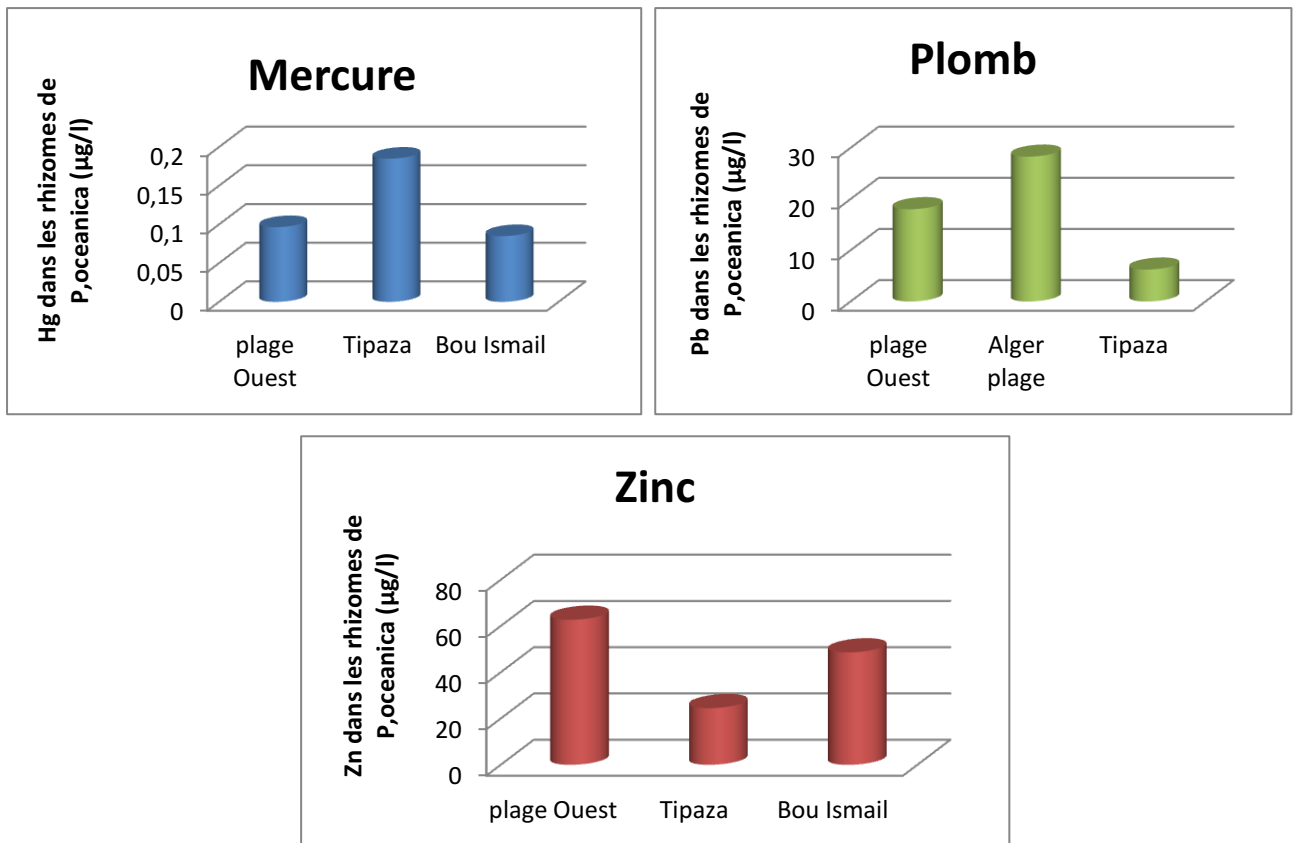


Figure III.11: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes en mercure (Hg), Plomb (Pb), Zinc (Zn) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les rhizomes de *P. oceanica* dans la plage ouest avec des études antérieures dans le littoral Algérien.

B. Compartiment Oursin (*Paracentrotus lividus*) : D'après les résultats obtenus

(Figure III.13) les oursins de la plage Ouest de Sidi Fredj sont les plus contaminés par le Mercure et le Plomb ceci comparé à la zone de Tipaza, de Bou Ismail et d'Alger plage.

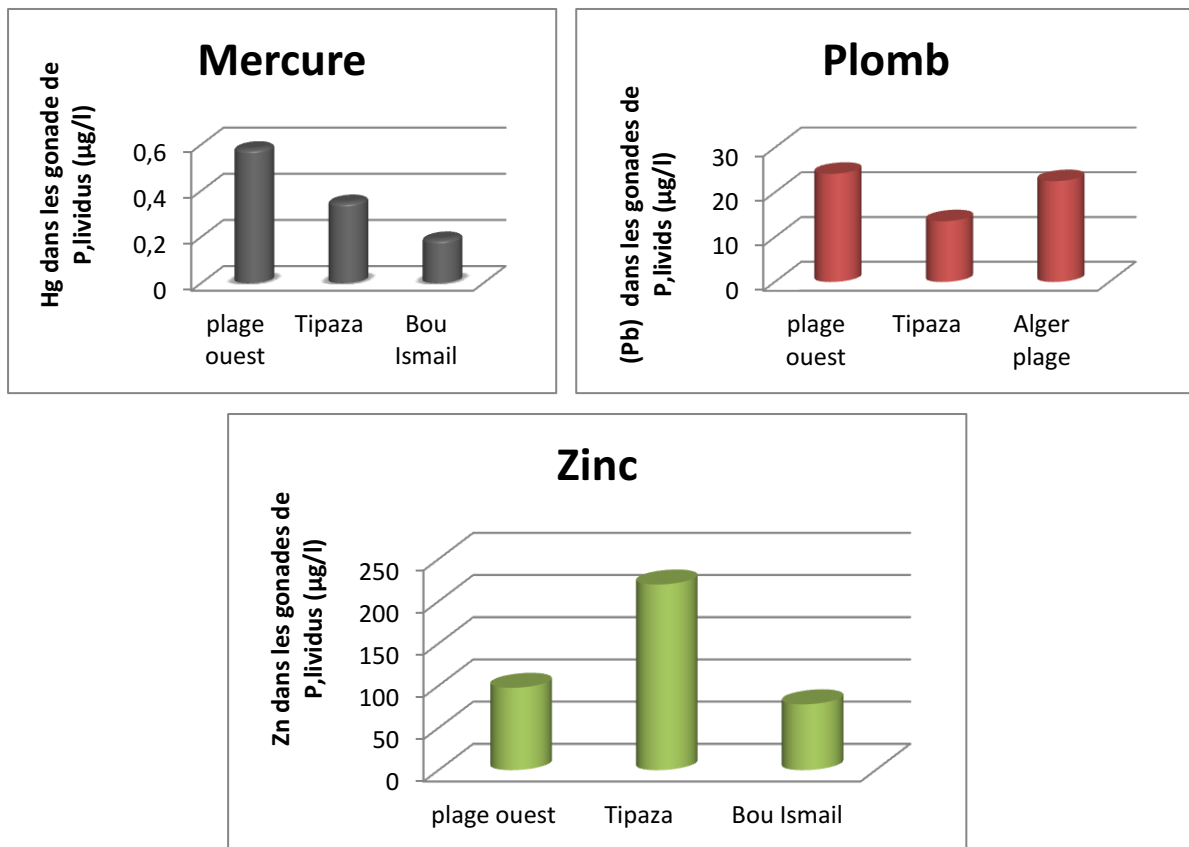


Figure III.13: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes en mercure (Hg), Plomb (Pb), Zinc (Zn) en µg/g P.S dans les gonades de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans la plage ouest avec des études antérieures dans le littoral Algérien.

Conclusion :

L'analyse des métaux lourds dans la plage Ouest de Sidi Fredj et la comparaison des résultats avec ceux obtenus dans la zone de Bou Ismail, et Tipaza nous permet de ressortir des points importants relatifs à l'état de vitalité de l'herbier de Posidonie :

- ☞ L'herbier de plage Ouest de Sidi Fredj est en régression permanente compte tenu du recul de sa limite supérieure **Boutarene et Ghanem (2010)** (Figure III.14), et du fait des quantités impotentes de matre morte observé dans la zone, ceci probablement du à la contamination chimique alarmante dans la zone par les éléments toxiques métalliques

(Principalement par le Mercure) qui constitue un danger considérable sur *Posidonia oceanica* mais aussi au niveau de la chaîne trophique entière (contamination du *Proracetratus lividus*)

- ☞ La densité et le taux de recouvrement de l'herbier à Posidonie à Sidi Fredj sont moins important par rapport à Kouali qui présente selon **Naimi et Bellahcene (2012)** des indices vitaux traduisant l'existence d'un herbier prospère de bonne qualité, les faibles teneurs en éléments toxiques enregistrées à Bou Ismail selon Bouguella et al (2012) confirme ces résultats.
- ☞ **Ainsi l'approche biologique (paramètre vitaux et biométriques), et chimique (métaux lourds) , prouvent l'impact directe de la pollution chimique sur l'état de santé de l'herbier à *Posidonia oceanica*.**



Figure III.14 : Recul de la limite supérieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* (Selon Boutarene et Ghanem 2010)

Le recul de limite supérieur de *Posidonia oceanica* a été constaté par **Boutarene et Ghanem (2010)**, car les premières touffes de *Posidonia* n'apparaissent qu'à partir d'environ 100 m à partir du trait de côte à environ 0.8 m de profondeur.

Nous avons constaté par nous même cette régression car nous avons trouvé dans les premiers mètres une prolifération de *Caulerpa racemosa* et de *cymodocea nodosa*.

Posidonia oceanica n'apparaît par endroit qu'à partir de 1m de profondeur.

Conclusion
Générale

Conclusion générale

En prenant compte la potentialité de l'herbier à Posidonie, et l'obligation de sa surveillance et de sa protection ; dans le cadre de notre recherche nous nous sommes intéressées à la plage Ouest de Sidi Fredj qui connaît de plus en plus fortes pressions anthropiques surtout en saison estivale.

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.

Ainsi à l'issue de cette étude nous avons pu ressortir des points importants dont les principales sont :

L'observation In-situ par plongé autonome nous a permis de constater plusieurs points :

- *Cymodocea nodosa* a 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.
- L'herbier de Posidonie a été localisé à partir de 0.5 m de profondeur sous forme de tâche ou de faisceaux dispersés.
- une prolifération de *Caulerpa racemosa* a été observé sur différents types de substrats : rocheux, sableux ; substrat mobile, et même déchet solide, et qui exerce une forme de compétition sur l'herbier à Posidonie.
- 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 rhizomes déchaussés au niveau de la plage ouest de Sidi Fredj.
- Sur l'ensemble des relevés effectués dans la zone, la densité moyenne de l'herbier à Posidonie s'échelonnent entre 221 à 305 faisceaux/m², qui correspond à un herbier très clairsemé de type IV, selon la classification de **GIRAUD (1977)**.

Conclusion générale

- le recouvrement est estimé à environ 30.8 %, qui constitue un recouvrement moyen selon la classification de **CHARBONNEL et al, (2000)**.
- Les mesures des paramètres biométriques nous ont permis d'avoir des données sur la longueur, la largeur, la surface et le nombre de feuilles ; ces données permettront dans le cadre de d'autres travaux de fin d'étude de constater des modifications progressives ou régressives de l'herbier.
- Une hétérogénéité de l'épiphytisme des feuilles à différentes profondeurs, gouvernée par la présence des rejets d'eau usée, ces différences de présence et de biomasses des épiphytes traduisent l'impact direct de la pollution chimique sur la microfaune et flore qui se fixe sur les feuilles de Posidonie.
- L'analyse des métaux lourds nous a permis de constater une contamination non négligeable en Mercure qui a augmenté par rapport à 2010 (selon l'étude de Termoul).
- Selon la classification établie par (**Pergent-Martini et al., 2005**) l'herbier de la plage Ouest de Sidi Fredj est en mauvais état.
- L'oursin commun *Paracentrotus lividus* de la plage ouest de Sidi Fredj accumule des quantités importantes de produits toxiques dans ses gonades et qui constituent un problème sérieux pour la santé humaine.

Recommendations

Recommandations

Pour finir ce chapitre, nous proposons quelques mesures et recommandations afin de permettre une meilleure gestion et amélioration de l'état de santé de l'écosystème à Posidonie :

- ◆ 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.
- ◆ 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 de d'autres projets de fin d'étude.
- ◆ Considérer d'avantage de stations dans la plage Ouest de Sidi Fredj, ainsi que la considération d'autres paramètres non traités dans la présente étude afin de maîtriser efficacement les problèmes liés à la pollution (analyses microbiologiques.).
- ◆ Eviter de faire des travaux en été, saison au cours de laquelle la plante reconstitue ses réserves.
- ◆ Répertorier et identifier toutes les sources de pollution et les rejets d'origine industrielle, agricole ou domestique dans la plage ouest de Sidi Fredj pour mieux les gérer.
- ◆ Concernant les émissaires urbains domestiques, 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 dessalure portera préjudice à l'herbier.
- ◆ Le plus simple à faire est de sensibiliser les citoyens de l'importance et l'intérêt écologique de l'herbier à Posidonie.

Recommandations

Pour finir ce chapitre, nous proposons quelques mesures et recommandations afin de permettre une meilleure gestion et amélioration de l'état de santé de l'écosystème à Posidonie :

- ◆ 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.
- ◆ 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 de d'autres projets de fin d'étude.
- ◆ Considérer d'avantage de stations dans la plage Ouest de Sidi Fredj, ainsi que la considération d'autres paramètres non traités dans la présente étude afin de maîtriser efficacement les problèmes liés à la pollution (analyses microbiologiques.).
- ◆ Eviter de faire des travaux en été, saison au cours de laquelle la plante reconstitue ses réserves.
- ◆ Répertorier et identifier toutes les sources de pollution et les rejets d'origine industrielle, agricole ou domestique dans la plage ouest de Sidi Fredj pour mieux les gérer.
- ◆ Concernant les émissaires urbains domestiques, 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 dessalure portera préjudice à l'herbier.
- ◆ Le plus simple à faire est de sensibiliser les citoyens de l'importance et l'intérêt écologique de l'herbier à Posidonie.

*Références
bibliographiques*

A

Agostini, S ; Desjobert, J.M et Pergent, G. (1998). Distribution of phenolic Compounds in the seagrass *Posidonia oceanica* *Phytochemistry*, 48 (4): 611-617.

Alzieu, C., Michel, P., Chiffolleau, J.F., Boutier, B., et Abarnou, A., (1999). Dragage et environnement marin. État des connaissances. *IFREMER*, 209p.

Augier et al., (1980). Etude de la contamination expérimentale de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* (L.) défilée par les composés mercuriques. Volume 23, Issue 2, October 1980, Pages 153–162.

Augier, H., Boudouresque, C.F., (1967). Premières observations sur l'herbier de Posidonies et le détritique côtier de l'île du Levant (Méditerranée, France), à l'aide du "sous-marin" Griffon de la Marine Nationale. *Tr av. sci. Parc nation. Port-Cros*, 5: 141-153.

B

Bellahsen, Y., Messaoudi, S., (2005). Etude bathymétrique, sédimentologique et pollution par les métaux lourds de la baie d'El Djamil. Mémoire d'ingénieur, ISMAL, 13-26p.

Bergbauer, M., Humberg, B., (1999). La vie sous marine en Méditerranée. Eds VIGOT. Paris, 318 p.

Ben Alaya, H., (1972). Répartition et conditions d'installation de *Posidonia oceanica* Delile et *Cymodocea nodosa* Ascherson dans le golfe de Tunis. *Bull. Inst. Océanogr. Pêche Salammbô*, 2(3): 331-416.

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.

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 et Vitiello, P. (1994). Les herbiers à Phanérogames marines. Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives, Bellan-Santini D., Lacaze J.C., Poizat C. edit., *Museum National d'Histoire naturelle publ.,Paris* : 98-118.

Boudouresque, C.F. (1996). Impact de l'homme et conservation du milieu marin en Méditerranée. 2^e édition. *GIS Posidonie publ., Fr.* pp : 1-243.

Boudouresque ,C.F., 2003. The erosion of Mediterranean biodiversity.*In:* Rodríguez-

Prieto C., Pardini G. edits. *The Mediterranean Sea : an overview of its present state and plans for future protection.* Servei de Publicacions de la Universitat de Girona: 53-112.

Boudouresque, C.F., (2004). Marine biodiversity in the Mediterranean biodiversity. In: Rodríguez- populations and communities.Sci.Rep.Port-cros natlpark 20:97-146.

Boudouresque, C.F., Bernard, G., Bonhomme, P.,Charbonnel, E.,Diviacco, G., Meinesz, A., Pergent, G.,Pergent-Martini, C.,Ruitton, S., Tunesi, L., (2006). Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. edit., RAMOGE publ. : 1-202.

Boughella, M., Boudjemal, N (2012). Contribution a l'étude de la pollution chimique de l'écosysteme a *Posidonia oceanica* dans la baie de Bou Ismail et la baie Zemmouri (El Marsa). Mémoire d'Ingénieur d'état. Option : Environnement marin. ENSSMAL.57p.

Boumaza, S., (2003). Biodiversité des habitats à phanérogames marines des côtes algériennes. In Biodiversité marine et littorale algériennes, dir GRIMES S., ED-Diwan, Alger, PP 95-108.

C

Caye, G., (1980). Sur la morphogénèse et le cycle végétatif de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doct., Univ. Aix-Marseille 2, Fr.: 1-121.

Caye & Meinesz., (1984). Polymorphism and Development of *Posidonia oceanica* Transplanted from Different Parts of the Mediterranean into the National Park of Port-Cros. *Botanica Marina.* Volume 36, Issue 3, Pages 209–216.

Charbonnel E.,BoudouresqueC.F et al., (1995) Le Réseau de surveillance Posidonies de la région Provence-Alpes. Côte d'Azur. Rapport (4ème phase 2ème année). Région PACA/GIS Posidonie / CQEL 13 / CQEL 83 / DQECV / CQEL 06. GIS Posidonie Publ., Marseille, Fr. : 193 PP.

Charbonnel, E ; Ody, D ; LE Direach, L et Ruitton, S. (2000). Effet de la complexification de l'architecture des récifs artificiels du Parc National de Port-Cros sur les peuplements ichtyologiques. Contrat Parc National de Port-Cros & GIS Posidonie publ., Fr.pp:1-64.

Cinelli et al., (1995). Développement et dynamique saisonnière d'un peuplement méditerranéen de l'algue tropicale *Caulerpa racemosa* (Forsskl) J. Agardh. Pages 295–300.

Conde Poyales, F., (1989). Ficogeografia del mar de Alborán en el contexto del Mediterráneo occidental. An. Jard. bot. Madrid 46(1): 21-26.

Cuny, P ; Serve, L ; Jupin, H ; Boudouresque, C.F. (1995). Water soluble phenolic compounds of marine phanerogam *Posidonia oceanica* in a Mediterranean area colonised by the introduced Chlorophyte *Caulerpa taxifolia*. Aquatic Botany, 52 : 237- 242.

D

Dance & Savy., (1987). Predation on *Paracentrotus lividus* by *Marthasterias glacialis*. At Port-cros (France. Mediterranean). 135-41p.

DAGNELIE Pierre., (1973). Statistique théorique et appliquée (3^e Éd.) : Tome 1. Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique. Ouvrage 517 p.

Delpine R., Cabioc'h j., Floc'h J.y., le toquin A., Boudouresque C.F., Meinesa A., Verlaque M., 2006. Guide des algues des mers d'Europe. Delachaux et Niestlé (PARIS), 272p.

Delpine R., Boudouresque C.f., et al ., (1987). Algues et autres végétaux marins. In : Fischerr W., Schneider M., Bauchot M.L., Fiche FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche :Méditerranée et mer Noire.FAO – CEE (Rome) :1-136.

Den Hartog, C., (1970). The sea-grasses of the world. In Afd. Natuukunde 59,1.275p.

De Giovanni, C., (1973). Etude de sédimentologie dynamique a la presqu'île de Sidi-Freuch (Ouest d'Alger), thèse de doctorat, Géologie marine et sédimentologie, Univ D'Aix Marseille, 105P

Denis J., Herve G., Deneux F., Sauzade D., Bonhomme P., Bernard G., Boudouresque C.F., Leriche A., Charbonnel E., LE Direach L., (2003) .Cartographie des biocénoses marines. Volet N°1 : l'herbier à *Posidonia oceanica*. Guide méthodologique. IFREMER, Centre d'Océanologie de Marseille et Gis Posidonie : 1-93.

Drew., (1971). A field study of the growth dynamics and productivity of *Posidonia oceanica* (L.) delile in Calvi Bay, Corsica. Volume 20, Issues 1–2, October 1984, Pages 43–64.

E

Elkalay, K., Frangoulis, C., Skliris, N., Goffart, A., Gobert, S., Lepoint, G., Hecq, J.H., (2003). A model of seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Bay of Calvi (Northwestern Mediterranean). *Ecol. Model.* 167: 1-18.

F

Ferrat, L; Bingert, A; Romeo, M; Gnassla-Barelle, M et Pergent-Martin,C., (2001). Mercury uptake and enzymatic response of *Posidonia oceanica* after an experimental exposure to organic and toxicology and chymistry 21(11), 2365-2371.

G

Gamulin-Brida, H ; Pozar, A ; Ssimunovic, A et Span, A. (1973). Les conséquences biologiques de la pollution des eaux marines sur les biocénoses benthiques. Groupement des biocénoses benthiques de la mer Adriatique du point de vue de pureté des eaux. *Atti Coll. internazion. Oceanogr. medit.* 5: 137-159.

Gamulin-bridan., (1974). Biocenoses benthiques de la mer Adriatique. *Acta Adriatica* 159 :1-102+1 carte.

Gaujous, D., (1995). La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Ed. Technique et Documentation Lavoisier, 220p.

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

Gravez Leveau, M., Michel, P., Robert, G., Sourenian, Boudouresque, C.F., B., Vitiello, P., (1988). Analyse de l'état initial du golfe de giens. Synthèse et conclusions générales. Etude d'impact pour le rejet des effluents issus de la station d'épuration d'hyeres BCEOM et GIS posidonie, GIS posidonie publ., Fr. ;:1-25.

Guendouzi Y., (2011). Contribution à l'étude d l'impact de la pollution chimique sur l'herbier à posidonie dans la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur d'état en environnement. ENSSMAL. 64p.

H

Hartog D., (1970). Biogeography of Corals, Seagrasses, and Mangroves: an Alternative to the Center of Origin *Concept_Syst. Zool.* 25:201–210t.

Harmelin-Vivien, 1982., (1984). Food partitioning among scorpaenid fishes in Mediterranean seagrass beds. *In Journal of Fish Biology* , Volume 34, Issue 5, pages 715–73.

K

Khoury., (1984). *In* Foraging interactions among three benthic fish in a *Posidonia oceanica* reef lagoon along the Tyrrhenian Coast. *In Journal of Fish Biology* Volume 54, Issue 6, pages 1300–1309.

Krijgsman.W, F. J. Hilgen, I. Raf, F. J. Sierro & D. S. Wilsonk (1999): Chronology, causes and progression of the Messinian salinity crisis. *In “Macmillan Magazines Ltd”*.

Kuo, J., Den Hartog, C., (2001). Seagrass taxonomy and identification key. *In “Global Seagrass Research Methods”*, F.T. Short and Coles (editors): 31-58p.

L

Lamouti, S., (2006). Essai de cartographie des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la zone du PAC (Plage de la thalassothérapie Sidi Fredj). Mémoire d’Ingénieur, Option : Environnement Marin. ISMAL. 41p.

M

Mazzella. L et al., (1983). Reproductive phenology of the Mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica* (L.) Delile, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers., and *Zostera noltii* Hornem. “A. Dohrn” di Napoli, 80077 Ischia, Italy.

Mazzella. L, Gambi MC, Russo GF, Bula MC (1984). Deep flowering and fruiting of *Posidonia oceanica* beds around Island of Ischia (Gulf of Naples, Italy). *In: Boudouresque CF, Jeudy de Grissac .A, Olivier J (eds) International LWorkshop Posidonia oceanica beds. GIS Posidonie Publ, Marseille 1:203-209p.*

McKenzie., (1999). The Impact of Exchange Rate Volatility on International Trade Flows. *In Journal of Economic Surveys*, Volume 13, Issue 1, Pages 1–117.

Meinesez, A., Molenaar, H., Bellone, E., Loques, F., (1978). Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. I. Effets of rhizome length and transplantation season in orthotropic shoots. *Marine Ecology PS ZNI* 13(2) 163-174.

Miranda Molenaar.,(1992). Transcription Factor Mediates β -Catenin-Induced Axis Formation in *Xenopus* Embryos. Volume 86, Issue 3, 391-399, 9 August 1996.

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

Molinier, R., Picard, J., (1953). Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. Océanogr.* Paris, 27 : 157-234.

Moreno et al., (2001). Assessment of the conservation status of seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows: implications for monitoring strategy and the decision-making process. Elsevier December 2001, Pages 325–332.

N

Naimi. M ., Bellahcene ., 2012. Surveillance de l’herbier à *Posidonia oceanica* au niveau du récif barrière de Kouali. Mémoire d’ingénieur, ENSSMAL, 52p.

Nedelec., 1982. Ethologie alimentaire de *Paracentrotus lividus* dans la baie de Galaria (Corse) et son impact sur les peuplements phytobenthiques. Thèse Doct 3^o cycle Oceanologie, Univ. P. et M. Curie Paris et Univ. Aix-Marseille 2 , Marseille, Fr. : 1-175.

P

Perez .M., (1984) . Seagrass mortality due to oversedimentation: an experimental approach. *In Journal of Coastal Conservation* 4: 67-70.

Pergent, G., Boudouresque, C. F., Crouzet, A., Meinesz, A., (1987). Cyclic changes along *Posidonia oceanica* rhizomes (lepidochronology): present state and perspectives. *Marine Ecology*, P S Z N I 10 (3): 221-230.

Pergent G., Pergent-Martini C., 1991. Mercury levels and fluxes in *Posidonia oceanica* meadows. *Environmental Pollution* 106 (1999) 33–37

Pergent-Martini, Zouali C., (1992). *Posidonia oceanica*: a biological indicator of past and present mercury contamination in the Mediterranean Sea. *Mar. Environm. Res.* 45(2): 101-111.

Pergent-Martini, C., (1994). Impact d'un rejet d'eaux usées urbaines sur l'herbier *Posidonia oceanica*, avant et après la mise en service d'une station d'épuration. Thèse doctorat, univ, Corté.

Pergent, G., Romero, J., Pergent-Martini, C., 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.

Pergent, G., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C. F., (1995). Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée*, 54: 3-27.

Pergent, G ; Rico-Raimondino, V et Pergent-Martini, C. (1997). Fate of primary production in *Posidonia oceanica* meadows of the Mediterranean. *Aquatic Botany*, 59 : 307-321

Pergent-Martini, C., Pergent, G., (2000). Are marine phanerogams a valuable tool in the evaluation of marine trace-metal contamination : example of the Mediterranean Sea ? *Int. J. Environm. Poll.* 13(1-6): 126-147.

Pergent G., Djellouli A., Hamza A.A., Ettayeb K.S., El Mansouri A.A., Talha F.M., Hamza M.A., Pergent-Martini C., Platini F., (2002). Characterization of the benthic vegetation in the Farwà lagoon (Libya). *J. Coastal Conservation* 8: 119-126.

Pergent-Martini, C., Pergent, G., (2004). Are marine phanerogams a valuable tool in the evaluation of marine trace-metal contamination: example of the Mediterranean Sea; *Int. J. Environm. Poll.* 13(1-6): 126-147.

Pergent-Martini et al., (2005). Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: Use and application. *In Ecological Indicators*. Volume 5, Issue 3, August 2005, Pages 213–230.

Piovetti, L ; Serve, L ; Combaut, G et Gadel, F. (1984). Analyse des substances phénoliques des restes de *Posidonia oceanica* (L.) Delile provenant de sédiments holocènes et de dépôts actuels. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 137-144.

Por, (1978). Introduction of the tropical alga *Caulerpa taxifolia* and its invasion of the northwestern Mediterranean. *In Oceanologica Acta* (0399-1784) (Gauthier-Villars), 1991 , Vol. 14 , N. 4 , P. 415-426.

R

Rico-Rai Mondino, V., (1995). Contribution a l'étude des stocks et flux d'éléments dans l'herbiers a *Posidonia oceanica*. These doctorat ecologie Univ-Aix-MarseilleII, Fr. : 10p non num + 1-248.

Robert Meaille., (1988). Constitution d'une banque de données géocodées et synthèse cartographique. Oceanologica acta. Vol.11-N°2.

Ruiz, J.M., Romero, J., (2001). Effets of in situ experimental shading on the Mediterranean sea grass *Posidonia oceanica*. Marine ecology progress series 215,107-120.

S

Savy, S. (1987). Activity pattern of the sea-star, *Marthasterias glacialis*, in Port-Cros bay (France, Mediterranean coast). Mar. Ecol. PSZN, 8 (2): 97-106.

SEMROUD, R. (1993). Contribution a` la connaissance de l'écosystème a *Posidonia oceanica* (L) Delile dans la région d'Alger (Algérie): étude de quelques compartiments. PhD thesis, Institut des Sciences de la Nature, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Algérie. 129 pp.

T

Tarmoul, F., (2010). Contribution à l'étude de l'impact de la pollution chimique sur l'herbier à posidonie dans la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'Ingénieur d'état. Option : Environnement marin. ENSSMAL.75p

V

Velimirov, B. (1984). Grazing of *Sarpa salpa* L. on *Posidonia oceanica* and utilization of soluble compounds. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 :381-387

Verlaque, M et Nedelec, H. (1983). Biologie de *Paracentrotus lividus* (Lamarck) sur substrat rocheux en Corse (Méditerranée, France) : alimentation des adultes. Vie Milieu, 33 (3-4) : 191-201.

Videau et Merceron., (1992). Impact de la pisciculture marine intensive sur l'environnement. In Revue bibliographique. Ifremer DEL. BREST - 92.13.

Z

ZUPI, V et FRESI, E. (1984). A study of the food web of the *Posidonia oceanica* ecosystem: analysis of the gut contents of Echinoderms. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1: 373-379.

Zolokar, M., (1942). Les associations « sous-marine » de la cote adriatique au dessous de Velebit. Bull. Soc. Bot. Genève 33:171-195.

Sites Web:

[www.google earth 2008. Fr](http://www.google.com/earth)

[www.google earth 2011.fr](http://www.google.com/earth)

[www.google earth 2012.fr](http://www.google.com/earth)

<http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/dossiers/pollutionchimique/index.tm> :
Septembre 2013

Annexe I

Le matériel utilisé:



Figure I.1 : Quadra de 30/30cm

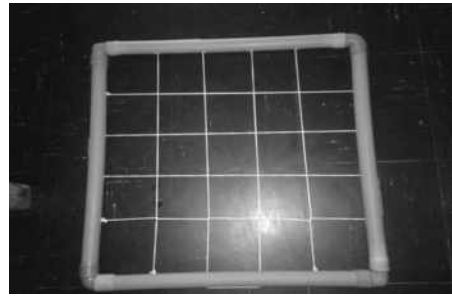


Figure I.2 : Quadra de 50/50cm



Figure I.3: Oxymètre de terrain
de type (WTW Oxi 197 i/set)



Figure I.4: pH mètre de terrain
de marque (WTW pH 315)

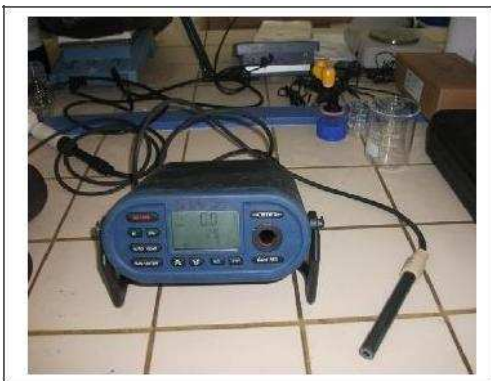


Figure I.5: Conductimètre de terrain
de type (Cond 197i, WTW).

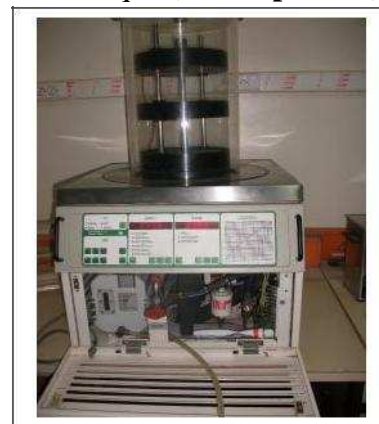


Figure I.6: lyophilisateur



Figure I.7: Dessiccateur



figure I.8: Système de filtration



Figure I.9: Four a moufle



Figure I.10: Etuve



Figure I.11: Une balance



Figure I.12 :Spectrophotomètre
Sartorius, MC-210S



Figure I.13: Plaque chauffante
Cerant 500, 22SR



Figure I.14: Micropipette



Figure I.15: Minéralisation de
sédiments pour le dosage des Métaux lourds



Figure I.16 : Mortier en porcelaine



Figure I.17 : SSA automatisé avec
Échantillonneur automatique

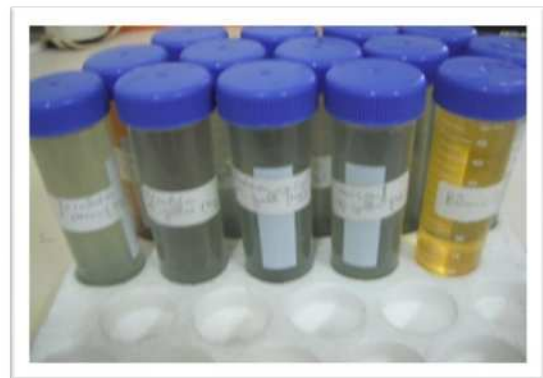


Figure I.18 : tube conique
Pour les métaux lourds

Annexe II

Travaux effectués

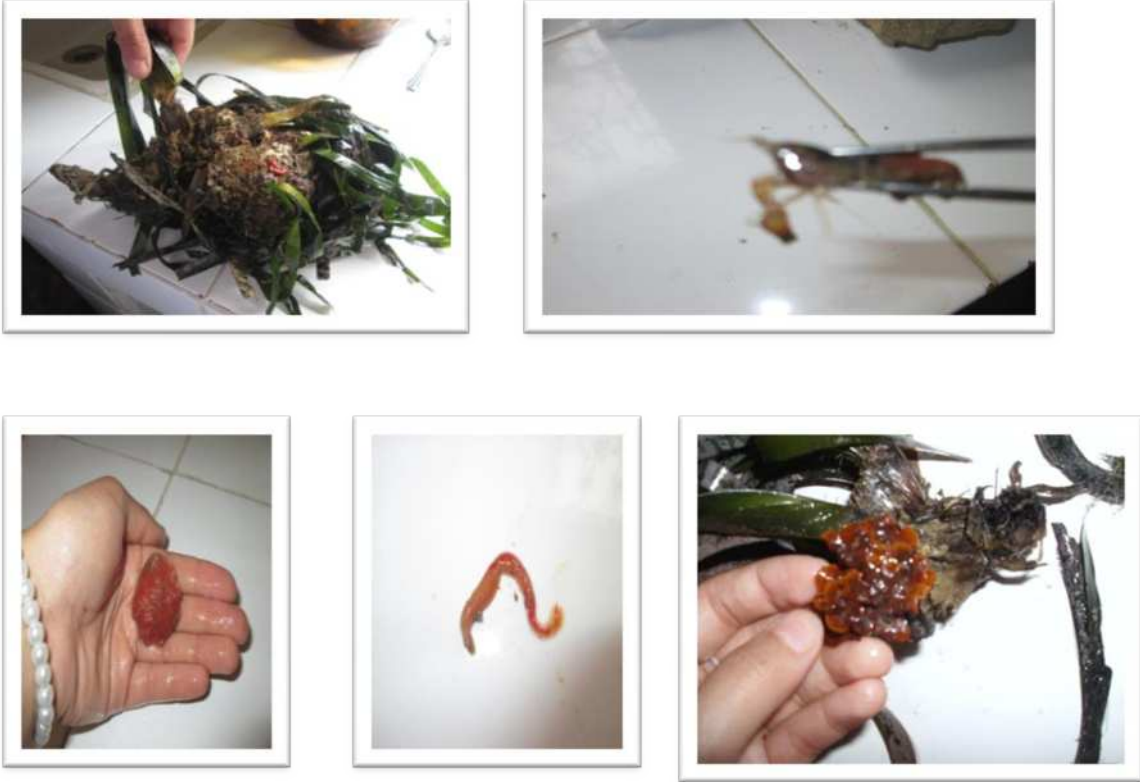


Figure II.1 : identification des espèces associées à l'écosystème à *Posidonia oceanica*



Figure II.2 : les travaux de mesures des paramètres biométriques

Annexe III

Protocole d'analyse des métaux lourds :

Conditionnement du matériel utilisé:

Afin d'éviter toute source de contamination, le matériel qui servira à l'échantillonnage et au prétraitement doit être soigneusement nettoyé suivant la procédure décrite ci-dessous :

- Lavage aux détergents commerciaux
- Rinçage à l'eau courante
- Rinçage à l'acide chlorhydrique dilué (HCL 5%)
- Rinçage à l'eau bidistillée
- Séchage à l'étuve

Conservation du sédiment:

Les sédiments prélevés (3 prélèvement de sédiment superficiel) ont été directement mis dans des sachets en plastique avec les indications nécessaires. Ils ont été conservés à basse température (- 18°C) pour éviter toute perte d'éléments volatils et des modifications d'équilibre chimique et d'arrêter le développement de l'activité bactérienne.

Prétraitement du sédiment pour l'analyse des métaux lourds :

La méthode appliquée pour le traitement des échantillons destinés à l'analyse des éléments métalliques s'est effectuée selon les étapes suivantes :

Conservation et lyophilisation :

Avant la lyophilisation, les échantillons recueillis sont directement conservés à une basse température (-18°C), afin d'éviter toute perte d'éléments volatils. La lyophilisation est un procédé de déshydratation par sublimation, c'est-à-dire que l'eau contenue dans le sédiment va passer de l'état solide à l'état gazeux sans passer par l'état liquide, car ce dernier peut modifier les propriétés chimiques initiales du

sédiment. Les sédiments congelés ont été placés dans un lyophilisateur pendant 6 heures, à une température de -58°C et à une pression de 0.1 mbar.

Broyage :

Les échantillons lyophilisés ont été broyés à l'aide d'un mortier en agate afin de les réduire en poudre et d'homogénéiser la répartition des particules sédimentaires.

Minéralisation :

Pour le Zinc et le Plomb :

Elle est réalisée en deux étapes : minéralisation à blanc qui consiste à nettoyer les godets pour avoir des résultats fiables, dans chaque godet on met 8 ml d'eau régale (1 volume HNO_3 65% + 3 volumes HCl 35%) et on les ferme de façon étanche puis on les pose sur plaque chauffante à 120°C pendant 2h30.

On laisse refroidir les godets après les 2h30 de réchauffement, on ouvre soigneusement les soupapes puis on ouvre les godets sous une haute aspirante, tout en récupérant l'acide pour autre utilisations. On rince les godets à l'eau distillée puis on les met à l'étuve.

La deuxième étape est la minéralisation des échantillons, On met 0,5 g de sédiment sec dans chaque godet et on ajoute 8 ml d'eau régale et on ferme les godets de façon étanche puis on les pose sur plaque chauffante à 120°C pendant 2h30.

Les échantillons minéralisés sont transvasés dans des tubes coniques de 50 ml, chaque fois les godets sont rincés avec l'eau distillée au moins 3 fois pour récupérer le reste de l'échantillon. On ajuste jusqu'au trait de jauge (50 ml) avec l'eau distillée. Ensuite on fait la lecture à l'aide d'une spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA).

(Annexe I).

Pour chaque série, on réserve un godet pour le témoin blanc (8ml D'eau régale).

Pour le mercure :

Ajouter dans chaque tube 5ml d'acide nitrique (HNO_3 :69% pour analyse, ISO, Merck) (pour le biologique comme pour le sédiment) ;

-Poser les tubes sur une plaque chauffante (Ceran 500, 22SR) pendant 3h à 90°C . -Laisser les tubes refroidir à une température ambiante avant ouverture ;

-Préparer une solution de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) : dissoudre 5g de $K_2Cr_2O_7$ (poudre) dans 50ml d'eau distillée ;

-Mettre dans un tube conique un fond d'eau distillée, puis l'échantillon, ajouter 1ml de $K_2Cr_2O_7$, et diluer jusqu'au trait de jauge (50ml).

-Laisser décanter avant analyse.

Principe de la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) :

La spectrophotométrie d'absorption atomique est fondée sur le phénomène d'absorption ou l'émission de la lumière d'un élément métallique.

L'échantillon est placé dans une capsule au niveau de l'échantillonneur automatique.

Une goutte de l'échantillon de volume 20ul est déposée sur un tube en graphite qui est progressivement chauffé pour évaporer, calciner, volatiliser et enfin atomiser les éléments métalliques présents dans l'échantillon.

Le faisceau lumineux d'une lampe à cathode creuse contenant le métal à doser est dirigé à travers le tube en graphite et le métal à doser est dirigé à travers le tube en graphite et le métal volatilisé et atomisé absorbe l'énergie de la lampe.

La quantité de cette lumière de la lumière s'effectue à des longueurs d'ondes définies pour chaque élément à doser (**Annexe IV**).

La loi d'absorbance en absorption atomique :

La mesure de l'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi **BEER LAMBERT** selon laquelle :

L'absorbance est proportionnelle au coefficient d'adsorption spécifiques « **a** », au trajet optique « **b** », et à la concentration « **c** ».

$$A = abc = \log I_0/I$$

Où **I** : intensité après absorption par les atomes

I₀ : intensité initiale de la source lumineuse 0

Etalonnage :

La mesure de la concentration d'un élément à doser dans un échantillon, se fait par comparaison directe avec des teneurs connues du même élément.

Ainsi l'appareil est étalonné à partir de solutions étalons qui contiennent des teneurs connues de l'élément à doser. Ces solutions étalons (standards) sont préparées à partir de solutions mères qui ont une concentration d'un 1g par litre (1g/l) de l'élément à doser.

Plusieurs dilutions sont effectuées afin d'obtenir des solutions étalons (standards) correspondant à chaque élément à doser.

La spectrophotométrie d'absorption atomique nous donne directement les concentrations (Cx) du métal considéré dans l'échantillon analysé exprimé en µg/l. sachant que 1g de sédiment minéralisé est dilué dans 100ml d'eau dionisée, nous calculons ainsi la concentration (C'x) de l'élément dans 1g de sédiment et le résultat est exprimé en µg/g ou mg/g suivant la formule :

$$C'x (\mu\text{g/g}) = Cx (\mu\text{g/l}) \times V (\text{ml}) / M (\text{g})$$

Cx: concentration du métal en µg/l

C'x : concentration du métal en µg/g

M : masse du sédiment minéralisé en g

V : volume de la solution finale après dilution en ml

Les valeurs guides :

Les stratégies de définition des valeurs guides (**Tableau II.4**) sont largement laissées à l'appréciation des autorités compétentes de chaque pays.

De manière générale, elles sont établies par référence à des rapports de présence des contaminants dans le sédiment, ou par rapport à une estimation de leur fraction biodisponible (fraction extractible) ou à des concentrations (sans effets, effets mineurs, effets néfastes).

Tableau 6: Valeurs guides pour les métaux lourds (µg/g) par différents pays
(ABRCM, 1980)

Pays	Mercure	Plomb	Zinc
Algérie	1.5	250	500
France	0.2	22	80
Hollande	0.3	85	140

Indice de contamination (IC) :

L'indice de contamination est utilisé pour déterminer l'état de pollution dans une zone étudiée, et ceci se fait par rapport aux zones de références, on le calcule suivant la formule suivante :

$$IC = \frac{\text{concentration observée}}{\text{Concentration normale}}$$

Les valeurs trouvées sont interprétées selon le tableau suivant (Alzieu et al., 1999)

Tableau 7 : Valeurs de l'indice de contamination (Alzieu et al., 1999)

IC Observation	Observation
IC < 3	Concentration normale
3 < IC < 10	Cas de pollution
IC > 10	Zone à risque

Relation entre le mercure et l'état de l'herbier de posidonie :

Selon (Pergent-Martini et al., 2005) les concentration en mercure dans l'herbier a posidonie reflète la qualité de ce dernier.

Tableau II.7: Classification des herbiers de *Posidonia oceanica* en fonction de l'état de traces de contamination métallique par le mercure µg/g P.S. (Pergent-Martini et al., 2005)

Hg (µg /g)	Qualité de l'herbier
< 0,048	Haute
0,048 – 0,096	Bonne
0,097 – 0,144	Modérée
0,145 – 0,192	Pauvre

Annexe IV

Gammes étalons pour le dosage des métaux lourds :

Gamme-étalons du Mercure pour les 3 matrices.

Standards	[Hg]($\mu\text{g/l}$)	Absorbance
Blanc	0	0,0000
Stand. n° 1	5	0,0249
Stand. n° 2	10	0,0526
Stand. n° 3	15	0,0856
Stand. n° 4	25	0,1661
Stand. n° 5	50	0,3626

Gamme-étalons du Plomb pour les 3 matrices.

Standards	[Pb](mg/l)	Absorbance
Blanc	0	0,0000
Stand. n° 1	0,5	0,0024
Stand. n° 2	1	0,0047
Stand. n° 3	2	0,0092
Stand. n° 4	5	0,0255
Stand. n° 5	7	0,0323

Gamme-étalons du Zinc Pour les 3 matrices.

Standards	[Zn](mg/l)	Absorbance
Blanc	0	0,0000
Stand. n° 1	0,3	0,0391
Stand. n° 2	0,5	0,0802
Stand. n° 3	1	0,1298
Stand. n° 4	1,5	0,1904
Stand. n° 5	2	0,2551