

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer
et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de Fin d'Études
En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Sciences de la Mer
Option : Biodiversité et gestion des écosystèmes

Thème :

**Contribution a l'étude de l'évolution de l'herbier à
Posidonie (Posidonia oceanica)
sous l'effet de la pression anthropique dans la baie
de Bou-Ismail à Alger**

Présenté par :

Melle. BELEFDEL Besma

Melle. BELGHORAF Mama

Soutenu le 31 Décembre 2020, devant le jury composé de :

Mme. MAHDID S

Présidente

Mme. GHALMI R.

Promotrice

Mlle. HENDA A.

Examinatrice

Promotion 2019/2020

DÉDICACES

AVEC UN ÉNORME PLAISIR, UN CŒUR OUVERT ET UNE IMMENSE JOIE, QUE JE DÉDIÉE CE MÉMOIRE À MES CHERS, RESPECTUEUX ET MAGNIFIQUE PARENTS BELGHORAF ABDALLAH ET BELGHORAF FATIHA QUI SONT LA SOURCE D'AMOUR ET D'AFFECTION, ET SANS LESQUELS CE TRAVAIL N'AURAIT PAS PU VOIR LE JOUR

A MES SCEURS AMEL ET AMINA

A MES AMIES « SALIMA, SIHAM, IKRAM, KHAIRA, ASIA ET NESRIN, ... ».

A TOUS QUI M'ONT AIDER ET À MES AMIS DE L'ENNSMAL.

JE DÉDIE CE TRAVAIL AUSSI À MA CHÈRE PROMOTRICE, À MES PROFESSEURS QUI M'ONT ENSEIGNÉE

A MA BINÔME BELEFDEL BESMA

ET À TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS.

BELGHORAF MAMA

DÉDICACES

*JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL AUX ÊTRES LES PLUS
CHERS À MES YEUX, RIEN AU MONDE NE POURRAIT
COMPENSER LES EFFORTS ET LES SACRIFICES QUE VOUS
AVEZ CONSENTIS JOUR ET NUIT POUR MON ÉDUCATION,
MES CHERS PARENTS BELAFDEL BELGACEM ET BELAFDEL*

DJAMILA

*A MES CHERS FRÈRES RABIE, FARES, NAIM, ISMAIL ; LES
PRINCIPAUX SOURCES D'ENCOURAGEMENT ET DE
VOLONTÉ*

A MES SCEURS LILA, NASSIMA, AFAF, ZINA, SARA

A MON ONCLE BELAFDEL SAID

*A MES AMIES SARA, AMIRA, MANEL, NAWAL, BEKHITA,
HAFIDHA, WISSAL*

*JE DÉDIE CE TRAVAIL AUSSI À MA CHÈRE PROMOTRICE, À
MES PROFESSEURS QUI M'ONT ENSEIGNÉE*

A MA BINOME BELGHORAF MAMA

*JE TIENS VIVEMENT À DÉDIER CE TRAVAIL TOUS MES AMIS
À TOUTES LES PERSONNES QUI M'ONT CONNU.*

BELAFDEL BESMA

REMERCIEMENT

Avant tout, Nous remercions Dieu, le tout puissant, le miséricordieux de nous avoir donné le courage, la patience et la santé pour réaliser ce travail.

Nous exprimons nos profonds remerciements à notre promotrice Mme. **GHALMI R.** pour l'aide compétente qu'elle nous a apporté, pour sa patience, sa confiance et son œil critique qui nous a été très précieux pour la structuration de ce travail.

Nous remercions Mme. **MAHDID S.** qui nous a fait l'honneur de bien vouloir présider le jury de ce mémoire.

Nos vifs remerciements vont à Mme. **HENDA A.** pour l'aide, les conseils, pour l'intérêt qu'il a porté pour notre travail, et d'avoir bien voulu l'examiner et le corriger.

Un grand merci pour M. **TARMOUL F.** et M. **GHAZI M.** pour leur précieuse aide.

Nous plus tendres remerciements, s'adressent à nous parents, de nous avoir guidés et orientés, ainsi pour la compréhension, l'amour et le dévouement par lesquels ils nous entourent. La réalisation de ce mémoire n'aurait pas été possible sans leur soutien moral et affectif. Merci à vous.

Nous tenons à remercier aussi :

- ❖ Le corps d'enseignants et les étudiants de l'ENSSMAL.
- ❖ Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de mon mémoire.

Enfin nous remercions tous nos amis, et camarades qui nous ont accompagnés jusqu'ici.

Liste des figures

Figure 1: Aspect générale de l'herbier à Posidonie.....	3
Figure 2 : Arrangement caractéristique des rhizomes de <i>Posidonia oceanica</i>	4
Figure 3: Rhizome plagiotropes de <i>Posidonia oceanica</i> dont partent vers le haut une demi-douzaine de rhizomes orthotropes et vers le bas des racines.	5
Figure 4: Morphologie de <i>Posidonia oceanica</i>	5
Figure 5: Floraison de <i>Posidonia oceanica</i>	6
Figure 6 : Banquettes de <i>la Posidonie</i>	6
Figure 7: Aegagropile.....	6
Figure 8 : Répartition géographique de <i>Posidonia oceanica</i> en méditerranée.....	7
Figure 9: <i>Nanozostera noltii</i>	9
Figure 10: <i>Cymodocea nodosa</i>	9
Figure 11: Algues rouges associées à l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	9
Figure 12: Algues brunes associées à l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	10
Figure 13 : Algues vertes associées à l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	10
Figure 14: faune associées à l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	11
Figure 15: faune ichtyologique associée à l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	12
Figure 16 : Feuilles de <i>P.oceanica</i> atteignant la surface de l'eau «Récif barrière, anse de Koauli»....	13
Figure 17 : Présentation des différents types de limite inférieure de l'herbier de <i>Posidonie</i>	14
Figure 18 : Situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl	24
Figure 19 : la couverture sédimentaire de la baie de Bou-Ismaïl	24
Figure 20 : Principaux points de rejet d'eaux usées dans la baie de Bou-Ismaïl.....	30
Figure 21 : Localisation des zones d'étude dans la baie de Bou-Ismaïl.....	31
Figure 22 : le processus d'eutrophisation	37
Figure 23: Histogramme des concentrations en ammonium dans les trois zones d'étude durant différentes années	44
Figure 24: Histogramme des concentrations en nitrite dans les trois zones d'étude durant différentes années	45
Figure 25: Histogramme des concentrations en nitrates dans les trois zones d'étude durant différentes années	46
Figure 26: Histogramme des concentrations en ortho phosphate dans les trois zones d'étude durant différentes années.	47
Figure 27: Courbe du potentiel d'eutrophisation marine de l'azote (N) dans les différentes zones considérées ; durant différentes années	50

Figure 28 : Courbe du potentiel d'eutrophisation marine de phosphore (P) dans différentes zones d'étude ; selon différentes années.....	52
Figure 29 : Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de mercure (Hg) en $\mu\text{g/g}$ dans les sédiments de nos zones d'études durant différentes années.....	54
Figure 30 : Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de Le plomb (Pb) en $\mu\text{g/g}$ dans les sédiments de nos zones d'études durant différents années	54
Figure 31 : Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de Le plomb (Pb) en $\mu\text{g/g}$ dans les sédiments de nos zones d'études durant différents années	55

Liste des tableaux

Tableau 1: la classification de magniliophytes marine <i>Posidonia oceanica</i>	3
Tableau 2: les principaux Oueds déversant dans la baie de Bou Ismail	25
Tableau 3: Principaux industries dans la région de Bou-Ismaïl	29
Tableau 4: les stations des zones d'études	32
Tableau 5: Présentation de quelque caractéristique des métaux lourds étudiés.	39
Tableau 6: teneur critique des sols en métaux lourds pour la croissance des végétaux, des animaux et la contamination humaine.	41
Tableau 7: valeurs de l'indice de contamination	41
Tableau 8: Valeurs guides pour les métaux lourds ($\mu\text{g/g}$) par différents pays	41
Tableau 9: les concentrations des sels nutritifs dans les eaux des trois zones d'étude.....	43
Tableau 10 : les moyennes d'azote et de phosphate dans les trois zone d'études	48
Tableau 11: La masse de l'azote des zones d'études durant les différentes années	49
Tableau 12 : le potentiel d'eutrophisation de l'azote	49
Tableau 13 : La masse de phosphore des zones d'études durant les différentes années	51
Tableau 14: le potentiel d'eutrophisation du phosphore	52
Tableau 15: Valeurs extrêmes, moyennes et écart-type de concentrations en ETM dans les sédiments superficiels marins de zone étudiée dépend déférente année	53
Tableau 16: valeurs de référence des teneurs métalliques dans les sédiments en (mg/kg).	55
Tableau 17: Valeurs guides pour les métaux lourds ($\mu\text{g/g}$) par différents pays	56
Tableau 18: indice de contamination en mercure, plomb, et zinc des sédiments dans les zones d'étude	56

Sommaire

Introduction.....	1
--------------------------	----------

Chapitre I : Généralités

I.1.Présentation de l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	3
I.2. Description de l'écosystème	4
I.2.1 Biologie.....	4
I.2.2. Distribution géographique de l'écosystème	7
I.2.3 Écologie	7
I.2.4. La faune et la flore associée	8
I.2.4.1. Flore	8
I.2.4.2. Faune.....	10
I.3. Les différents types d'herbier.....	12
I.4. Types de limites	14
I.5. le rôle des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	15
I.5.1. Rôle écologique.....	15
I.5.2. Rôle dans les équilibres physiques du système littoral	15
I.5.3. Rôle économique.....	15
I.5.4.Role de bioindicateur	16
I.6. La régression de l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	16
I.7. Les menace sur l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	17
I.7.1. Les pollutions industrielles et urbaines (rejet des eaux usées).....	17
I.7.2. Les destructions mécaniques.....	18
I.7.3. La pêche	19
I.7.4. Les aménagements littoraux.....	19
I.7.5. Le surpâturage.....	19
I.7. 6. La compétition avec des espèces invasives.....	20
I.7.7. L'aquaculture côtière	20
I.8.La restauration de l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	21

I.8.1.La restauration écologique	21
I.8.2. Les types de restauration.....	21
I.8.3. les techniques de restauration de l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	21
Chapitre II: Matériels et Méthodes	
II. Présentation de la Baie de Bou -Ismail.....	23
II.1.Caractéristiques physiques de la Baie de Bou -Ismail.....	23
II.1.1.Localisation géographique.....	23.
II.1.2. Sédimentologie de la baie de Bou-Ismail	24
II.1.3.Réseau hydrographique.....	25
II.1.4.Topographie de la baie.....	25
II.2.Principales caractéristiques des facteurs du milieu.....	25
II.2.1.Température.....	25
II.2. 2.Salinité	26
II.2. 3. L'Oxygène dissous	26
II.3.Condition météorologiques.....	26
II.3.1. Climat	26
II.3.2.Température et précipitation.....	26
II. 3.3.Pluviométrie.....	27
II.4.Facteurs hydrodynamiques	27
II.4.1.Vents.....	27
II.4.2.Les courants.....	27
II.4.3. Les houles	27
II.5.Géomorphologie de la baie La baie de Bou-Ismail	28
II.6.Etat de la pollution de la baie de Bou-Ismail.....	28
II.6.1.Sources de pollution	28
II.6.2-Stations d'épuration.....	30
II.7.Présentation et choix des zones de d'étude.....	30
II.8.Base de données.....	31
II.8.1. Les sels nutritifs.....	32

II.8.1.1.Origine des sels nutritifs	33
II.8.1.2.Différentes formes des sels nutritifs	33
II.8.1.2.1.L'azote	33
II.8.1.2.2.Phosphore	34
II.8.1.3.Danger liés à la pollution par les sels nutritifs	35
II.8.1.4.L'eutrophisation des eaux	35
II.8.1.4.1.Définition de l'eutrophisation	35
II.8.1.4.2.les Causes de l'eutrophisation.....	36
II.8.1.4.3.Comprendre le processus d'eutrophisation.....	36
II.8.1.4.5. Le potentiel d'eutrophisation	37
II.8.2.Les métaux lourds	38
II.8.2.1. Généralités sur les métaux	38
II.8.2.2.Présentation des principaux métaux lourds à étudier.....	39
II.8.2.3.Toxicité des métaux lourds	40
II.8.2.4.Indice de contamination (IC)	41
II.8.2.5.Les valeurs guides.....	41

Chapitre III: Résultats et Discussions

III.1. Les activités anthropiques de la Baie de Bou -Ismail.....	42
III.2. Les sels nutritifs.....	43
III.2.1.l'ammonium(NH_4^+) :	44
III.2.2. les nitrites (NO_2^-) :	45
III.2.3. les nitrates (NO_3^-) :	46
III.2.4. les ortho phosphates (PO_4^{3-}).....	47
III.3.Calcul du potentiel d'eutrophisation	48
III.3.1. Le potentiel d'eutrophisation de l'azote	49
III.3.2. Le potentiel d'eutrophisation de Phosphore	51
III.4. Les éléments en trace métalliques (ETM) :	53
III.4.1.Analyse des métaux lourds.....	53
III.4.2.Compartiment sédiment.....	53

III.4.3.Résultats des analyses.....	53
III.5.Calcul indice de contamination :	55
Conclusion générale.....	59
Recommandations et Perspectives.....	61
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction Générale

La méditerranée est une mer soumise à une très forte pression humaine, elle reçoit d'une manière chronique les eaux usées de grandes unités urbaines et industrielles avec une importante charge polluante, pouvant menacer la faune et la flore du littoral (**Abd Elguerfi, 2003**). Face à ces menaces, l'homme est mobilisé à lutter pour préserver les patrimoines, limiter et étudier leurs effets en mesurant des paramètres physico-chimiques et chimiques utilisés comme traceurs dans le milieu marin, ces derniers constituent donc un outil très important pour l'étude des phénomènes et processus qui se déroulent au sein de l'océan (**Ifremer, 2005**).

L'Algérie, pays Méditerranéen, connaît un développement socio-économique le long de son littoral, en raison des échanges commerciaux (exportation des hydrocarbures et ressources halieutiques) et des activités portuaires et touristiques, et subit aussi l'influence d'une pression démographique et industrielle croissante.

La baie de Bou-Ismaïl est une zone qui est en voie d'anthropisation, avec la mise en place d'un pôle industriel, l'importance des terres agricoles qui s'y trouvent ainsi que les rejets d'eaux usées sans aucun traitement préalable.

Ces activités forment une contrainte sur l'environnement marin, sachant que la plupart de leurs rejets sont directement déversés à la mer sans traitement, ce qui augmente par conséquent la charge polluante dans celle-ci, avec destruction des écosystèmes marins les plus importants tels que l'herbier à *Posidonia oceanica* (principal réservoir de la diversité biologique).

L'herbier à *Posidonia oceanica* est considéré comme l'un des écosystèmes majeurs et emblématiques du littoral de la méditerranée ; en raison essentiellement de son importance écologique et de son rôle dans les équilibres sédimentaires littoraux (**Boudouresque et al, 2006 ; Pergent-Martini et Le Ravellec, 2007**). Il est également considéré comme un hot spot « point chaud » pour la diversité spécifique (**Boudouresque et al, 2006**). Et comme plusieurs autres magniophytes marines. *Posidonia oceanica* est à la fois espèce clé et ingénieur d'écosystèmes marins (**Boudouresque et al, 2006**).

Malheureusement ; ces herbiers sont particulièrement vulnérables, et très sensibles aux perturbations anthropiques et ont régressés de façon préoccupante (à cause de la pollution, turbidité, des pollutions industrielles, urbaines et aquacoles, l'ancrage des embarcations, le chalutage.

la pêche aux palourdes, le recouvrement par des aménagements littoraux ou par des produits de dragage, la modification des flux sédimentaires «par exploitation des sables ou

aménagement du littoral»); d'où la nécessité de techniques de restaurations quelles soient actives (par l'intervention de l'homme) ou passive (par l'introduction de processus naturels).

Cette restauration passe par la maîtrise de ces pressions à l'origine de la dégradation. Elle peut contribuer à l'adaptation aux changements climatiques en renforçant la résilience face aux changements et en fournissant des services écosystémiques.

La mitigation (ou mesures compensatoires, ou encore mesures d'accompagnement) sont des mesures destinées à atténuer les effets de l'impact de l'homme sur l'environnement, à en compenser les effets, ou à restaurer une situation antérieure. La création d'Aires Marines Protégées (AMP), la mise en place des récifs artificiels, l'optimisation des enrochements artificiels, le renforcement des populations d'une espèce (réimplantation de Magnoliophytes marines par exemple), peuvent ainsi constituer des mesures de mitigation très efficace **(Boudouresque, 2001)**.

La mise en place et le suivi des réseaux de surveillances est aussi une démarche nécessaire pour une gestion rationnelle et intégrées 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.

L'objectif principal de notre étude est : de suivre l'évolution de l'écosystème à *Posidonia oceanica* sous une certaine pression anthropique dans la baie de Bou-Ismaïl et proposer les différentes méthodes de restauration de cet écosystème remarquable.

Ce travail est départagé en trois parties :

- La première partie est une synthèse bibliographique qui est consacré à la mise en évidence de l'intérêt des écosystèmes à la Posidonie, l'impact anthropique sur ces derniers et l'intérêt de la restauration écologique pour le salut et la préservation de ces biocénoses emblèmes de la méditerranéen.
- La seconde traite des moyens matériels utilisés, des méthodes et des protocoles appliqués pour les différentes mesures.
- Enfin on achèvera notre travail, par la présentation des différents résultats et bien sur leur interprétations ainsi que la contribution pour des propositions de quelques solutions afin de réduire ou d'alléger les menaces qui pèsent sur de cet écosystème.

I.1.Présentation de l'écosystème à *Posidonia oceanica*

La posidonie (*Posidonia oceanica*) est une phanérogame marine de la famille des *Posidoniaceae* endémique de la méditerranée. Elle constitue d'immenses prairies sous-marines, appelées herbiers, qui se développent depuis la surface jusqu'à 30 à 40 m de profondeur.

La formation des herbiers, leur dynamique et leur densité dépendent étroitement du milieu environnant : nature du substrat sur lequel elles se fixent, force et direction des courants sous-marins, profondeur, qualité des eaux, etc. L'herbier à *P.oceanica* forme une ceinture quasi-continue tout autour de la méditerranée occidentale, interrompue localement au niveau des estuaires des grands fleuves et de leur zone d'épandage, (voir figure 1)



Figure 1: Aspect générale de l'herbier à Posidonie (**Harmelin J-G;2005**)

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

Phylum:	Chlorophyta
Embranchement:	Magniliophytes
Classe:	Liliopsida
Sous-classe:	Alismatidae
Ordre:	Potamogetonales
Famille:	Posidoniaceae
Genre:	Posidonia
Espèce:	<u><i>Posidonia oceanica</i></u>

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 et Picard, 1952; Boudouresque et Meinesz, 1982).

I.2. Description de l'écosystème

I.2.1 Biologie

Posidonia oceanica est constituée par des tiges rampantes ou dressées, généralement enfouies dans le sédiment, que l'on nomme rhizomes.

Les rhizomes rampants sont dits plagiotropes et les rhizomes dressés sont dits orthotropes .

La différenciation entre rhizomes plagiotropes et orthotropes n'est pas déterminée: en fonction de l'espace disponible, un rhizome orthotrope peut devenir plagiotropes, et vice-versa (Caye, 1980).

Les rhizomes se terminent par des groupes de 4 à 8 feuilles (faisceaux), larges de 8-11 mm et longues de 20-80 cm.

Les rhizomes portent également des racines qui peuvent descendre jusqu'à 70 cm dans le sédiment (Figure 2 et Figure 3) (Boudouresque et al, 2006).

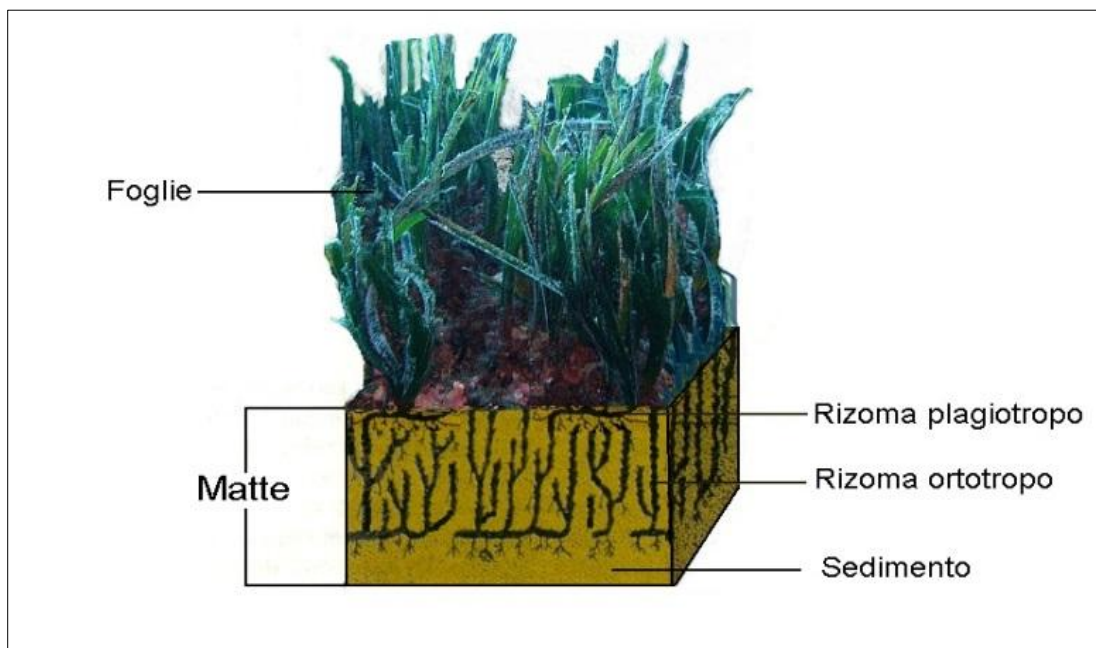


Figure 2 : Arrangement caractéristique des rhizomes de *Posidonia oceanica* (d'après Boudouresque et Meinesz, 1982).

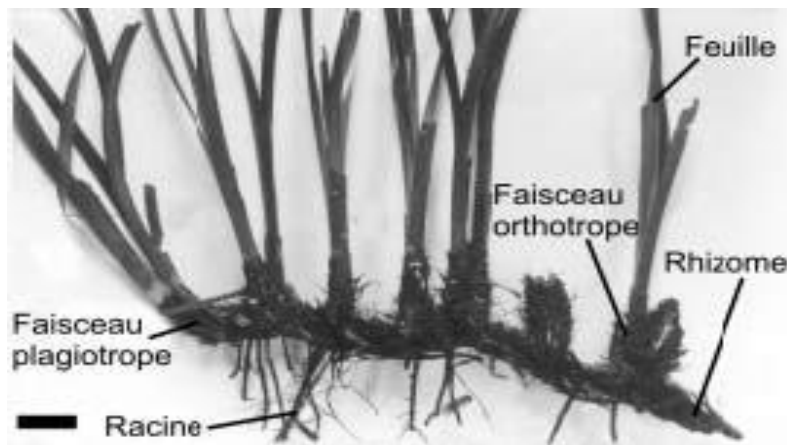


Figure 3: Rhizome plagiotropes de *Posidonia oceanica* dont partent vers le haut une demi-douzaine de rhizomes orthotropes et vers le bas des racines. Chaque rhizome porte un faisceau des feuilles. (Boudouresque et Meinesz, 1982).

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 :

- _ Les feuilles juvéniles: les feuilles de moins de 5 cm de longueur.
- _ Les feuilles intermédiaires : les feuilles de plus de 5cm sans gaine basale (pétiole).
- _ Les feuilles adultes: Lorsque la croissance est terminée, une gaine basale se met en place (Figure 4).

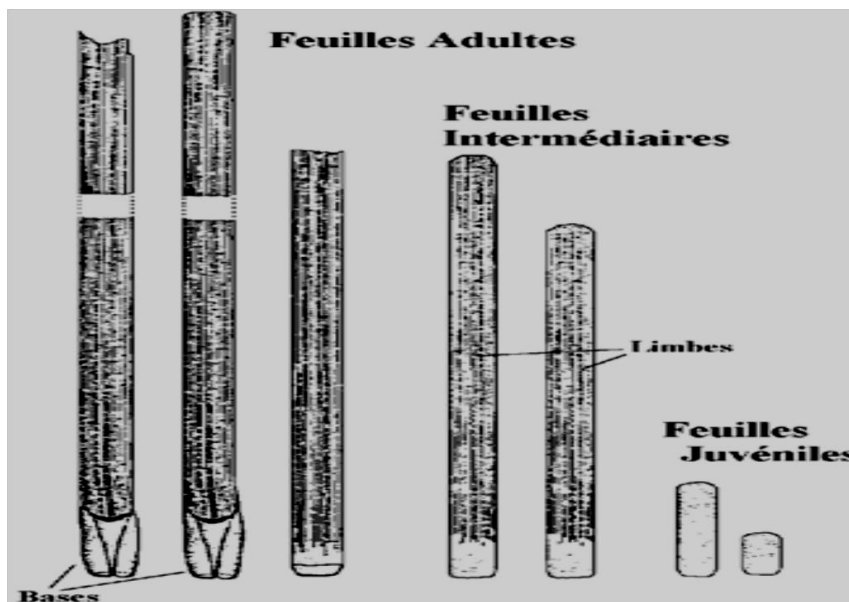


Figure 4: Morphologie de *Posidonia oceanica* (Boudouresque et Meinesz, 1982).

À 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 (écaille)

qui Contribue à le consolider. La chute des feuilles, comme leur formation, se produit tout au long de l'année (**Pergent et Pergent-Martini, 1991**).

Les écailles (comme les rhizomes) sont peu dégradables 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. On désigne sous le nom de lépidochronologie l'analyse de ces cycles annuels (**Crouzet et al ; 1981**).

A la fin de l'été ou en automne se produit la floraison, phénomène relativement difficile a observé. Les fleurs (figure 6:A) sont hermaphrodites et donnent des fruits appelés olives de mer (figure 6:B), une fois mûres, ces olives de mer se détachent et dispersent dans la mer par les vagues et les courants, tombent sur un lieu favorable, germent (figure 6:C) et donnent lieu à une nouvelle plante.



A / fleur

B/ olive de mer

C/ germination d'une graine

Figure 5: Floraison de *Posidonia oceanica* (Melle Sakli S, 2016)

Les feuilles mortes rejetées par la mer, forment des banquettes (Fig.6) sur les plages ou l'on peut aussi trouver «des boules» marrons formées de fibre de posidonie dites **aegagropiles** ou pelotes de mer (Fig.7).



Figure 6 : Banquettes de la posidonie (Alizee M ; Guillaume B et al ; 2018)



Figure 7: Aegagropile (Harmelin Jo)

I.2.2. Distribution géographique de l'écosystème

Posidonia oceanica est présente dans presque toute la méditerranée. A l'ouest, elle disparaît un peu avant le détroit de Gibraltar, vers Calabres au nord et Melilla au sud (**Conde Poyales, 1989**).

A l'est, elle est absente des côtes d'Égypte (à l'est du delta du Nil), de Palestine, d'Israël et du Liban. 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, 1974**) et le long des côtes languedociennes, entre la Camargue et Port la Nouvelle (**Boudouresque et Meinesz, 1982**).

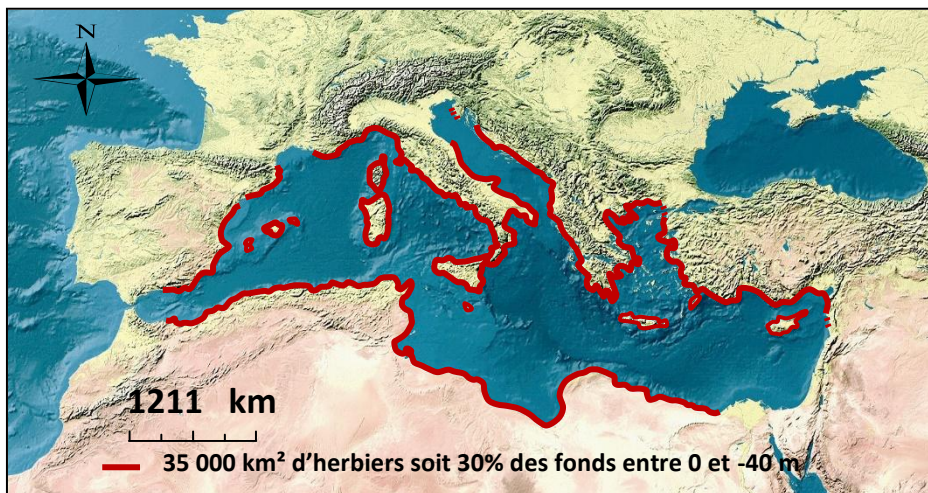


Figure 8 : Répartition géographique de *Posidonia oceanica* en méditerranée (**Pergent et al, 2012**)

Au total, *P. oceanica* est une espèce endémique de la Méditerranée, c'est-à-dire strictement cantonnée à cette mer.

I.2.3 Écologie:

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.

Comme l'ensemble des magniophytes, *Posidonia oceanica* est très sensible à la disponibilité en **lumière** et ne peut survivre en dessous de 10 à 16 % de l'irradiance de surface. La lumière constitue l'un des acteurs 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‰ (**Benalaya, 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'absence de *P.oceanica* de la partie centrale de nombreuses plages pourrait correspondre à la zone de résurgence de la nappe phréatique (**Leriche, 2004**). L'espèce semble mieux résister aux salinités élevées, bien que **Benalaya (1972)** ait indiqué que 41‰ constitue sa limite supérieure de tolérance.

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) soient supportées qu'exceptionnellement (**Boudouresque et al. 2006**).

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. Par ailleurs, en profondeur, **Mayot et al. (2005)** suggèrent que l'augmentation de la température de l'eau de mer qui est observée actuellement pourrait avoir un effet négatif sur *P.oceanica*.

Elle craint **un hydrodynamisme** trop intense, les tempêtes en effet 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 et c'est la raison pour laquelle, en mode battu, l'herbier ne s'approche pas à plus de 1 ou 2m de la surface (**Boudouresque et al. 2006**). Les "mattes mortes" peuvent donc constituer un phénomène naturel, comme par exemple dans la baie de la Palud, à Port-Cros (**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.2.4. La Faune et la flore associée

I.2.4.1. Flore

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

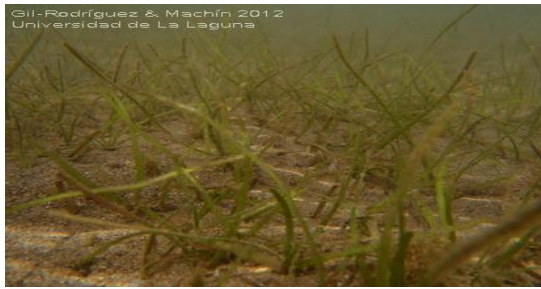


Figure 9: *Nanozostera noltii*
(Rodríguez et Machin; 2012)



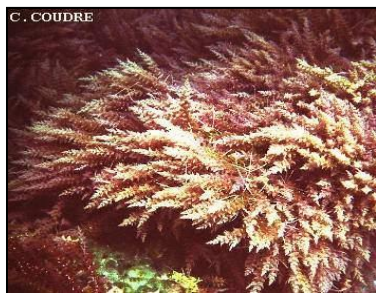
Figure 10 : *Cymodocea nodosa* (Anthony Leydet; 2016)

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

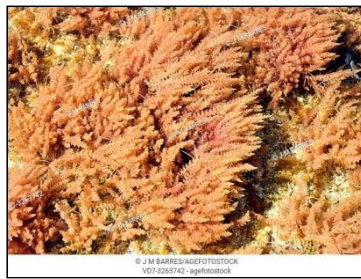
- Epiphytes (sur les feuilles)
- Entre les rhizomes
- Au niveau de la matre
- Aux bords de l'herbier sur le sable

Les plus représentatifs et remarquables sont:

➤ **Des rhodophycées (algues rouges):**



Asparagopsis armata
(Harvey, 1855)

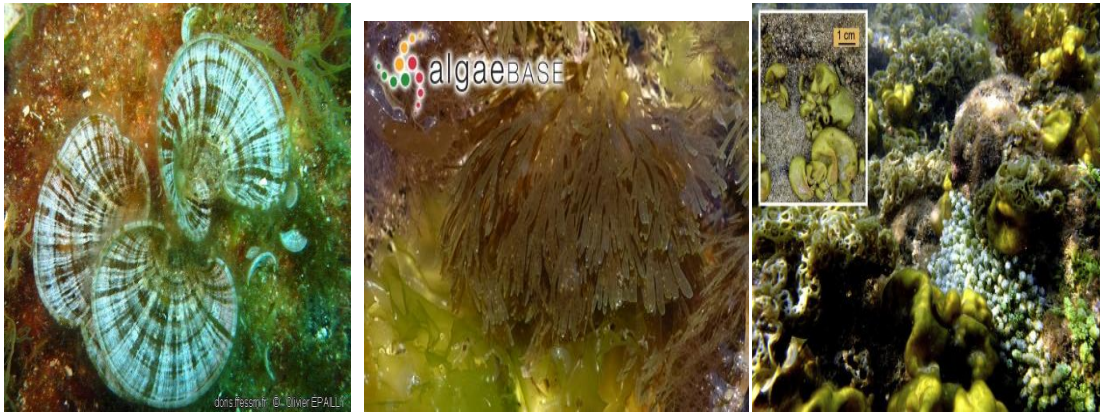


Falkenbergia rufolanosa



Peyssonnelia squamaria
(Peter Wirtz; 2004)

Figure 11: Algues rouges associées à l'écosystème à *Posidonia oceanica*

➤ **Fucophycées (algues brunes):***Padina pavonica**Dictyota dichotoma**Colpomenia sinuos*

(Olivier Epailly; 2008)

(Michael Guiry; 2004)

(Mertens Ex Roth; 2012)

Figure 12: Algues brunes associées à l'écosystème à *Posidonia oceanica*➤ **Chlorophycées (algues vertes):***Flabellia petiolata* (Selce et Croatia N; 2011)*Caulerpa racemosa* (Michael Guiry; 2001)**Figure 13 :** Algues vertes associées à l'écosystème à *Posidonia oceanica***Prolifération de *Caulerpa racemosa*:**

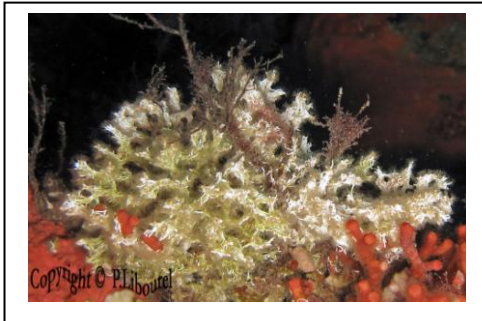
Cette algue verte invasive colonise un espace relativement important sur plusieurs types de substrats (sableux, rocheux, déchet solide (pneu...), matte morte ...); au profil de *Posidonia oceanica*.

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

I.2.4.2. Faune:

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

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



Filograna implexa (Berkeley, 1835)



Paracentrotus lividus (Elliott S; 2006)



Echinaster sepositus (Denis Bessou; 2006)



Hexaplex trunculus (Wacquant C; 2007)



Pinna nobilis (Morgan Petit)



Cerithium vulgatum (Bruguere, 1792)

Figure 14: faune associées à l'écosystème à *Posidonia oceanica*

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

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

Faune ichtyologique:









	Nom scientifique		
Gobiidae	<i>Gobius sp</i>		
Labridae	<i>Coris julis</i> <i>Symphodus mediterraneus</i>	<i>Gobius sp (La rocha)</i>	<i>Symphodus mediterraneus (Sulvain LE Bris ; 2005)</i>
Serranidae	<i>Serranus scriba</i> <i>Epinephilus alesendrinus</i> <i>Epinephilus marginatus</i>		
Sparidae	<i>Boops boops</i> <i>Diplodus anularis</i> <i>Sarpa salpa</i> <i>Pagrus caeruleostictus</i>	<i>Serranus scriba (Veronique ; 2007)</i>	<i>Sarpa salpa (Veronique ; 2003)</i>
Mullidae	<i>Mullus barbatus</i>		
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	<i>Mullus barbatus (Roberto, 2010)</i>	<i>Mugil cephalus (Roberto ; 2012)</i>
Singnathidae	<i>Syngnathus thphle</i>		
Sphyraenidae	<i>Sphyranea sphyraea</i>	<i>Syngnathus thphle (Alaine pierre ; 2005)</i>	<i>Sphyranea sphyraea (De sanctis a)</i>

Figure 15: faune ichtyologique associée à l'écosystème à *Posidonia oceanica*

I.3. 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 matre et érosion, l'herbier à *P.océanica* se présente sous divers aspects, que l'on peut assimiler à des paysages (In Denis et al ; 2003). Les trois types d'herbier connus en Algérie sont :

1. **L'herbier de plaine:** Il se présente sous la forme d'une prairie plus ou moins continue, horizontale ou en pente douce, généralement entrecoupée par des structures érosives (tombant de matte, chenaux perpendiculaires à la cote et chenaux parallèles à la cote) ou par des tâches dépourvues de *Poceanica* (inter mattes 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; ainsi se constitue un "**récif-frangeant**" de posidonies qui, par progression vers le large, devient un "**récifs-barrière**", séparé de la cote par un "lagon" (=lagune) peu profond (Denis et al,2003).

En Algérie, les récifs barrière sont signalés a El Kala (vers l'entrée du chenal menant au lac el Mellah) ; à la corne d'or et l'anse de Koauli (Fig. I.10) près de Tipaza, il est le plus prospère des récifs barrières des cotes algériennes. En 1953 Molinie et Picard signalent l'existence de petit récifs entre Bou-Ismaïl et sidi Fredj et dans les secteurs de Jijel (banc des kabyles) et de Bejaia (Gouraya) (Boumaza, 2003)



Figure 16 : Feuilles de *P.oceanica* atteignant la surface de l'eau «Récif barrière, anse de Koauli» (Lamouti; 2006)

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, entourée par un fond sableux. L'herbier de colline semble correspondre à un équilibre dynamique entre les 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 (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 = El Marsa (ex Jean Bart, Alger (Semroud, 1993).

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

I.4. Types de limites

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 limite progressive, brusque, érosive ou régressive (figure 17)

- **La limite progressive:** caractérisée par la présence de rhizomes plagiotropes, disposés de façon parallèle à la pente, sans édification de matte.

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

- **La limite franche:** caractérisée par la présence de rhizomes généralement orthotropes, sans édification d'une véritable matte, avec absence de matte morte en aval de la limite. ce type de limite traduit des conditions de milieu stabilisées.
- **La limite érosive :** caractérisé par un tombant de matte 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
- **Les limites régressives :** caractérisées par la présence d'une étendue de matte morte, recouverte ou non par le sédiment, en aval de la limite de l'herbier.

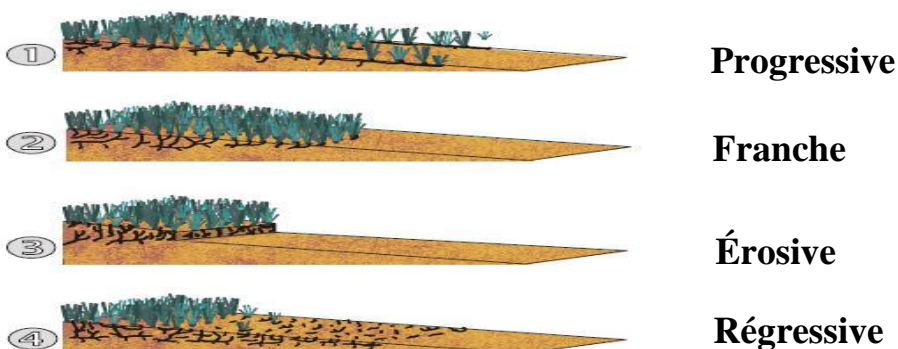


Figure 17 : Présentation des différents types de limite inférieure de l'herbier de Posidonie (Meinesz et Laurent, 1978).

I.5. le rôle des herbiers à *Posidonia oceanica*

I.5.1. Rôle écologique

L'herbier à *Posidonia oceanica* joue un rôle exceptionnellement important en méditerranée, ou il constitue la véritable clef de voute des biocénoses marines (**Boudouresque et Meinesz,1982; Mazzella et al, 1986**). Il doit son importance à la richesse de sa flore et de sa faune, à son rôle d'habitat et de nurserie pour de nombreuses espèces qui est trouvent nourriture et protection, à l'importance de sa production primaire, à la base de très nombreuse chaines alimentaires et dont une grande partie est exportée vers d'autres écosystèmes, à son intervention sur la transparence de l'eau par la fixation des sédiments meubles et enfin, à son rôle de maintien de l'équilibre des lignes de rivage (**Boudouresque et Meinesz,1982**).

I.5.2. Rôle dans les équilibres physiques du système littoral

L'herbier de Posidonie piège et fixe les sédiments, à la manière des Oyats sur les dunes des côtes atlantiques. Il limite donc leur déplacement, lors des tempêtes. En s'opposant à leur remise en suspension, il favorise en outre la transparence de l'eau.

L'herbier de Posidonie, grâce au lacinis de ses feuilles, réduit l'hydrodynamisme (houle, courant), non seulement sous le couvert des feuilles, ce qui est facile à comprendre, mais aussi dans la colonne d'eau. C'est la raison pour laquelle il amortit la puissance des vagues à la côte, et protège les plages de l'érosion. En protégeant l'herbier, on protège donc les plages.

Avant de rejoindre les grands fonds, les feuilles mortes de Posidonies s'accumulent souvent sur les plages, sous forme de banquettes. Ces banquettes protègent également les plages contre l'érosion, lors des tempêtes d'automne et d'hiver.

I.5.3. Rôle économique

Au total, la valeur économique des herbiers est considérable. Selon des économistes internationalement reconnus, elle est 3 fois supérieure à celle des récifs coralliens, 10 fois supérieure à celle des forêts tropicales et 100 fois supérieure à celle d'une prairie terrestre.

L'herbier, du fait de son rôle écologique majeur et des services rendus en matières de protection du littoral par exemple, a une importance économique majeure (**Costanza et al 1997; Pergent, 2006 in Pergent et al, 2008**).

Il concerne également le développement du tourisme et des activités balnéaires, à travers le maintien de la qualité des eaux, la stabilisation de la ligne de rivage en la protégeant contre l'érosion. de plus, même si les herbiers ne constituent pas toujours des 'spots' recherchés par les plongeurs, ils sont néanmoins à l'origine d'une exportation significatives de richesses biologiques (en terme d'espèces et de nourriture) vers d'autres biotopes plus recherchés (fonds rocheux) (**Boudouresque et al; 2006**).

I.5.4.Rôle de bioindicateur

En Méditerranée, l'herbier à *Posidonia oceanica* constitue un puissant intégrateur de la qualité globale des eaux marines (**Augier, 1985; Pergent, 1991; Pergent et al, 1995; Pergent-Martini et al, 2005**). Très largement distribué sur tout le littoral, particulièrement « réceptif » à la pollution (**Augier et al, 1984; Bourcier, 1989**) et aux agressions liées aux activités humaines (**Meinesz et Laurent, 1978; Boudouresque et Meinesz, 1982; Ardizzone et Pelusi, 1984; Tunesi et Boudouresque, 2006**), solidaire du fond, il rend compte, par sa présence et sa vitalité (Ou sa régression matérialisée par des « mattes mortes »), de la qualité des eaux qui dérivent au dessus de lui. L'empreinte de la qualité des eaux sur les herbiers à *Posidonia oceanica* est permanente; elle ne dépend pas du sens du vent ou des courants au moment de l'observation (**Pergent et al, 1995**)

Elle représente un véritable enregistreur biologique capable de mémoriser les teneurs en métaux traces sur plusieurs décennies (**Pergent et al, 1995 ; Lafabrie, 2007**). Il est donc possible de connaître l'état d'une région côtière en étudiant les herbiers de Posidonies qui y sont présents.

I.6. La régression de l'écosystème à *Posidonia oceanica*

Les herbiers de *Posidonia oceanica* sont fragiles et se montrent très sensiblement aux variations de la qualité du milieu, ils se dégradent lorsque les nuisances sont trop importants.

Ils régressent en profondeur en raison de la diminution de la transparence de l'eau et leur régression se traduit souvent par remontée de la limite inférieure et elle se matérialise avec des «mattes morte», en aval de la limite actuelle (**Charbonnel et al, 1995**)

Les herbiers à *Posidonia oceanica* ne régressent pas seulement en profondeur (en limite inférieure), mais également au niveau de leur limite supérieure. En effet, Charbonnel

et al, (1995) décrivent au nouveau type : la limite morcelée qui correspond à la dégradation d'une limite brusque suite à une perturbation du milieu. En fonction de l'importance et/ou de la proximité du facteur à l'origine de la perturbation (rejets, aménagements, mouillage), la limite présente des ondulations, ou des invaginations de son rebord, voire se fragmente en taches dont la taille diminue progressivement lorsque l'on se rapproche de la source de perturbation, pour aboutir à des faisceaux isolés (**Charbonnel et al, 1995**).

Cette régression peut être liée à des processus naturels (processus cyclique de colonisation et d'érosion, changement climatiques, modification du niveau des océans, événements météorologiques et/ou tectonique exceptionnels, maladies), mais force est de constater que les régressions le plus souvent observées semblent en relation étroite avec les activités humaines.

I.7. Les menace sur l'écosystème à *Posidonia oceanica*

Les herbiers à Posidonie sont fragiles, vulnérables. Leur unique domaine, le proche littoral, est justement la zone qui leur est âprement disputée par les hommes (**Boudouresque et al, 1982**). Presque tous les terre-pleins littoraux sont bâtis sur d'anciens herbiers. C'est dans cette étroite frange littorale, cette oasis linéaire bordant le Sahara des fonds océaniques, que se diverse les égouts des cités côtières (généralement sans traitement préalable), que les grands fleuves drainent les pollutions d'immenses bassins versants (**Boudouresque et al, 1982**). Partout les herbiers reculent un peu plus vite ou un peu plus moins vite, selon les secteurs, ce recule a pris des proportions catastrophiques au cours des 30 dernières années (**Boudouresque et al, 1982**).

I.7.1. Les pollutions industrielles et urbaines (rejet des eaux usées)

Depuis de nombreuses années les herbiers à *Posidonia oceanica* présentent des régressions massives à proximité des grands centres urbains et industriels (**Pergent-Martini et al, 1995**). L'origine de ces régressions a souvent été imputée à l'action de polluants chimiques (**Bellan-Santini et al, 1994 ; Pergent-Martini et al, 1995**), qui réduisent le développement des feuilles et la croissance des rhizomes de *P.oceanica* (**Balestri et al, 2004**).

Ces phénomènes s'observent en particulier au niveau de la limite inférieure de l'herbier, où l'on assiste à une remonté de cette limite (**Boudouresque et al, 1982**).

Parmi les contaminants chimiques émis par les rejets terrestres et maritimes pour la Posidonie, citons, les sels nutritifs, les détergents, les HAPs (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) et les pesticides qui réduisent la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica* (**Peres et al, 1975; Augier et al, 1987**).

Les détergents (tensio-actifs) s'accumulent dans le sédiment, contaminant les racines, les rhizomes et les feuilles (**Peres et al, 1975**).

Dans le cas des nutriments, leurs apports provoquent une augmentation de la turbidité des eaux qui entraîne d'une part, une diminution de la photosynthèse en profondeur et qui favorise, d'autre part, une eutrophisation des eaux (**Peres, 1984; Bourcier, 1989; Pergent- Martini et al, 1995; Boudouresque et al, 2006**).

I.7.2. Les destructions mécaniques

L'action mécanique directe des ancres et des systèmes de mouillage collectif sur les fonds constitue la plus grosse menace pour les herbiers à Posidonie (**Boudouresque et al, 2006**).

Une ancre peut avoir un effet sur l'herbier à *Posidonia oceanica* de diverses façons : (**Boudouresque et al, 1995; Poulain, 1996; Francour et al, 1997; Francour et al, 1998; Francour et al, 1999**).

-**Au moment de l'ancrage** cassure des rhizomes sur lesquels elle tombe ou sur lesquels elle dérive avant de s'accrocher.

_ **Pendant qu'elle est sur le fond** la chaîne qui précède l'ancre dérape sur le fond, en raison de l'hydrodynamisme et du courant, et arrache des feuilles.

- **Lors de la remontée** l'ancre casse les rhizomes auxquels elle est accrochée ; dans certains cas, elle peut arracher un bloc de matte.

Ces destructions mécaniques de l'herbier et de la matte peuvent conduire à la formation d'intermatte. La régénération d'un herbier est très lente compte tenu de sa vitesse de croissance et si ces destructions sont fréquentes, elles peuvent conduire à des destructions irréversibles (exemple de la baie de Port-Cros) (**Boudouresque et al, 1982**).

I.7.3. La pêche

Les activités de pêche qui impliquent l'emploi des arts traînants qui raclent et labourent l'herbier, constituent la principale menace directe sur l'herbier (**Ardizzone et al, 1984**).

Les dommages causés par les arts trainants (chaluts) sont liés aux caractéristiques structurelles de ces engins de pêche (**Kaiser, 1998**).

Les chalutages provoquent une abrasion du fond, la remise en suspension des sédiments, la destruction involontaire d'espèces non commerciales et donc des modifications à long terme des communautés benthiques (**Boudouresque et al, 1996**).

I.7.4. Les aménagements littoraux

la construction de port de plaisance ou de commerce, des terres –pleins gagnés sur la mer (urbanisation, parking, aéroport, endigage), et des plages alvéolaires sont toujours réalisés

sur des petits fonds, c'est - à - dire dans la plupart des cas sur des herbiers à *Posidonie* (**Boudouresque et al; 1982**).

Les aménagements littoraux agissent directement sur les herbiers à phanérogames marines par la destruction de surface d'herbier nécessaire à leur construction mais aussi indirectement par la modification des courants et des bilans sédimentaires aux abords des côtes (**Vangeluwe, 2007**).

Ainsi, les bassins portuaires constituent souvent un site très pollué par les peintures antifouling et les rejets d'eaux usées. Cette pollution se répand ensuite au voisinage des ports ce qui influe sur l'herbier à *Posidonie*. (**Boudouresque et al; 2006**).

I.7.5. Le surpâturage

Les populations de l'oursin *Paracentrotus lividus* sont normalement contrôlées par des prédateurs, au premier rang desquels sont des poissons *Sparidae* (*Diplodus* en particulier).

La surpêche de ces derniers sont les causes de l'explosion de populations d'oursins (**Harmelin et al, 1981; Ruiz-Fernandez, 2000**).

Dans les eaux riches en nutriments, la teneur en azote des feuilles de *P.oceanica* et celle

de ses épiphytes augmente significativement, ce qui attire les macro-herbivores, *Paracentrotus lividus* et *Sarpa salpa* (**Ruiz-Fernandez, 2000**). Il en résulte donc un Surpâturage des végétaux benthiques.

I.7. 6. La compétition avec des espèces invasives

Le problème de la compétition entre l'herbier à *Posidonia oceanica* et les espèces introduites est devenu d'actualité avec l'introduction en Méditerranée de *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa*, et dont l'expansion est extraordinairement rapide (**Verlaque et al, 2004; Piazzini et al, 2005**).

Ces espèces colonisent presque tous les types de substrats, en particulier les mattes mortes et les prairies à *P.oceanica*; notamment les herbiers stressés ou dégradés dont elles peuvent accentuer le recul (**Boudouresque et al, 1995**).

La seule forme identifiée à ce jour sur le littoral algérien est *Caulerpa racemosa* var. *Cylindracea*, et cela à l'ouest et au centre (**Bentaallah et al, 2013**).

Caulerpa racemosa a été observée pour la première fois en Algérie en 2005, sans pour autant être abondante (**Seridi et al, 2010**). C'est essentiellement depuis 2006, que l'ampleur de la propagation de *Caulerpa racemosa* a été mise en évidence (**Ould Ahmed et al, 2007**).

I.7.7. L'aquaculture côtière

La mise en place de fermes aquacoles dans les eaux côtières s'est accélérée au cours des dernières années. (**Boudouresque et al, 2006**).

Il semble que la cause principale de l'impact des fermes piscicoles soit la libération de matière organique, dont l'oxydation induit des conditions anoxiques dans le sédiment situé sous et au voisinage des fermes (**Delgado et al, 1999**), et la synthèse de composés réduits qui peuvent être toxiques pour *P.oceanica* (**Hemminga,1998**). En outre, l'enrichissement des eaux en nutriments peut réduire la photosynthèse de *P.oceanica* (par limitation de l'accès à la lumière) (**Pergent et al, 1999 in Ruiz-Fernandez, 2000**). Enfin, l'ombre portée des cages, réduit significativement la densité des faisceaux (**Ruiz-Fernandez, 2000; Ruiz et al, 2001 in Noël et al, 2012**).

I.8. La restauration de l'écosystème à *Posidonia oceanica*

I.8.1. La restauration écologique

C'est une action sur l'habitat marin, la faune ou la flore permettant d'améliorer le fonctionnement écologique, dans une zone littorale où la qualité de l'eau est bonne et où les pressions à l'origine de la dégradation ont disparu ou sont maîtrisées.

Une restauration peut contribuer à l'adaptation aux changements climatiques en renforçant la résilience face aux changements et en fournissant des services écosystémiques.

Elle permet de réinitier ou accélérer l'auto-réparation d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit, en respectant sa santé, son intégrité et sa gestion durable.

I.8.2. Les types de restauration

On a deux types de restauration :

- une restauration peut être **passive** ; lorsque les forces de dégradation sont réduites, permettant aux processus naturels de récupération de diriger la restauration ; C'est-à-dire éliminer les sources ou les facteurs d'altération ou de dégradation et on laisse l'écosystème se reconstituer.

- ou **active**, lorsque non seulement les forces de dégradations sont réduites ou arrêtées mais que le cours de la restauration est dirigé par des interventions humaines ; C'est-à-dire inclut l'ensemble des interventions humaines ayant pour but de favoriser ou d'accélérer le retour à l'état souhaité d'un écosystème.

I.8.3. Les techniques de restauration de l'écosystème à *Posidonia oceanica*

C'est l'importance de la régression des herbiers de Magniliophytes marines et plus spécifiquement pour nous l'herbier à *Posidonia oceanica*, jointe à la lenteur de la recolonisation naturelle, qui a conduit à l'idée qu'il pouvait être nécessaire de procéder à des réimplantations (Meinesz *et al*, 1990b, 1991a ; Cinelli, 1991 ; Molenaar et Meinesz, 1992c, 1992d ; Calumpong et Fonseca, 2001).

On désigne sous le terme de **mitigation** (ou mesures compensatoires, ou encore mesures d'accompagnement) les mesures destinées à atténuer les effets de l'impact de l'homme sur l'environnement, à en compenser les effets, ou à restaurer une situation antérieure. La création d'Aires Marines Protégées (AMP), la mise en place de récifs artificiels, l'optimisation des

enrochements artificiels, le renforcement des populations d'une espèce (réimplantation de Magniliophytes marines par exemple), peuvent ainsi constituer des mesures de mitigation **(Boudouresque, 2001)**.

Le concept de mitigation doit toutefois être utilisé avec la plus grande prudence : le risque existe en effet que la mitigation soit utilisée comme un alibi permettant de poursuivre des aménagements destructeurs, en trompant le public et en donnant bonne conscience aux élus. Il doit être en effet bien clair qu'il n'existe pas de compensation réelle à un aménagement ; **la destruction d'un herbier à *Posidonia oceanica*, par recouvrement sous un ouvrage, est irréversible**, car c'est le biotope qui a été détruit définitivement. La mitigation doit donc être considérée uniquement comme une tentative de restauration approximative de ce qui a été détruit dans le passé, et non comme la justification de nouvelles destructions par d'hypothétiques compensations **(Boudouresque, 2000)**.

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

II. Présentation de la Baie de Bou-Ismaïl

La baie de Bou-Ismaïl est le réceptacle d'oueds à régime irrégulier, avec un apport des particules dissoutes ou particulaires très importantes d'origine terrigènes, trois oueds déversent dans cette baie : l'oued Mazafran, l'oued Nador, l'oued de Béni-Messous. Le Mazafran est un oued côtier Méditerranéen, parmi les plus importants de la région algéroise. Il se situe à environ 30 Km à l'ouest d'Alger et son bassin versant (sans ses affluents) possède une superficie d'environ 427,5 Km² et une longueur de 24 km. (Houma, 2009).

II.1. Caractéristiques physiques de la Baie de Bou-Ismaïl

II.1.1. Localisation géographique

La baie de Bou-Ismaïl est située à l'ouest d'Alger du Ras Acras jusqu'au Cap Mont Chenoua entre longitude 2°54'E et 2° 24'E latitude 36°48'N et 36°38'N, d'une superficie de 350 Km², est délimitée à l'Ouest par le massif du Chenoua et à l'Est par le massif de Bouzeréah. L'ouverture de la baie s'oriente selon un axe nord-ouest d'environ 40 Km.

- **Géomorphologie**

La baie de Bou-Ismaïl peut être divisée en quatre zones :

- La baie d'El Djemila limitée à l'Est par Ras Arcata et à l'Ouest par la presqu'île de Sidi Fredj est caractérisée par une cote basse sableuse et de nombreuses formations dunaires.

- Le secteur Sidi Fredj-Oued Mazafran constitué sur environ 12 Km de plage de sables fins.

- Une côte rocheuse ; faisant suite au secteur ci-dessus, longue de 30Km dont la limite à l'Ouest est Tipaza.

- La baie du Chenoua ou se jette l'oued Nador débute à partir de Tipaza : elle est bordée dans sa partie Ouest par le massif du Chenoua. Tout le fond de cette baie est occupé par une plage de sable fins. (ANRH, 2007).

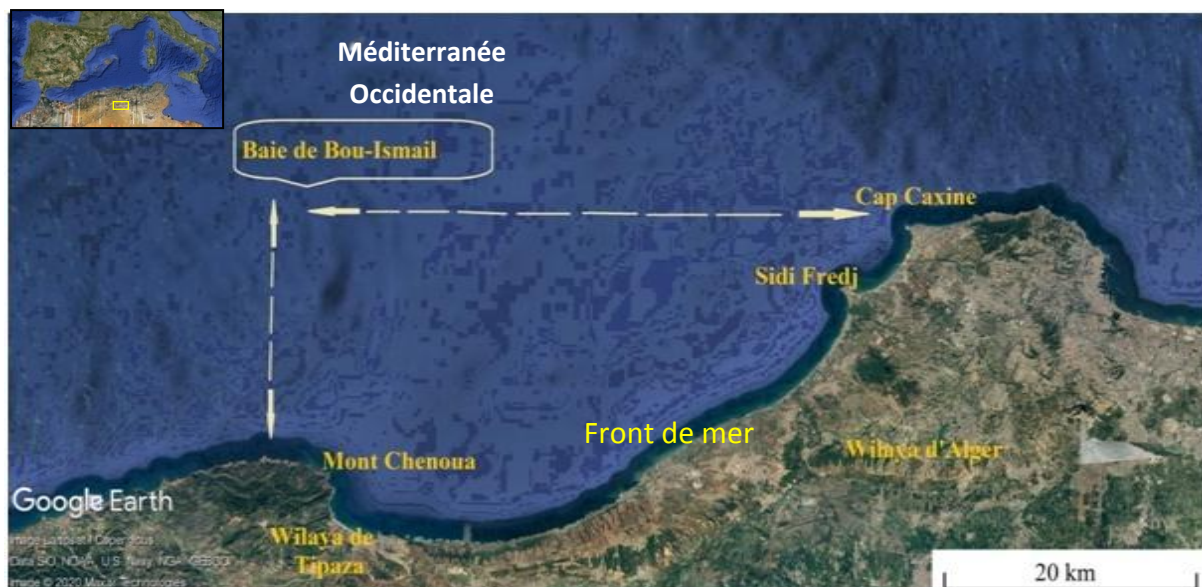


Figure 18 : Situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl (Google Earth pro, 2020)

II.1.2. Sédimentologie de la baie de Bou-Ismaïl

Vers l'embouchure de oued Mazafran et jusqu'à une profondeur de 25m, les sables grossiers caractérisent la baie. Au-delà de ce dépôt Fulvio marin et jusqu'à une profondeur de 10 a 15m, les sables moyens ne réapparaissent qu'au niveau de khemisti sur une zone étroite continue jusqu'à Tipaza. (Al ; 2009).une bande de sable fin apparait au large de sidi-Fredj et palm Beach a moins de 2 m de profondeur et tapisse le fond de 15m a 25m tout le long de la baie. Parallèlement a ces faciès, les sables fins vaseux longent la côte entre 25 a 40m de profondeur. Au large de sidi-Fredj (2 a 3km), un dépôt de sable moyen et gravier. (Lem, 1998.in Bachari.F, 2009).

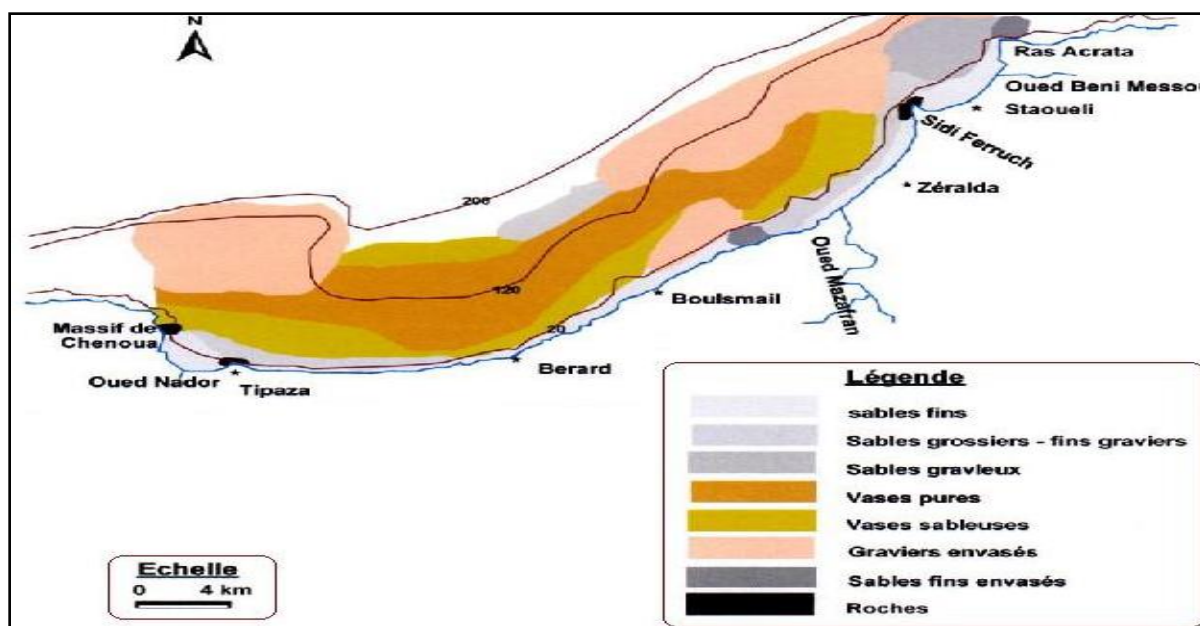


Figure 19 : la couverture sédimentaire de la baie de Bou-Ismaïl (Lem, 1998)

II.1.3.Réseau hydrographique

Les principaux oueds qui déversent dans la baie de Bou Ismail sont : oued Mazafran, Oued Nadir, oued Béni Messous sont résumés dans le tableau 2 suivant :

Tableau 2:les principaux Oueds déversant dans la baie de Bou Ismail

Les oueds	Situations	Oueds regroupe	débit
L'oued Mazafran	30 km à l'Ouest d'Alger	jonction de l'oued Chiffa et l'Oued Djer	7.566m ³ /s pendant la période de Décembre à Avril moyenne annuelle de 43.8 millions de m ³ ,
L'oued Nador	se situe entre Tipaza et le Mont Chenoua	Bou Yersen, Bou Ardon Merrad,	0.98 m ³ /s
Oued Béni Messous	30 km a l'ouest d'Alger,		0.245m ³ /s

II.1.4.Topographie de la baie

Le plateau est d'une manière générale, très étroit selon (Vaissiere et Fredj, 1963). La limite la plus extrême du plateau continental au niveau du mont Chenoua atteint 7millesmètre. Ainsi, la surface du plateau continental de la baie de Bou-Ismaïl est de 509 Km² (Chavance et Girardin, 1986 in Achiche, k et Larbi, S, 2010). Le plateau continental est caractérisé par une faible déclinaison de l'ordre de 1% (Asso, 1982).

II.2. Principales caractéristiques des facteurs du milieu

II.2.1. Température

C'est une caractéristique physique majeure qui a une influence sur l'activité biologique, limite la solubilité des gaz dans l'eau de mer avec son augmentation notamment l'oxygène.

La mesure de la température est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres tels que la saturation des gaz dissous, la mesure du pH (aminot et Keraouel, 2004).

II.2. 2.Salinité

Elle correspond à la teneur en sels dissous de l'eau de mer peut être mesurée et exprimés de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps ; ou seulement les sels dominants (**Rodier et al, 2005**)

On l'utilisera pour voir l'influence des apports en eaux douces sur les zones côtières étudiées.

II.2. 3. L'Oxygène dissous

L'oxygène est un gaz qui conditionne de nombreux phénomènes, tant biologiques que chimiques et notamment de corrosion. Ses concentrations dans l'eau de mer présentent de nombreuses variations selon l'endroit, la profondeur et la saison. Ceci, s'explique par les différentes origines de l'oxygène dissous (atmosphère ou phénomènes biologiques) (**Sauriau et al ; 1984-1994**). La teneur en oxygène varie dans le milieu marin en fonction de la température et de la salinité. Elle dépend aussi de l'activité biologique telle que la production d'oxygène par les végétaux autotrophes (**Touahria, 1999**).

II.3. Condition météorologique

II.3.1. Climat

Le facteur climatique influe directement sur les ressources hydriques, la couverture végétale, la population...etc. Du fait de sa proximité de la mer méditerranée, la baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par un climat subhumide, un hiver humide et un été chaud et sec (**CNRDPA, 2005**).

II.3.2.Température et précipitation

La température de l'eau est un facteur prépondérant dans la vie des organismes marins, elle contribue de façon importante à la distribution, géographique des espèces marines. Elle détermine les périodes de migrations et de reproduction. Il existe deux périodes durant l'année -Période chaude (avril-octobre), elle se caractérise par des faibles précipitations et une moyenne thermique de 24°C.

-Période froide (novembre-mars), elle se caractérise par des précipitations ayant une moyenne saisonnière de 89,49mm et une moyenne thermique de 15°C.

II. 3.3.Pluviométrie

La zone d'étude fait partie du bassin méditerranéen connu par deux saisons bien distinctes:

- Une saison pluvieuse durant le mois d'octobre jusqu'au mois d'avril.
- Une saison sèche de mai à septembre avec des pluies très rares dues aux orages notamment au mois d'aout (**Annane, 2007**).

II.4.Facteurs hydrodynamiques

La connaissance des actions hydrodynamiques marines est fondamentale pour l'étude de l'évolution des formes côtières, elle doit être à la base de toute opération d'aménagement littoral.

II.4.1.Vents

Le vent est une des forces physiques qui régissent les courants et les houles. La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une périodicité des vents qui se traduisent par une prédominance.

- Des vents d'ouest en hivers et printemps induisant des houles de grandes amplitudes d'une vitesse moyenne de 2m/s.
- Des vents de l'est en été et début d'automne avec des faibles amplitudes, avec une vitesse moyenne supérieur de 2m/s et peuvent être très violents de 15 à 20 m/s durant 3 jours consécutifs (**Asso, 1982**).

II.4.2.Les courants

La baie de Bous-Ismaïl est soumise à un courant générale de l'ouest vers l'est, entre en surface par le détroit de Gibraltar, il résulte d'un écoulement d'eau atlantique pouvant atteindre 0,5 à 0,7 m/s, passant à quelques milles au larges de cotes (**Millots, 1987**).

II.4.3. Les houles

D'une manière générale la houle est définie comme une oscillation de la partie superficielle du plan d'eau et dépend du régime (**Kadari M, 1994 in Achiche, K et Larbi S 2010**).

II.5.Géomorphologie de la baie La baie de Bou-Ismaïl

Est caractérisée par une morphologie côtière diversifiée composées des côtes rocheuses, de falaises, de plages et de dunes (**Grimes, 2004**) in (**Achiche K, Larbi S 2010**).

Les falaises : la falaise la plus importante dans la baie de Bou-Ismaïl est celle de Mont Chenoua qui est située à l'ouest de la commune du chef lieu de Tipaza.

- Les côtes rocheuses : il s'agit de formes rocheuses quelques localisées entre Tipaza
- (Les différentes anses) et Bou Haroun (rocher plat). Les plages : la baie de Bou-Ismaïl comprend 16 plages dont la plus développée est celle.
- De Colonel Abbas (Située dans la commune de Douaouda) qui s'étale sur une longueur de 3.000 m. La granulométrie de ces plages est constituée de sable fin, moyennait des galets. Les dunes : c'est des formations qu'on retrouve immédiatement sur la continuité des plages puisqu'elles sont à l'origine de leur formation.

II.6.Etat de la pollution de la baie de Bou-Ismaïl

II.6.1.Sources de pollution

La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une agriculture bien développée et des terres fertiles utilisant des pesticides polluants la nappe phréatique par infiltration au niveau de la vallée d'oued Damous, Messelmoun, et oued Bellah. Ainsi une étude menée par les services de secrétariat d'état aux forêts et à la mise en valeur des terres (A.N.P.E) en (**Mai,1983**) in (**Oueld Hocine et Hedrougue, 1993**) a recensé 99 unités pour la fertilisation des sols, elles utilisent des produits phytopharmaceutiques tels que les organochlorés, engrais à base de nitrates, phosphates et potassium ou produits à base de cuivre. Les plus importants sont les suivants :

- Base centrale logistique de Béni Mered (rejets de cyanure, chrome, nickel et cuivre)
- Office nationale des aliments de bétail d'Attatba.
- Unité SattiKoléa (utilisation de 44 colorants et 22 produits chimiques).
- Unités de tissage.
- Finissage et teinturerie utilisant des produits chimiques tels que les colorants à base de métaux (chrome, cadmium,.....etc.) Les rejets domestiques et les rejets des complexes touristiques, du moment que la baie fait partie de la zone d'expansion touristique (ZET), qui s'accroissent en période estivale, en plus des nombreuses unités

industrielles. Tous ces rejets sont évacués directement dans le milieu marin sans aucun traitement préalable.

L'urbanisation ou la littoralisation s'accompagnera inévitablement d'un flux supplémentaire de populations sur les zones sensibles avec les effets négatifs. En plus de ces activités, les oueds entraînent vers la mer les eaux usées de Blida et de la base centrale logistique de Béni Mered au niveau de l'oued Macta Makhloof. Ce dernier n'est que la continuité de l'oued Béni Azza où se déversent les eaux usées de la tannerie du moulin, d'une unité d'électroglace, mobilier métallique, d'une unité de transformation de plastique, d'industrie agro-alimentaire ainsi que les eaux des ateliers de traitement de surface de la base logistique de Béni Mered.

Les principales industries qui se trouvent dans la région de Bou-Ismaïl sont indiquées dans le tableau N° 3 suivant :

Tableau 3: Principaux industries dans la région de Bou-Ismaïl (Aouidad, 1997)

industries textiles	Cuirs et peaux	papeteries	Plastiques/caouthax et verre
Ain Bénian (28)			
Douaouda (02)	Ain Bénian (01)	Fouka (01)	Ain Benian (03)
Fouka (04)	Bou-Ismaïl (02)	Zéralda (01)	Bou-Ismaïl (01)
Bou-Ismaïl (08)	Staoueli (01)	Tonic (01)	Staoueli (03)
Bouharoun (03)			Fouka (02)

Il faut signaler aussi que la baie a été sujette à de nombreux aménagements côtiers qui causent de notables dégâts sur les herbiers et les communautés benthiques par les remblayages incessants et l'apport de matériaux et produits artificiels. A tout ça s'ajoute la pollution issue des ouvrages portuaires existants dans la baie : port de pêche de Bou Haroun, port de pêche de Khemisti, port de plaisance et abris de pêche de Tipaza, abris de pêche El Djamila, Port de plaisance de Sidi Fredj et enfin le Port de plaisance de Palm Beach.

D'après des données communiquées par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, on dénombre, rien que pour la commune de Bou-Ismaïl, 07 points de rejets d'eaux usées collectées par le réseau d'assainissement qui se déversent directement en mer sans aucune épuration.

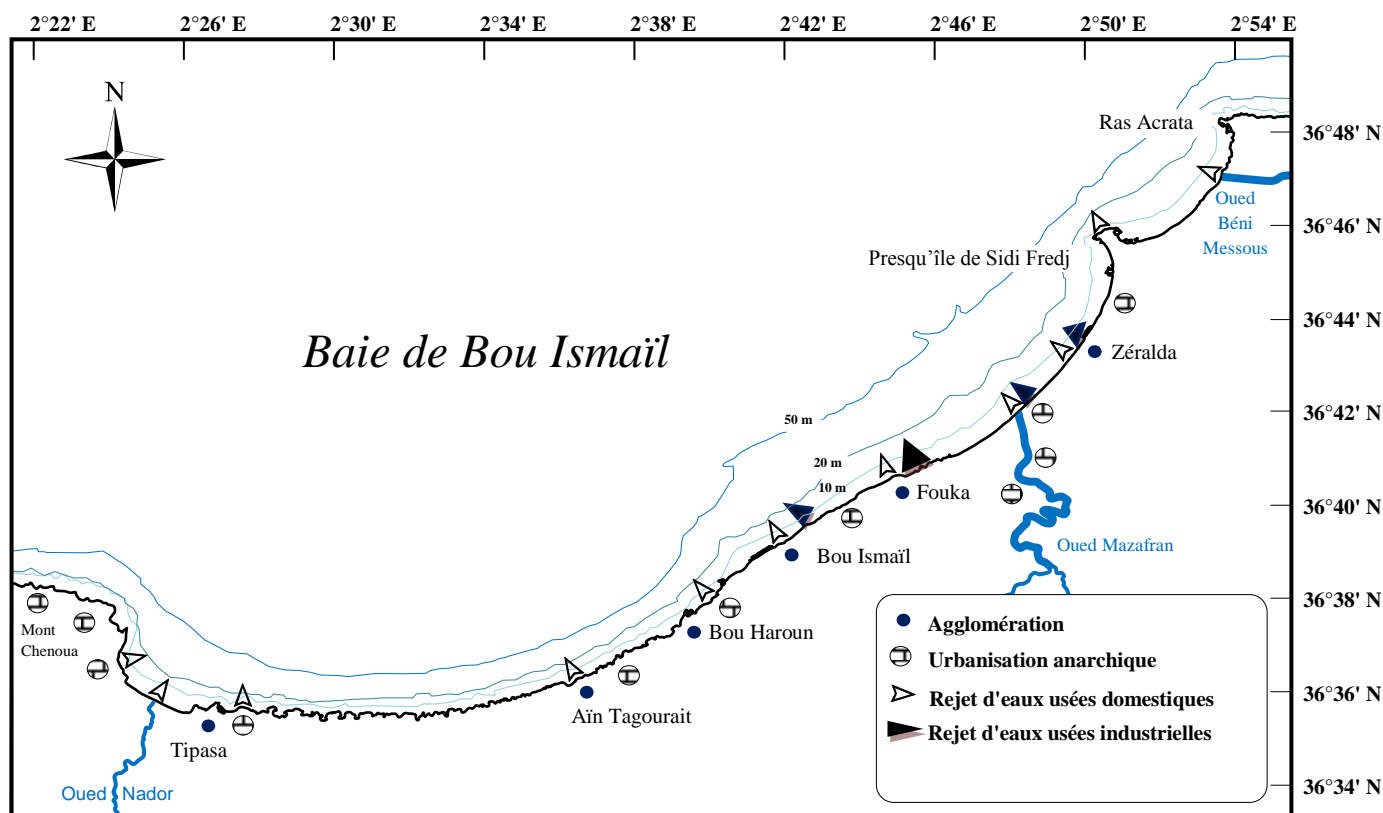


Figure 20 : Principaux points de rejet d’eaux usées dans la baie de Bou-Ismaïl (Tarmoul, 2010)

II.6.2-Stations d’épuration

Il existe dans le bassin versant du Mazafran deux stations d’épurations. L’une est censée traiter 300 000 Eq/hab, elle se situe à Béni Mered dans la wilaya de Blida, la deuxième avec une capacité de 30 000Eq/hab, est située au sud de Koléa près de la rive de l’oued Mazafran dans la Wilaya de Tipaza. Cette station a, sans doute, une influence sur la composition chimique de l’oued notamment en été lorsque les apports liquides naturels sont très faibles avec une densité de population élevée.

II.7.Présentation et choix des zones de d’étude

Dans le cadre de l’évolution de l’écosystème à *Posidonia oceanica* sous l’effet de la pression anthropiques, et dans le but d’avoir une variété de mesures de la pollution marine dans la baie de Bou Ismaïl, plusieurs prélèvements ont été faites dans différentes stations.

Le choix des zones s’est fait sur la base des critères écologiques et anthropiques :

- ✚ La zone 1 est la plage de Thalassothérapie, plage ouest de Sidi Fredj avec des eaux relativement propres et caractérisées par une forte biodiversité ou l'écosystème à *Posidonia oceanica* atteint la surface en formant un récif barrière.
- ✚ La zone 2 est le Front de mer de Bou- Ismail qui reçoit des rejets industriels ; urbains et domestiques engendrant des eaux turbides, fortement polluées avec une biodiversité dégradée où l'herbier à *Posidonia oceanica* est en état de régression permanent.

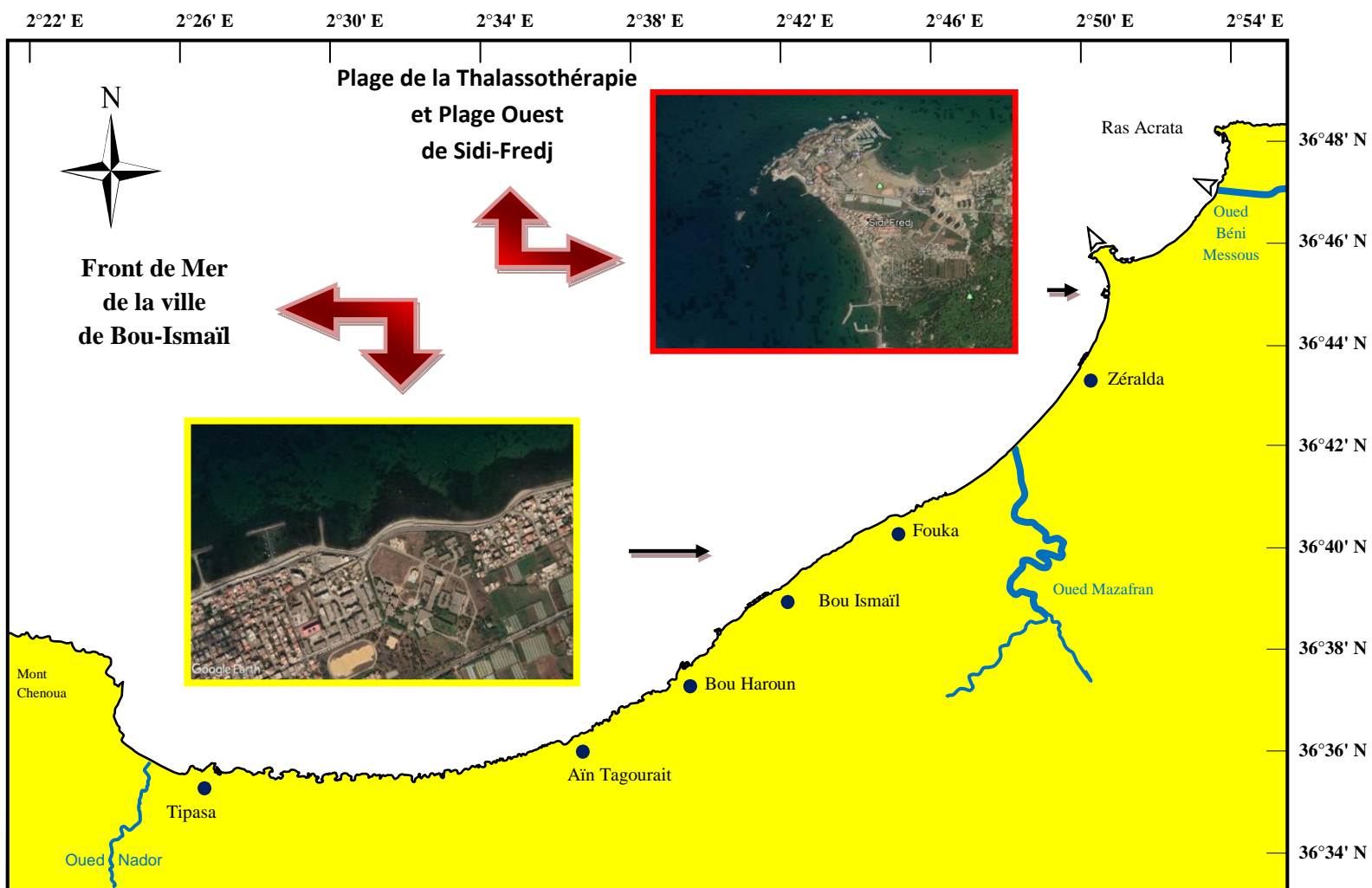


Figure 21 : Localisation des zones d'étude dans la baie de Bou-Ismaïl

II.8.Base de données

Dans notre travail on s'est intéressé à l'étude d'une baie du littoral Algérois la Baie de Bou-Ismaïl, soumises à l'influence des activités humaines intensives, urbaines et industrielles, dans le but d'évaluer l'état de l'eutrophisation ou néanmoins avoir un aperçu sur l'évolution des différents paramètres contrôlant cette dernière.

Cette étude est basée sur des données récoltées dans le cadre de mémoires d'ingénieurs dont les données exploitées reviennent aux travaux de ; **Tarmoul Fateh (2010) ; Boudjemal N et Boughella M (2012) ; Boudaa L (2013) ; Belarbi N & Limani F (2018)**

La saison de prélèvement : entre février et juin

Tableau 4:les stations des zones d'études

Zones et années de prélèvements		Stations de prélèvements	Références
Thalassothérapie (Sidi Fredj)	2010	Z3P1	Tarmoul F; 2010
		Z3P2	
Z3P4			
Front de mer (Bou Ismail)		Z2P2	
Z2P5			
Z2P7			
Z2P8			
Thalassothérapie (Sidi Fredj)		2012	
	B		
Z1S1			
Z1S2			
Z1S3			
Front de mer (Bou Ismail)	E		
F			
Z3S1			
Z3S2			
Z3S3			
Thalassothérapie (Sidi Fredj)	2013	Z2S4	Boudaa L et Ayat Y ; 2013
		Z2S5	
Z2S6			
Plage ouest (Sidi Fredj)		Z3S7	
Z3S8			
Z3S9			
Plage ouest (Sidi Fredj)	2018	S1	Belarbi N et. Limani F ; 2018
		S2	
		S3	
		S4	
		S5	

II.8.1. Les sels nutritifs

Les sels nutritifs appelés aussi nutriments sont des éléments chimiques indispensables à la synthèse des autotrophes de la matière organique. Ces sels représentent l'ensemble de l'azote (15%), du phosphore (3%) et de silicium (**Aubert et al ; 1972**).

Le Phytoplancton à besoin de ces sels nutritifs qu'il trouve dans le milieu marin pour sa croissance, son développement et la formation de son développement et la formation de son

squelette. Les faibles concentrations d'éléments nutritifs dans le milieu marin, minimisent la photosynthèse tandis que les excès provoquent une eutrophisation du milieu, qui se traduit par une importante croissance de certaines espèces phytoplanctoniques.

On trouve très souvent, une augmentation considérable des concentrations en sels nutritifs près des estuaires et les milieux portuaires (**Aminot, 1983**).

II.8.1.1.Origine des sels nutritifs

Les sels nutritifs, dans l'eau de mer ont plusieurs origines qu'on peut regrouper en deux types de sources (externes et internes) (**Boulaïdid ; 1987**) .

- a) **Source interne** : c'est la régénération des sels nutritifs à partir de la matière organique produite par le plancton dans les eaux de surface. Cette origine, à elle seule, représente environ 97% ; plus la diffusion des sels nutritifs à partir des sédiments marins.
- b) **Source externe** : Regroupe tous les apports continentaux qui sont transportés à la mer, soit par la voie éolienne ou par la voie fluviale. Ces derniers peuvent contenir des substances toxiques pour le milieu marin.

II.8.1.2.Différentes formes des sels nutritifs

II .8.1.2.1.L'azote

L'azote existe dans l'eau de mer sous différents formes (Oudot,1983).

La forme la plus abondante d'azote dans l'eau de mer est **l'azote élémentaire gazeux (N_2)**.

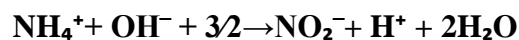
- **L'azote ammoniacal**

Il est présent sous deux formes en solution, l'ammoniaque (NH_3) et l'ammonium (NH_4^+) dont les proportions dépendent du pH et de la température et de salinité (**AMinot ; 1963**). La forme d'ions ammonium NH_4^+ est non toxique, NH_3^+ est la forme toxique (**Gaujous ; 1995**).

L'azote ammoniacal provient des excréctions animales et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés; il est utilisé par le phytoplancton comme source d'azote et oxydes par les bactéries nitrifiantes (**Aminot et Chaussepied, 1983**). Dans les eaux marines, l'azote ammoniacal se trouve à des concentrations inférieures été oxydé en nitrite puis nitrate. Lorsque l'on se rapproche des émissaires urbains, les concentrations peuvent atteindre plusieurs centaines de micromoles par litre. L'ammonium devient dans ces conditions un bon traceur de pollution urbaine (**Aminot ; 1983**).

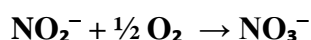
- **Nitrites (NO₂⁻) et les Nitrates (NO₃⁻)**

Les nitrites résultent de l'oxydation de l'ammonium (NH₄⁺) par des bactéries (Nitrosomonas), appelée (Nitrosation), qui s'effectue selon la réaction suivante :



Ils sont aussi issus de la réduction des nitrates dans les milieux anoxiques, ainsi que des excréments des organismes. Puisque les nitrites sont des formes intermédiaires relativement fugaces entre l'ammonium et les nitrates, leurs concentrations dans l'eau de mer varient de zéro à quelques micromoles par litres. Dans le cas rares, leur teneurs peuvent atteindre 10 à 20 μmol/l (phénomène de dénitrification). Les zones de remontée d'eau profonde ou la production primaire est forte, sont enrichies en nitrites provenant de l'excrétion directe ou de la décomposition des composés azotés rejetés pas les organismes (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Les Nitrates résultent de l'oxydation des nitrites par des bactéries (Nitrobacter) appelée (Nitratation) qui s'effectue selon la réaction suivante :



L'ion nitrate qui est thermodynamiquement stable est l'espèce la plus utilisée lors de la photosynthèse (**Copin-Monteguet ; 1996**).

C'est la plus répandue dans l'océan (environ 65% du stock de l'azote). Sa concentration varie très largement, les teneurs les plus élevées se situent aux niveaux des eaux intermédiaires.

II.8.1.2.2. Phosphore

Les ortho phosphates sont la forme minérale majoritaires du phosphore (**Aminot et Chaussepied ; 1983**).

Dans l'eau de mer, ils sont présents essentiellement sous les deux formes : PO₄⁻³ (10%), HPO₄⁻² (87%) et H₂PO₄⁻ représentant moins de 1% (**Reley et Chester, 1971 ; Jaques et Treguer ; 1986**).

Ces différentes formes sont issues de la dissociation de l'acide ortho phosphoriques selon les équilibres suivants :



II.8.1.3. Danger liés à la pollution par les sels nutritifs

Présent en excès les sels nutritifs peuvent provoquer un phénomène d'eutrophisation du milieu en particulier dans les zones fermées ou semis fermées (lagunes ; estuaires ...).

Ce phénomène se caractérise généralement par un enrichissement du milieu en substances nutritives (particulièrement les phosphates et les nitrates). Provenant des sources naturelles ou anthropiques, ce qui provoque une prolifération massive des algues et des phytoplanctons, laquelle peut engendrer des effets nuisibles sur le milieu, tel que la désoxygénation (ou même l'anoxie), la diminution de la biodiversité et la mortalité de poissons.

Ainsi, l'impact de l'enrichissement en sels dépend de temps de résidence moyen des eaux dans la zone, autrement dit, dépend de la circulation générale dans la zone.

Une circulation de grande emprise entraîne les eaux côtières riches et les dilue au large, si les courants sont assez faibles une petite stratification peut s'installer momentanément, l'enrichissement se traduira par une importante production végétale sur place.

II.8.1.4. L'eutrophisation des eaux

II. 8.1.4.1. Définition de l'eutrophisation

L'eutrophisation est un phénomène engendré par l'accumulation des nutriments (nitrates et phosphates) dans les milieux aquatiques et constitue l'une des causes de la détérioration de la qualité de l'eau et de l'écosystème. Les émissions à l'eau de sels nutritifs peuvent être d'origine naturelle et anthropique.

L'enrichissement des eaux en sels nutritifs provenant de diverses sources anthropiques engendre des nuisances importantes et variables dans le milieu marin. Si les concentrations de ces éléments nutritifs s'accroissent, elles peuvent atteindre un niveau irréversible surtout dans les milieux fermés ou semi fermés comme c'est le cas de la méditerranée. Les effets néfastes se manifestent par l'épuisement de l'oxygène, par sa consommation lors de la minéralisation de la matière organique, ainsi que la libération des sels nutritifs. Cette désoxygénation affecte toute la vie marine.

La richesse en sels nutritifs peut être à l'origine d'une prolifération algale qui peut avoir des effets négatifs sur la vie marine et la santé publique. On peut assister aussi à plusieurs blooms annuels et par conséquent à un effet négatif sur les espèces photo benthiques et qui peut aller jusqu'à l'anoxie du milieu, la régression de l'herbier à posidonies qui peut causer la mort des

poissons, ainsi que la libération des gaz corrosifs et autres substances telles que CO₂, CH₄, H₂S, ainsi que des toxines (Lacaze, 1996).

En Algérie, plusieurs épisodes d'eaux colorées ont été signalés le long des côtes algériennes et plus particulièrement dans le secteur centre. Ces manifestations sont intensifiées depuis l'été 2003, alors que, durant l'été 2009, au moins trois secteurs ont été touchés par ce phénomène.

II. 8.1.4.2.les Causes de l'eutrophisation

Tout facteur qui participe à l'augmentation de la quantité d'éléments nutritifs dans les milieux marins peut influencer la vitesse d'eutrophisation des mers. Ces facteurs peuvent être naturels (ruissellement dans le bassin versant, barrages de castor, etc.) ou anthropiques, comme par exemple : • Épandage d'engrais à des fins agricoles ou horticoles (chimiques ou naturels); • Absence de bande riveraine qui favorise l'érosion des berges et limite la capacité de rétention des éléments nutritifs provenant du bassin versant (sources naturelles et artificielles) et transportés par ruissellement. • Utilisation de produits domestiques contenant des phosphates. • Rejets d'eaux usées industriels, urbains et domestiques • les retombées atmosphériques d'azote

II.8.1.4.3.Comprendre le processus d'eutrophisation

Voici en résumé les grandes étapes de ce phénomène complexe :

1. Le milieu marin reçoit des apports en éléments nutritifs (particulièrement en phosphore) provenant de sources diverses (naturelles et anthropiques sur une longue ou courte période de temps).
2. L'accumulation d'éléments nutritifs dans l'eau de mer provoque, à plus ou moins long terme, une prolifération de plantes aquatiques et d'algues dans la couche supérieure du milieu aquatique et dans le littoral. Ce qui réduit considérablement la transparence de l'eau (l'eau devient plus turbide).
3. L'augmentation de la turbidité limite le passage de la lumière à travers la colonne d'eau. La photosynthèse ne peut alors s'effectuer que près de la surface du milieu.
4. Le surplus de matière végétale produit dans l'épilimnion se dépose au fond du lac, suite à sa sénescence (mortalité).
5. Les décomposeurs utilisent l'oxygène dissous afin de décomposer la matière végétale, ce qui provoque une diminution des concentrations d'oxygène dissous en profondeur.

6. La raréfaction de l'oxygène dissous de la couche inférieure du milieu marin occasionne un changement dans la biodiversité des espèces présentes au lac (ex. : disparition des espèces de poissons d'intérêt sportif tels que les truites).

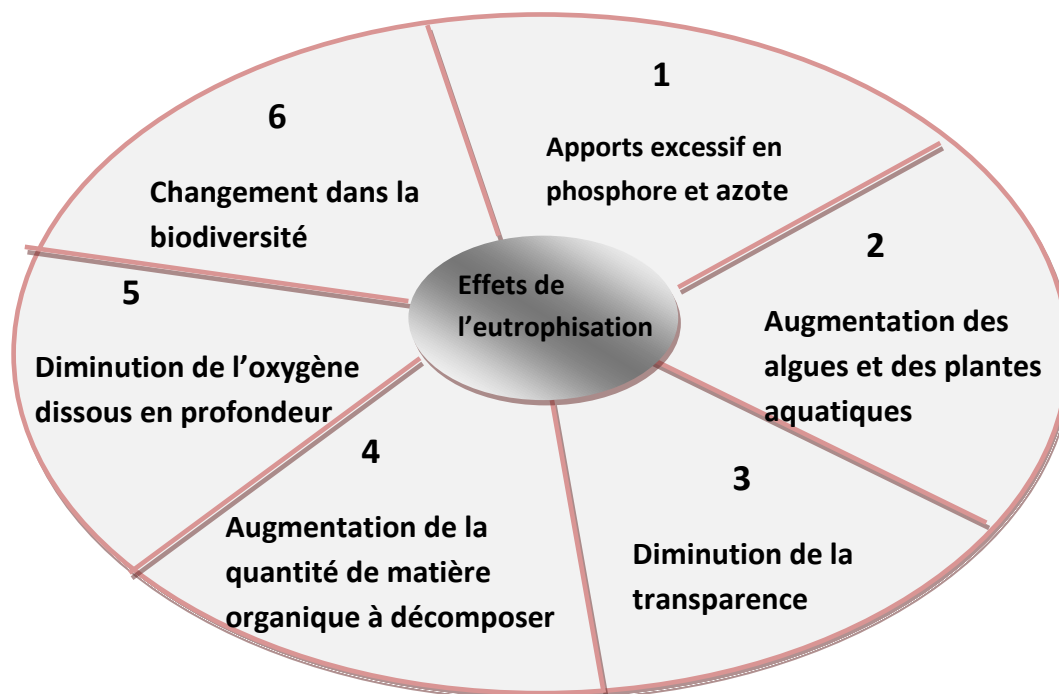


Figure 22 : le processus d'eutrophisation (CRE Laurentides ; 2009)

II.8.1.4.5. Le potentiel d'eutrophisation

Le potentiel d'eutrophisation a été déterminé comme une catégorie d'impact environnemental selon la méthode d'analyse du cycle de vie (ACV) avec la prise en compte des masses émises de chaque nutriment au niveau de la zone d'étude. La formule ci-dessous exprime le potentiel d'eutrophisation dans les eaux marines côtières (PEM) en fonction des masses $M(N)$ pour l'azote au $M(P)$ pour le phosphore, émises par les différentes sources industrielles, agricoles et urbaines dans la zone étudiée et d'un facteur de caractérisation FC (Ghazi M 2010 ; 2015-2020).

$$PEM = \sum (FC * M)$$

Avec

PEM : Potentiel d'eutrophisation marine

FC : Facteur de caractérisation de l'eutrophisation liée à l'apport d'Azote et de phosphore dans les eaux marines.

M : Masse totale du flux d'azote et de phosphore annuel dans les eaux marines de la zone étudiée.

Le facteur de caractérisation de l'azote et le phosphore dans la région algéroise a été calculé par un modèle mathématique (LCIA model) dans un travail récent soutenu par Bounoua M. et encadré par Ghazi M (**Bounoua M., 2020**).

FC (N)	FC (P)
2410	1,76

Sachant que : $M = C * V$  $V = A * H$

Où

V : volume de dilution de l'azote et de phosphore

A (m₂) : la surface

H(m) : Hauteur

A (m₂)	H (m)	V (m₃)
285160000	12	3421920000

Conversion :

1 µg / l  0.071394 µmol / l

1 µg/l  (µmol/l)/0,071

II.8.2.Les métaux lourds

II.8.2.1. Généralités sur les métaux

Les métaux lourds aussi appelés éléments-traces sont présent de façon naturelle dans le milieu marin, ils sont caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 g/cm³. (**Maria et al, 1998**).

Ces composés étant non biodégradable, s'accumulent dans les sédiments où ils persistent indéfiniment. (**Huynh, 2009**).

Différentes sources contribuent à l'augmentation des concentrations des métaux lourds dans le milieu marin et surtout en zone côtières, nous citons ; les rejets industriels et domestique, les eaux d'écoulement contaminés par les pesticides et les engrais utilisés en agricultures, les plus couramment employées sont les techniques de photométrie d'absorption ou d'émission et les techniques électrochimiques. (**Aubert et al, 1980**).

II. 8.2.2. Présentation des principaux métaux lourds à étudier

Dans le milieu marin les métaux lourds qui ont retenu le plus l'attention des chercheurs en raison de leurs toxicité sur les organismes et des risque qu'ils présentent pour la santé humaines sont le manganèse (Mn), le zinc (Zn), cadmium (Cd), mercure (Hg), cuivre (Cu), plomb (Pb) et cobalt (Cb), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le aluminium (Pb) et l'asenic (As) **(Kaisser, J.2001)**.

Dans notre étude on s'intéressent à trois éléments traces métalliques Ils ont des propriétés toxiques et métaboliques et sont la cause d'effets multiples sur l'écosystème marin. Ces éléments ne sont pas toujours éliminés par des processus naturels mais sont accumulés dans la faune, la flore et les sédiments. Présentons dans le tableau 5 :

Tableau 5: Présentation de quelque caractéristique des métaux lourds étudiés.

Eléments	Symbole	Numéro atomique (Z)	Masse molaire (g/mol)
Mercure	Hg	80	200.59
Plomb	Pb	82	207.2
Zinc	Zn	30	56.38

- **Le Plomb (Pb)**

Le plomb est un élément très réactif dans l'environnement, sa principale source dans l'océan est l'atmosphère. Il possède trois isotope qui sont le résultat de la désintégration des séries de l'uranium, de l'actinium et de thorium. Il présente une très forte affinité pour la matière particulaire d'où son adsorption sur cette dernière est fonction du ph. **(Gossa et al, 1993)**.

Selon la norme française, il présente une toxicité aigue à partir de 0.1 mg/l, ma limite des rejets industriels en mer est de 0.5 mg/l Pb, arrête de 1 Mars1993. **(Gaujous, 1995)**.

Dans un milieu acide, le Pb sera sous formes d'ion Pb^{+2} , alors que pour des ph élevés se trouvera sous forme complexe avec des hydroxydes, par conséquent, sont adsorption sur des matières particulaire est fonction du ph. **(Cossa et al, 1993)**.

- **Le cadmium (Cd)**

Les fleuves sont une source importante d'importante d'apport de cadmium à l'océan, dans les sédiments l'adsorption de cadmium est principalement en relation avec les concentrations en carbone organique qui augmente avec le pH et diminue avec la force ionique. Il est rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissous, particulaire, colloïdale) et chimique (organique et inorganique) ; l'ensemble de variable physico-chimique du milieu (température, salinité, pH, concentration en chlorure,...) conduisent les transformations du cadmium dans l'environnement. **(Gonzalez et al, 1999)**. En eau de mer les teneurs sont très variables selon le profondeur et li lieu du prélèvement. Le niveau du référence habituellement retenue en ce qui concerne les sédiments fins est de 0.2 mg/l. cependant, dans des sédiments très chargés en matières organique, on peut observer des teneurs plus élevées sans qu'une contamination puisse être mise en cause. **(Bernard, 1989)**.

Selon la norme française, la limite des rejets industriels en mer est de 0.2mg/l Cd, arrêté du 1 Mars 1993. **(Gaujous, 1995)**.

- **Le zinc (Zn)**

Le zinc est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides. Il est utilisé pour la protection des métaux contre la corrosion (revêtement) dans le milieu marin, dans la construction immobilière, les équipements pour l'automobile et dans la fabrication de produit formés. **(Jean-Claude, 2011)**.

Sa toxicité pour les organismes marins n'est pas prouvée, sauf à des fortes concentrations. **(Bzlabed, 2010)**.

II. 8.2.3.Toxicité des métaux lourds

Du fait de leur toxicité, les métaux lourds peuvent constituer des éléments perturbateurs pour les écosystèmes **(Allow, 1995)**. Ils peuvent aussi constituer un réel problème de santé publique **(Baize, 1997 in Lassabatre, 2002)**. Et cela à partir d'un certain seuil de contamination **(Tableau 7)**

Tableau 6: teneur critique des sols en métaux lourds pour la croissance des végétaux, des animaux et la contamination humaine. (Singh, 1994 in Pagatto, 1999).

Métal	Plomb	Zinc	Cuivre	Cadmium
Teneur critique (mg/kg de matière sèche)	200	400	100	8

Ces contaminants font donc l’objet d’une attention particulière. Et pour cela la toxicité de chacun des éléments (Pb, Zn, Hg) est importante à étudier.

II. 8.2.4.Indice de contamination (IC)

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

IC= concentration observé / concentration normal

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

II.8.2.5.Les valeurs guides

Les stratégies de définition des valeurs guides (Tableau 5) 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 bio disponible (fraction extractible) ou à des concentrations (sans effets, effets mineurs, effets néfastes).

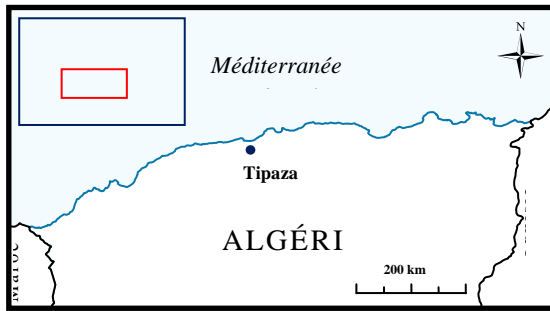
Le tableau suivant représente d’autres valeurs considérées comme concentration de références réalisées par Meybeek et l’agence de l’eau Artois-Picardie in Noppf,1996) dans le bassin d’Artois-Picardie.

Tableau 8: Valeurs guides pour les métaux lourds par différents pays (ABRCM, 1980)

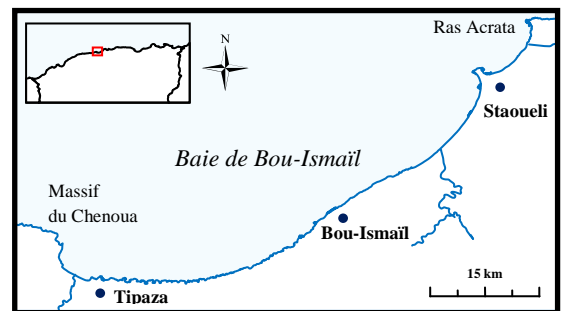
Pays	Cadmium	Plomb	Zinc	Mercur
Algérie	2	250	500	1,5
France	0.6	22	80	0,2
Hollande	0.8	85	140	0,3

III.1. Les activités anthropiques de la Baie de Bou Ismail

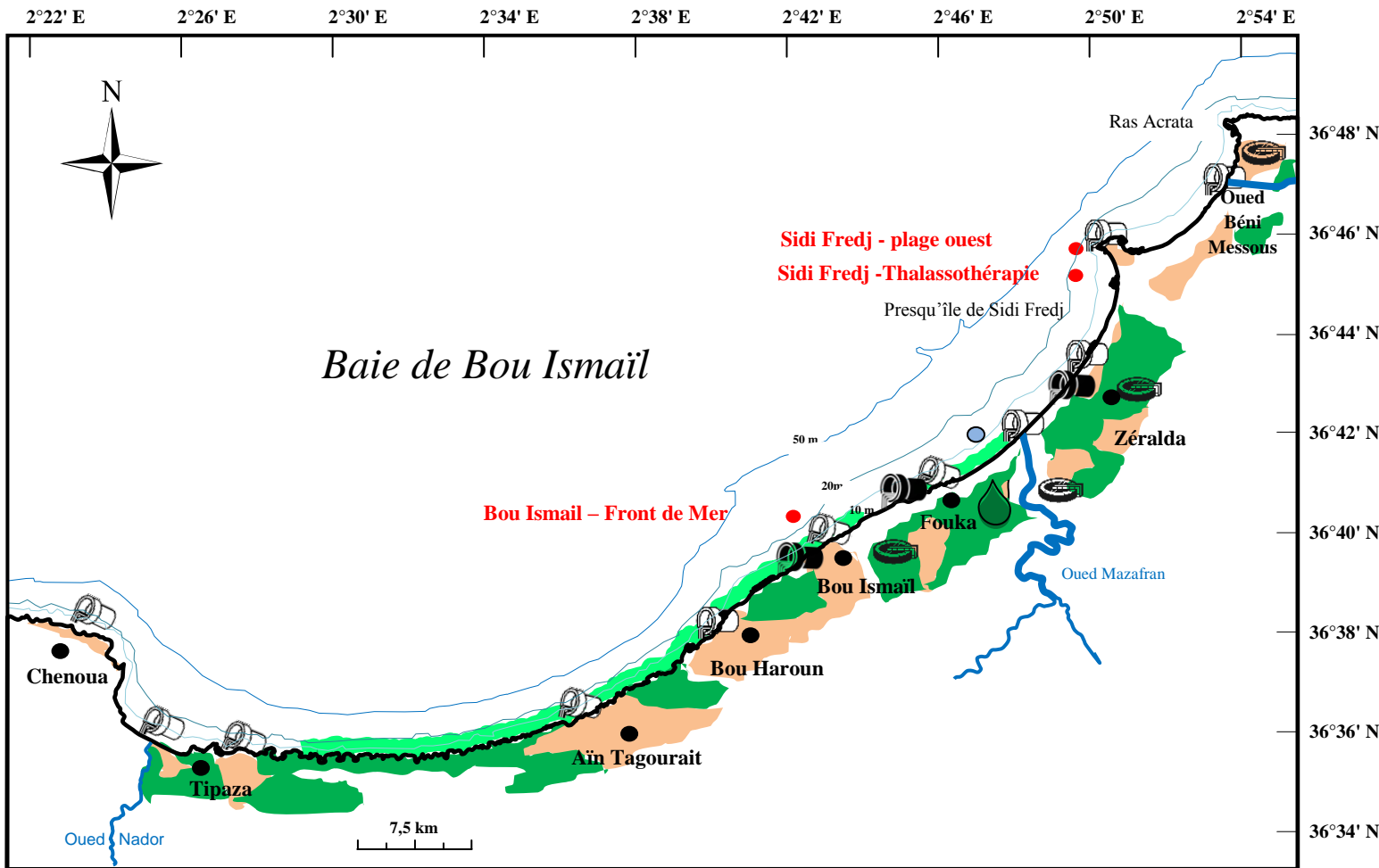
La carte ci –dessous représente les activités anthropiques de la Baie de Bou Ismail



- A -



- B -



- C -

- Zones d'études
- Agglomération
- Station d'épuration d'eaux usées
- point de déversement de saumure
- Rejet d'eaux usées domestiques
- Rejet d'eaux usées industrielles
- linéaire occupé par la posidonie
- Zones agricoles
- Station de dessalement
- Zones urbaines

Figure 23 : Carte des activités anthropiques de la baie de Bou Ismail (Belghoraf M et Beledel B ; 2020)

général et approximatif des activités anthropiques dans la baie de Bou-Ismaïl :

- Beaucoup des rejets d'eaux usées domestiques dans la Baie, ainsi que de rejets d'eaux usées industrielles au niveau de Bou-Ismaïl, Fouka et Zeralda ; ce qui conduit à une pollution assez importante dans ces zones urbaines.
- Des stations d'épurations au niveau de Oued Beni Messou ; Zeralda ; Oued Mazafran et Bou Ismaïl ; en plus la station de dessalement de Fouka qui rejette le sel résultant dans la mer sous forme d'un point de déversement de saumure.
- Des zones urbaines presque au niveau de toutes les zones de la Baie ; ainsi que des terres agricoles (essentiellement de la plasticulture) lesquelles utilisent des produits chimiques (des pesticides, des insecticides et des herbicides) ainsi que de grandes quantités d'engrais (azotes, phosphatés ...).
- On note également cette année l'absence de rejets dans le front de mer de Bou- Ismaïl ainsi qu'à Sidi-Fredj (plage ouest ; thalassothérapie)
- Un linéaire occupé par la posidonie ; a été estimé à partir d'études ultérieures.

Donc cette carte nous synthétisons en réalisant un aperçu sur l'état des lieux dans la baie de Bou-Ismaïl.

III.2. Les sels nutritifs

Le tableau suivant représente les concentrations des sels nutritifs dans les eaux des zones d'études.

Tableau 9: les concentrations des sels nutritifs dans les eaux des trois zones d'étude.

Région	Ammonium (µmol/l)	Nitrate (µmol/l)	Nitrite (µmol/l)	Azote total (µmol/l)	Ortho phosphate(µmol/l)	Références (µmol/l)
Thalassothérapie Sidi-Fredj	5,9343	0,0105	0,0594	6.0042	0,4493	Tarmoul ; 2010
Front de mer ; Bou-Ismaïl	12,055 4.9169	0,6556	0,8368	13.5474	3,3069	
Thalassothérapie Sidi-Fredj	0.1906	0.0283	0.0118	0.2307	0.2366	Boudjemal N et Boughella M ; 2012
Front de mer Bou-Ismaïl	1.7140	0.3822	0.3918	1.948	0.2640	
Thalassothérapie Sidi-Fredj	1,1452991	0,23333	0,15079	1.5294	0,7872727	Boudaa L et Ayat Y ;2013
Plage ouest ;	1,042735	0,26	0,03968	1.3424	0,5454545	

Plage ouest Sidi-Fredj	7,05	0,1	0,08	7,23	0,11	Belarbi N & Limani F2018
------------------------	------	-----	------	------	------	--------------------------

Sachant que :

Azote totale (N) = les valeurs moyennes de (ammonium+ nitrate + nitrite).

III.2.1.l'ammonium(NH₄⁺) :

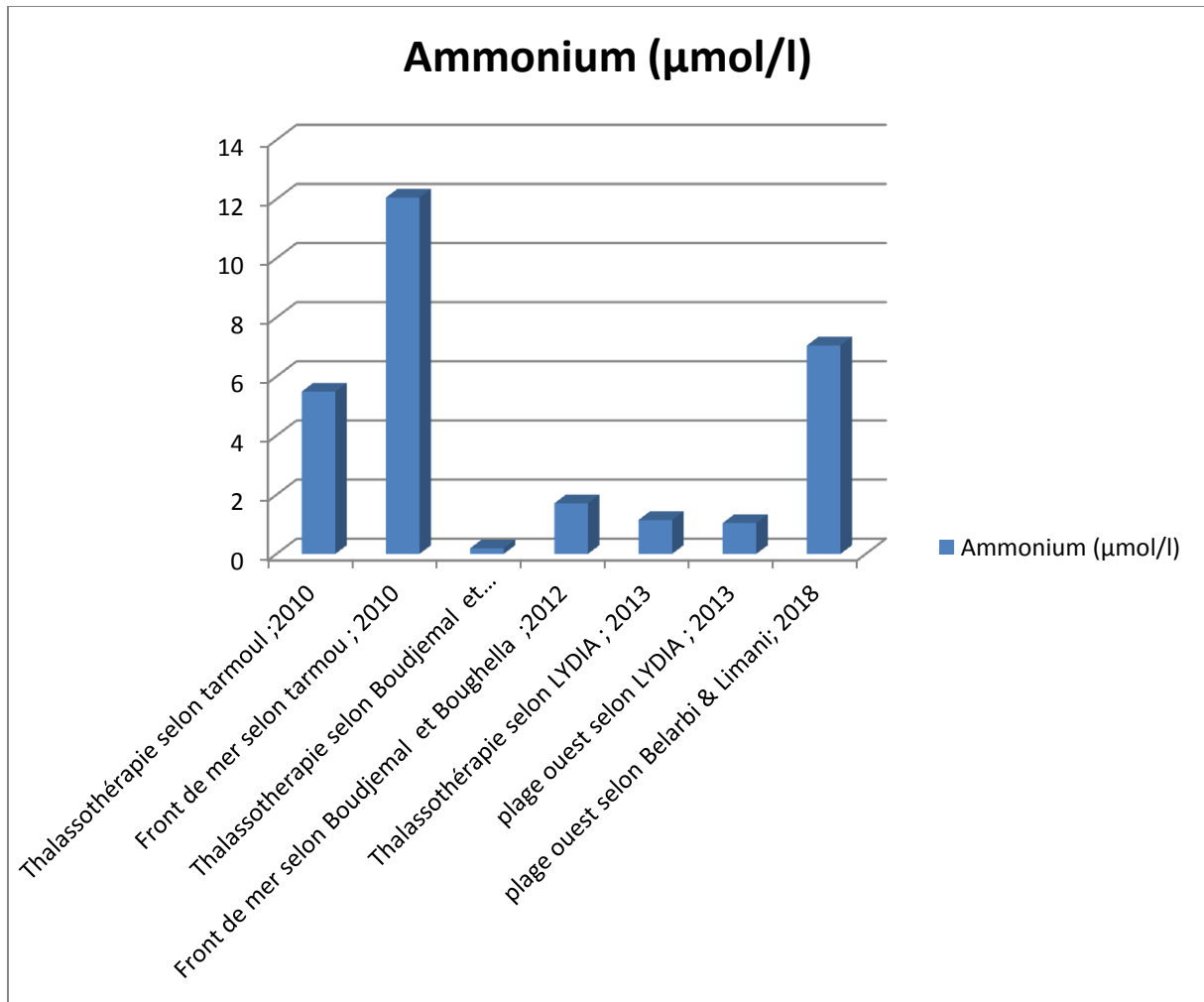


Figure 24: Histogramme des concentrations en ammonium dans les trois zones d'étude durant différentes années

Les concentrations en ammonium sont très variables en fonction du lieu et de l'année. Mais d'après Aminot et Chaussepied (1983) on devrait avoir des taux de l'ordre de plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de µmol/l au niveau d'une zone polluée ; ce qui est tout à fait le cas dans la zone de front de mer en 2010, avec une moyenne de 12,05 (µmol/l) par rapport aux autres zones, dans ces dernières les concentrations sont dans les alentours de 0,1 et 7,05 µmol/l. ces faibles teneurs sont peut-être dues au fait que les organismes autotrophes

le réabsorbent rapidement, et qu'une fraction plus ou moins importante est oxydée en milieu aérobie pour donner des nitrites puis des nitrates (nitrification) (Levêque, 1996 in Lourguioui, 2006).

III.2.2. les nitrites (NO_2^-) :

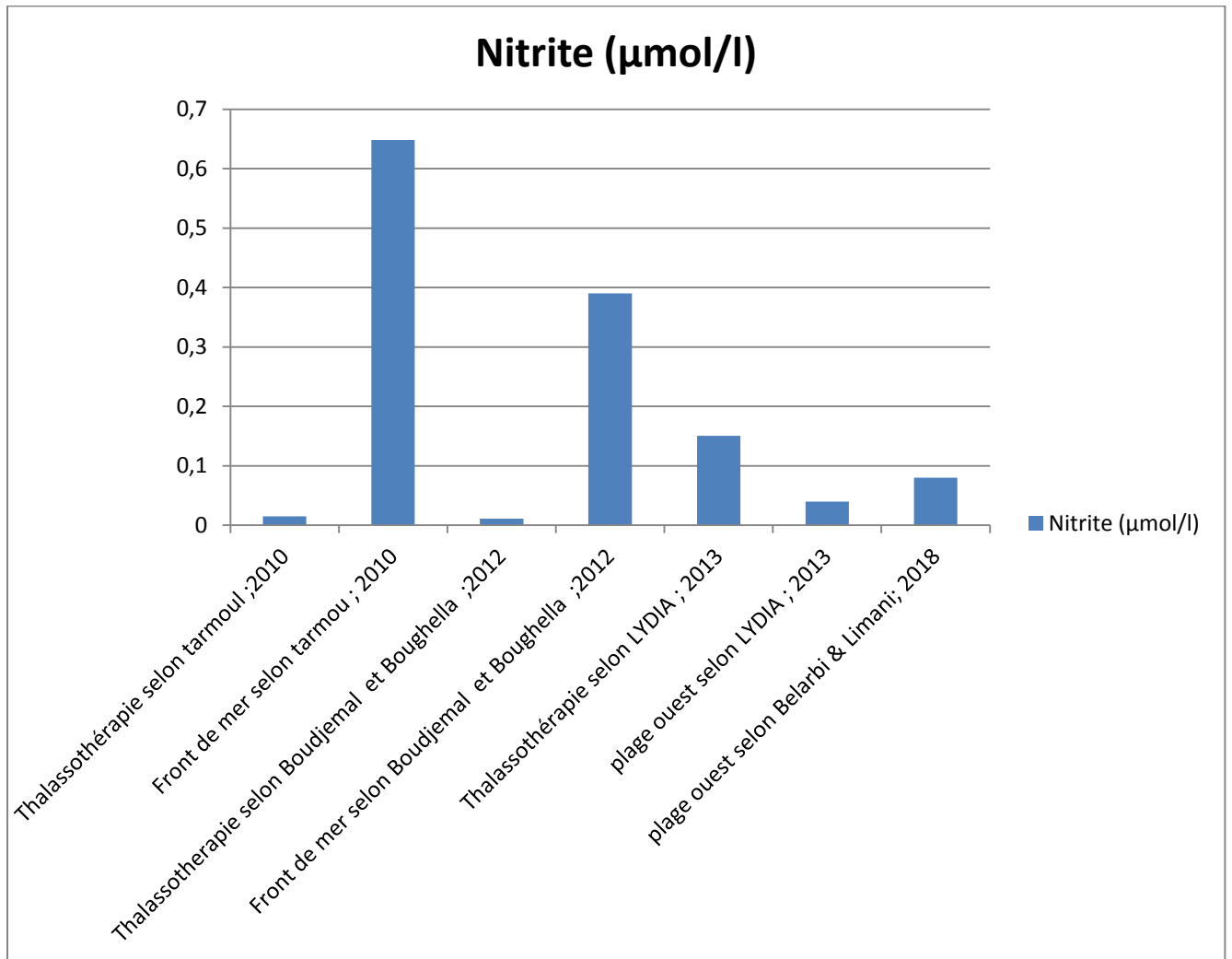


Figure 25: Histogramme des concentrations en nitrite dans les trois zones d'étude durant différentes années

Dans les trois zones d'études les teneurs en nitrites sont relativement faibles comparé aux nitrates et à l'ammonium durant toutes les années, ceci peut être expliqué par le fait que les nitrites sont un état intermédiaire entre l'ammonium et nitrates, et par le processus de nitrification et/ou la consommation des nitrites par les microorganismes marins lors de leur croissance.

On a observé un maximum de concentration dans la zone de Front de mer en 2010 avec une teneur de 0,83 µmol/l, ces résultats reflètent les apports terrigènes qui se déversent dans la

Baie et durant cette année qui augmente localement les teneurs en nitrites. Ces teneurs diminuent progressivement avec les années.

Les concentrations faibles en nitrites sont observées au niveau des deux autres zones (thalassothérapie et plage ouest) durant les quatre années avec des teneurs entre 0,01 et 0,1 ($\mu\text{mol/l}$).

III.2.3. les nitrates (NO_3^-) :

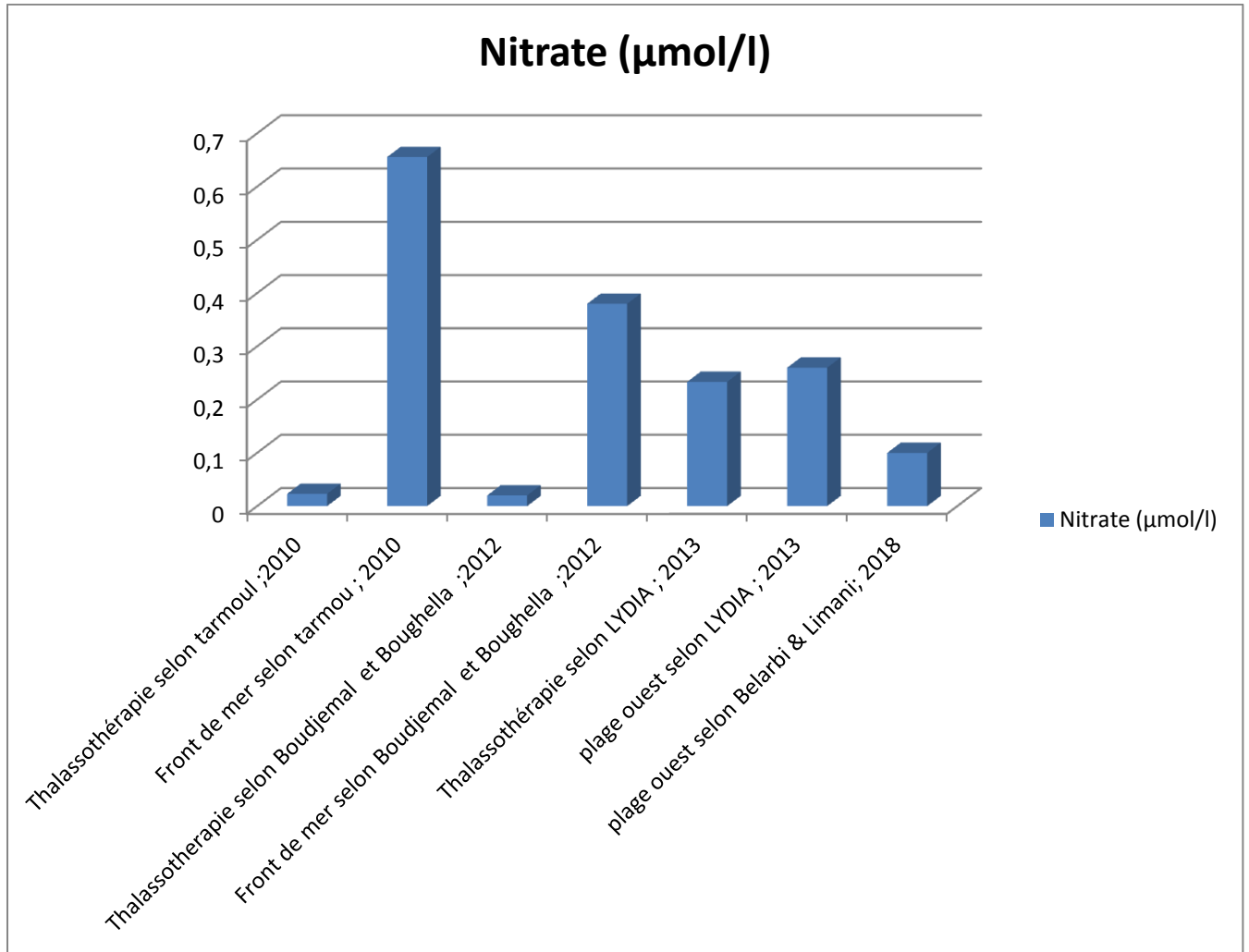


Figure 26: Histogramme des concentrations en nitrates dans les trois zones d'étude durant différentes années

Les teneurs en nitrates dans les deux zones d'études (thalassothérapie et plage ouest de Sidi Fredj) présentent des concentrations significativement faibles entre (0,01) et (0,26) ($\mu\text{mol/l}$) ce qui peut être dû à certaines pollutions bactériennes qui transforment les nitrates en nitrites ou au processus de dénitrification biologique où les nitrates constituent une source d'oxygène pour le développement bactérien (RODIER et al, 1996).

Les valeurs les plus élevées et maximales sont rencontrées dans le Front de mer de Bou Ismail, à proximité des rejets, avec des teneurs de (0,6- 0,3) ($\mu\text{mol/l}$) respectivement dans les années 2010, 2012 ce qui ne peut être expliqué que par un apport d'eaux usées riche en nitrates et /ou une oxydation de l'ammonium plus forte dans 2010 que dans 2012 dans cette zone.

III.2.4. les ortho phosphates (PO_4^{3-})

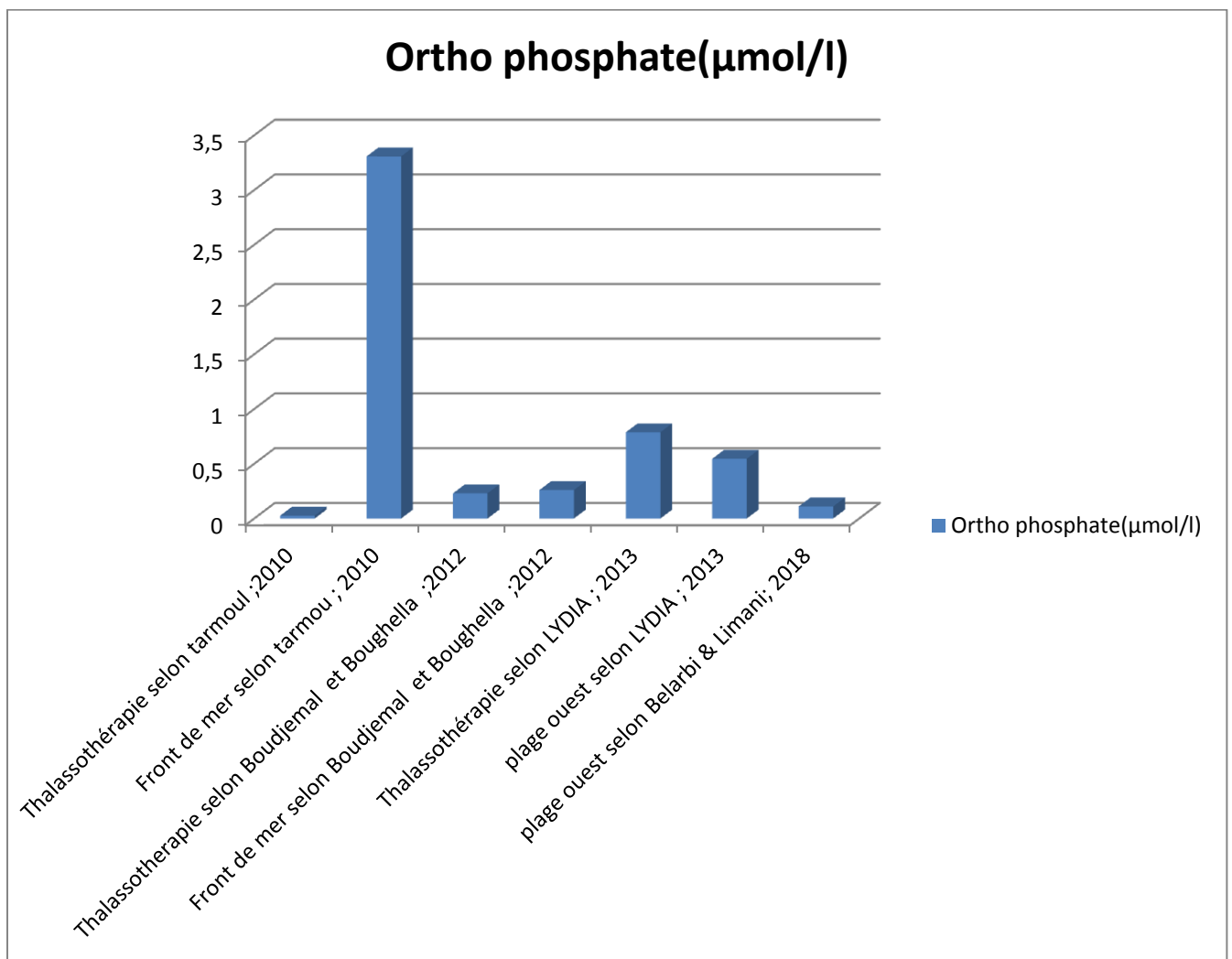


Figure 27: Histogramme des concentrations en ortho phosphate dans les trois zones d'étude durant différentes années.

A l'état normal les concentrations des ortho-phosphates varient entre 0 et $1\mu\text{mol/l}$.

(Aminot et Chaussepied 1983).

Excepté dans le front de mer de Bou Ismail en 2010 toutes les autres stations dans les trois zones d'étude présentent des teneurs en ortho phosphates inférieures à $1\mu\text{mol/l}$.

Ces faibles concentrations se traduisent par la consommation du phosphore par le phytoplancton et/ou probablement que les phosphates sont retenus directement par le

sédiment.

la majeure partie des phosphores (surtout qui sont tricalcique insoluble) restent dans le sol, le maximum enregistré dans le front de mer en 2010 peut être le résultat des polluants introduits dans le milieu par les rejets urbains durant cette année et Ceci confirme aussi que ce rejet peut vraisemblablement provoquer, par les déversements quotidiens riches en azote et phosphore, des eutrophisations très nocives pour l'herbier à posidonie souvent signalées dans cette zone au printemps.

III.3. Calcul du potentiel d'eutrophisation

Le potentiel d'eutrophisation a été déterminé comme une catégorie d'impact environnemental selon la méthode d'analyse du cycle de vie (ACV) avec la prise en compte des masses émises de chaque nutriment au niveau de la zone d'étude.

Le potentiel d'eutrophisation PEM d'azote et du phosphore a été basé sur la formule ci-dessus et les facteurs de caractérisation modélisés (**Bounoua M. 2020**). Les résultats de calcul des scores du potentiel d'eutrophisation concernant les années 2010, 2012, 2013 et 2018 sont présentés dans les tableaux suivants :

$$PEM = \sum FC * M$$

Tableau 10 : les moyennes d'azote et de phosphate dans les trois zones d'études

Région	Azote total (µmol/l)	Ortho phosphate(µmol/l)	Références (µmol/l)
Thalassothérapie Sidi-Fredj	6.0042	0,4493	Tarmoul ; 2010
Front de mer ; Bou-Ismaïl	13.5474	3,3069	
Thalassothérapie Sidi-Fredj	0.2307	0.2366	Boudjemal N et Boughella M ; 2012
Front de mer Bou-Ismaïl	1.948	0.2640	
Thalassothérapie Sidi-Fredj	1.5294	0,7872727	Boudaa L et Ayat Y ;2013
Plage ouest ;	1.3424	0,5454545	
Plage ouest Sidi-Fredj	7,23	0,11	Belarbi N & Limani F2018

- Calcul de M(N) en Kg ensuite en tonne

Tableau 11: La masse de l'azote des zones d'études durant les différentes années

Années	A (m2)	H (m)	V (m3)	C (N Kgl/m3)	M(N) kg	M(N) kg	M(N) Tonne	Zones
2010	285160000	12	0,000084	287441,28	287441,28	287,441	287,441	Thalassothérapie ; 2010 Sidi-Fredj
			0,00019	650164,8	650164,8	650,164	650,164	Front de mer ;2010 Bou-Ismaïl
2012			0,0000032	10950,14	10950,14	10,950	10,950	Thalassothérapie ; 2012 Sidi-Fredj
			0,000027	92391,84	92391,84	92,391	92,391	Front de mer ; 2012 Bou-Ismaïl
2013			0,000021	71860,32	71860,32	71,860	71,860	Thalassothérapie ; 2013 Sidi-Fredj
			0,000018	61594,56	61594,56	61,594	61,594	Plage ouest ; 2013 Sidi-Fredj
2018			0,00010183	348454,1136	348454,1136	348,454	348,454	Plage ouest ; 2018 Sidi-Fredj

Conversion :

$$1 \mu\text{g N/l} = 1/\text{MW N} = 0.071394 \mu\text{mol N/l}$$

$$\text{N}(\mu\text{g/l}) = \text{N}(\mu\text{mol/l})/0,071$$

$$1(\mu\text{g/l}) = 10^{-6} \text{ kgl /m}^3$$

III.3.1. Le potentiel d'eutrophisation de l'azote

Tableau 12 : le potentiel d'eutrophisation de l'azote

Année	N (μmol/l)	FC(N)	M(N) tonne	PEM (N)	Zone
2010	6.004	2410	287,441	692732,81	Sidi-Fredj Thalassothérapie ; 2010
	13.5474		650,164	1566895,24	Front de mer Sidi-Fredj ; 2010

2012	0.2307		10,950	26389,5	Sidi-Fredj Thalassothérapie ; 2012
	1.948		92,391	222662,31	Front de mer Bou-Ismaïl; 2012
2013	1.5294		71,860	173182,6	Sidi-Fredj Thalassothérapie ; 2013
	1.3424		61,594	148441,54	Sidi-Fredj Plage ouest ; 2013
2018	7,23		348,454	839774,14	Sidi-Fredj Plage ouest ; 2018

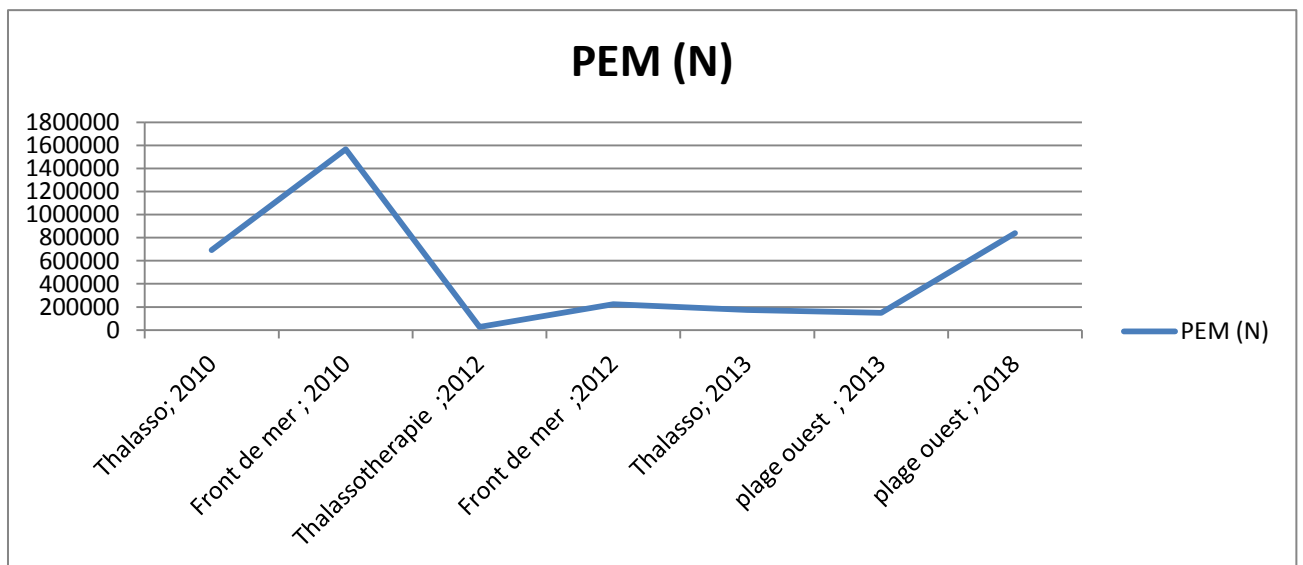


Figure 28: Courbe du potentiel d'eutrophisation marine de l'azote (N) dans les différentes zones considérées ; durant différentes années

• **Interprétation :**

Selon les résultats obtenus nous notons des variations du potentiel d'eutrophisation de l'azote selon les différentes années dans les trois zones d'études considérées, ces dernières sont dues aux variabilités des différents rejets

Ils montrent des valeurs beaucoup plus élevées pour l'azote que pour le phosphore ; car le flux d'émission de ce dernier est plus élevé ainsi que le fait que son facteur de caractérisation est plus important pour les eaux, puisque l'azote est un facteur limitant pour la vie des espèces marines.

Pour l'azote, le potentiel d'eutrophisation le plus élevé dans le front de mer de Bousmaïl en 2010 avec une valeur de **1566895,24** ; ce dernier reçoit effectivement un plus grand volume de rejets d'eaux usées domestiques non traitées et urbaines (donc une charge importante de pollution industrielle et urbaine) ; en raison de l'absence ou l'insuffisance de stations

d'épuration dans cette région en 2010 ; a tout cela vient se rajouter les effluents d'origine agricoles provenant de l'utilisation d'engrais; dépôt atmosphérique d'azote.....etc.

Le manque de brassage des masses d'eau dans la zone du aux aménagements du littoral de la zone (construction notamment d'épis) impacte sur l'environnement marin de la zone et rend et la dilution de l'excès de sels nutritifs assez lent.

Ensuite nous notons une baisse significative du **PEM(N)** qui va atteindre jusqu'à **26389,5** dans toute la Baie au fil des années (jusqu'à 2013) ; ceci est en relation avec l'arrêt définitif des rejets des eaux non traitées par les maires de la région.

Nous notons aussi la mise en fonction de certaines stations d'épurations dans la Baie de Bou Ismail.

- **Calcul de M(P) en Kg ensuite en tonne**

Tableau 13 : La masse de phosphore des zones d'études durant les différentes années

Années	A (m2)	H (m)	V (m3)	C (P Kgl/m3)	M(P) kg	M(P) Tonne	Région
2010	285160000	12	3421920000	0,00000632	21626,53	21,626	Thalassothérapie ;2010
				0,000064	219002,88	219,002	Front de mer ;2010 Bou-Ismaïl
0,0000032				10950,14	10,950	Thalassothérapie ;2012	
0,0000036				12318,91	12,318	Front de mer ;2012 Bou-Ismaïl	
0,000010				34219,2	34,219	Thalassothérapie ;2013	
0,0000076				26006,59	26,006	Plage ouest ; 2013	
0,0000015				5132,88	5,132	Plage ouest ;2018	
2012							
2013							
2018							

III.3.2. Le potentiel d'eutrophisation de Phosphore

Tableau 14: le potentiel d'eutrophisation du phosphore

Année	P (µmol/l)	FC (P)	M(P) tonne	PEM (P)	Région
2010	0,4493	1,67	21,626	36,10	Sidi Fredj Thalassothérapie ; 2010
	3,3069		219,002	365,73	Front de mer ; 2010 Bou-Ismaïl
2012	0.2366		10,950	18,28	Sidi Fredj Thalassothérapie ; 2012
	0.2640		12,318	20,55	Front de mer ; 2012 Bou-Ismaïl
2013	0,7872727		34,219	57,13	Sidi Fredj Thalassothérapie ; 2013
	0,5454545		26,006	43,43	Sidi Fredj Plage ouest ; 2013
2018	0,11		5,132	8,56	Sidi Fredj Plage ouest ;2018

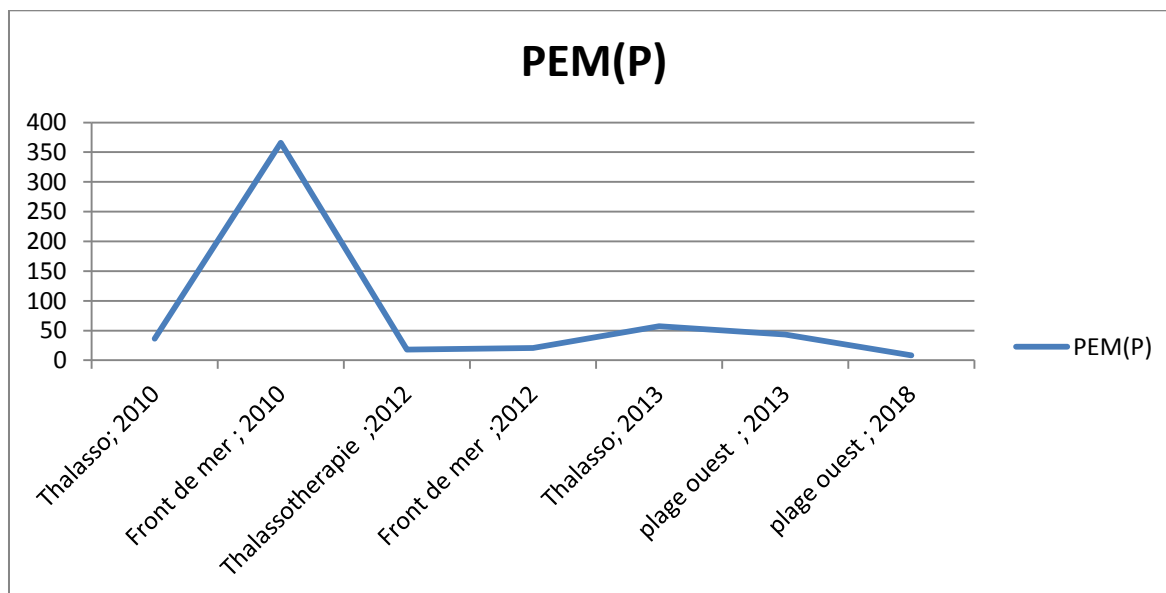


Figure 29 : Courbe du potentiel d'eutrophisation marine de phosphore (P) dans différentes zones d'étude ; selon différentes années

Interprétation :

Pour le phosphore, le potentiel d'eutrophisation le plus élevé se situe dans le Front de mer de Bou Ismaïl en 2010, avec un score de **365,73**; Car Cette baie reçoit le plus grand flux annuel

d'émission de nutriments en raison de l'activité industrielle et de la forte densité urbaine, donc une grande partie des déchets ménagers non traités et activité agricole étaient assez importants cette année, il faut mettre aussi en évidence le fait que la zone est plus ou moins fermée et le brassage des masses d'eau n'est pas aussi important que dans les autres zones et donc le risque d'eutrophisation est logiquement plus important que dans les autres zones considérées ou nous notons une diminution de ce potentiel jusqu'en 2018 avec un score de **8,56** ; ceci est du essentiellement à la diminution des rejets à la source, agriculture raisonnée, dénitrification et déphosphatation des eaux usées, peut être aussi à la création des station d'épuration avec bon fonctionnement et moins des rejets.

III.4. Les éléments en trace métalliques (ETM)

III.4.1. Analyse des métaux lourds

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 cuivre ; éléments permettant de renseigner sur l'état de lieu et l'origine éventuelle de la pollution dont les résultats sont présentés ci –après avec discussion.

III.4.2. Compartiment sédiment

Les sédiments marins ont une capacité importante de stockage des contaminants. Ce qui rend leur étude beaucoup plus intéressante par rapport a celle qui se fait dans la colonne d'eau en termes de concentration des éléments.

III.4.3. Résultats des analyses

Les sédiments marins ont une capacité importante de stockage des contaminants. Ce qui rend leur étude beaucoup plus intéressante par rapport à celle qui se fait dans la colonne d'eau en termes de concentration des éléments.

Les résultats obtenus après analyse des éléments en trace métallique dans les sédiments étudiés sont traités statistiquement et regroupés dans le tableau suivant

Tableau 15: Valeurs extrêmes, moyennes et écart-type de concentrations en ETM dans les sédiments superficiels marins de zone étudiée dépend déférente année

Région	Zn ($\mu\text{g/g}$)	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Hg ($\mu\text{g/g}$)	Références bibliographiques
Thalasso(Sidi Fredj)	58,04	/	0,1836	Tarmoul ; 2010
Front de mer Bou-Ismaïl	42,56	/	0,173	
Thalasso(Sidi Fredj)	26,71	6,77	0,5026	Boudjemaïl N et Boughella M ;2012
Front de mer Bou-Ismaïl	36,08	14,34	0,3181	
Thalasso(Sidi Fredj)	52,7733	7,66	0,5455	Boudaa L et Ayat Y ;

Fredj)				2013
Plage ouest(Sidi Fredj)	49,395	15,975	0,165	
Plage ouest(Sidi Fredj)	30.14	11.12		Belarbi N et. Limani F ;2018

• **Le mercure (Hg)**

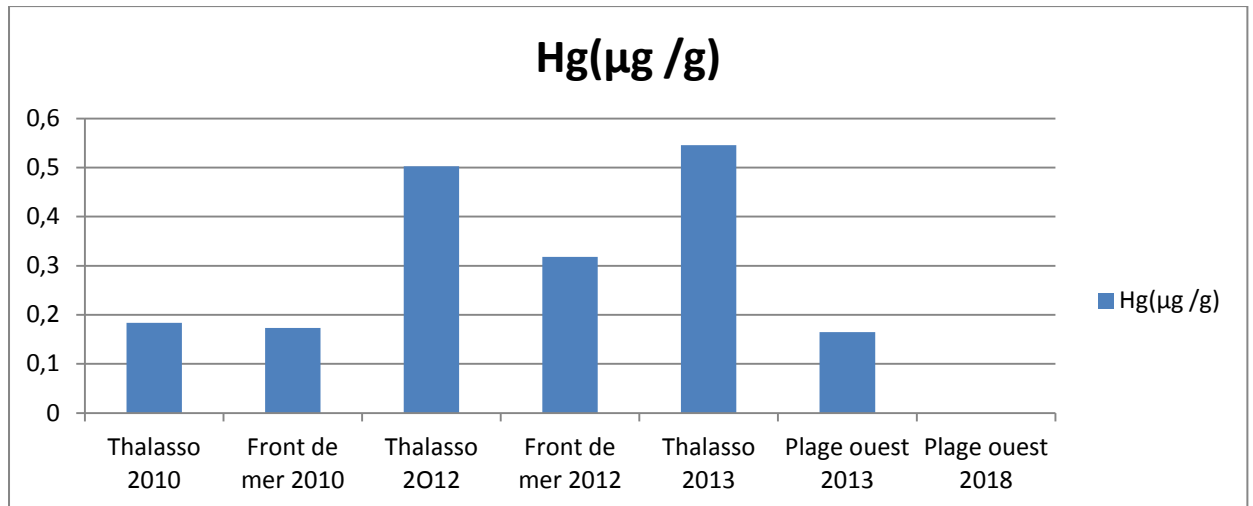


Figure 30: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de mercure (Hg) en µg/g dans les sédiments de nos zones d'études durant différentes années

La variation spatiale de l'Hg est significative, avec un maximum de 18,36 (µg /g) pour Thalassothérapie et de 17,3 pour front de mer de Bou-Ismaïl, et un minimum de 0,165 µg /g pour la Plage ouest., et ce qui montre l'évolution de la pollution dans ces deux zones, . Ce fait peut-être expliqué par le déversement continu des produits chimiques du centre de la Thalassothérapie et les rejets industriels au niveau de la plage Ouest.

• **Le plomb (Pb)**

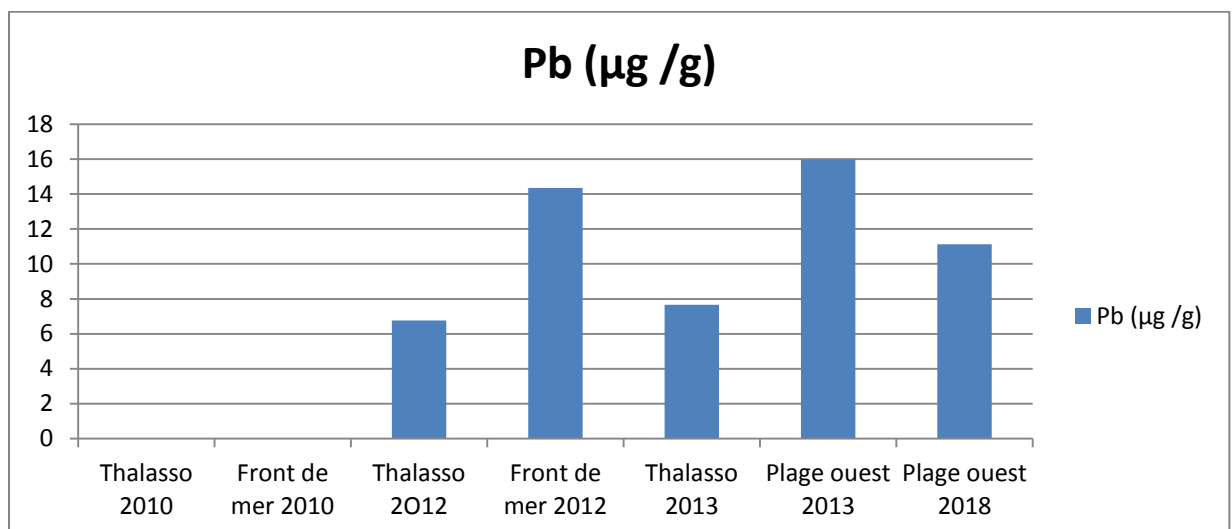


Figure 31: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de plomb (Pb) en µg/g dans les sédiments de nos zones d'études durant différents années

La variation spatiale du Pb est très significative, La zone qui connaît la plus forte contamination en Plomb est celle de plage ouest avec une moyenne de $15,975\mu\text{g/g}$, par (Boudaa L et Ayat Y ; 2013),

les concentrations en Plomb dans les deux zones : Thalasso thérapie et plage Ouest de Sidi Fredj sont légèrement forte; ce qui montre également une augmentation de la pollution dans ces deux zones.

- **Le zinc (Zn)**

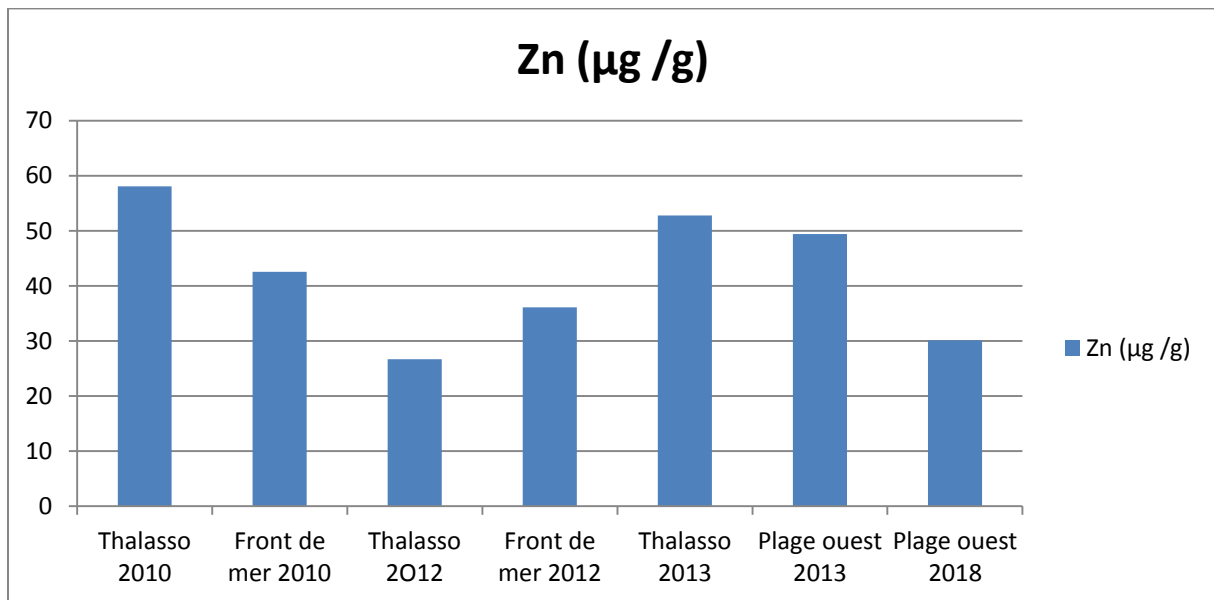


Figure 32: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de Le plomb (Pb) en $\mu\text{g/g}$ dans les sédiments de nos zones d'études durant différentes années

La variation spatiale du Zn est très significative, avec un maximum de $58,04(\mu\text{g /g})$ pour la plage thalassothérapie et un minimum de $26,71(\mu\text{g /g})$ pour la même plage de thalassothérapie en 2012).

III.5.Calcul indice de contamination :

- **Détermination de l'indice de contamination IC :**

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

Le tableau suivant représente d'autres valeurs considérées comme concentrations de références réalisées par Meybeck et l'agence de l'eau Artois-Picardie (*in* Noppe, 1996) dans le bassin d'Artois-Picardie.

Tableau 16: valeurs de référence des teneurs métalliques dans les sédiments en (mg/kg).

éléments métalliques	Hg	Pb	Zn
réf agence	0,2	40	100
réf meybeck	0,15	30	80

Tableau 17: Valeurs guides pour les métaux lourds ($\mu\text{g/g}$) par différents pays

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

Tableau 18: indice de contamination en mercure, plomb, et zinc des sédiments dans les zones d'étude

	Indice de contamination et les observations			
Région	Zn	Pb	Hg	Références bibliographiques
Thalasso (Sidi Fredj)	0,116 concentration normale	/	0,1224 concentration normale	Tarmoul F; 2010
Front de mer Bou-Ismaïl	0,085 concentration normale	/	0,11 concentration normale	
Thalasso(Sidi Fredj)	0,053 concentration normale	0,027 concentration normale	0,335 concentration normale	Boudjemal N et Boughella M ;2012
Front de mer Bou-Ismaïl	0,072 concentration normale	0,057 concentration normale	concentration normale	
Thalasso(Sidi Fredj)	0,1055 concentration normale	0,030 concentration normale	0,3636 concentration normale	Boudaa L et Ayat Y ; 2013
Plage ouest(Sidi Fredj)	0,0987 concentration normale	0,063 concentration normale	0,165 concentration normale	
Plage ouest(Sidi Fredj)	0,060 concentration normale	0.46 concentration normale	/	Belarbi N et. Limani F ;2018

Suivant les normes **Algériennes**, les indices de contamination calculés dans les trois zones d'étude présentent des valeurs inférieures à 3, ce qui indique que toutes les stations ne présentent pas de pollution importante en métaux lourds.

Si on prend en considération les valeurs des indices selon les normes de l'agence de l'eau **Artois Picardie de 1996**, les trois zones étudiées présentent des concentrations normales en éléments traces métalliques.

Discussion générale

Afin de quantifier l'influence des principaux facteurs pouvant moduler le développement d'un Herbier à *Posidonia oceanica*, nous avons effectué des analyses qui intègrent les paramètres indicateurs de pollutions suivants : les analyses de sels nutritifs (ammonium, nitrate, nitrite, et ortho phosphates), les éléments des traces métalliques, le potentiels d'eutrophisation (azote et phosphore), et finalement l'indice de contamination par les métaux lourds.

A la vue des résultats, il en ressort :

- Pour la matrice eau :
 - Parmi les sels nutritifs c'est l'ammonium qui est relevé en grandes concentrations. Globalement les concentrations en ammonium ; des nitrates et des phosphates présentent une distribution spatiale en relation avec les apports terrigènes, au sens large, aboutissant dans les différents sites dans la baie de Bou Ismail.
 - En effet, dans l'eau de mer ; le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions ortho phosphates (PO_4^{3-}) . Les teneur sont très faibles en surface et augmentent en profondeur au – dessous de la zone euphotique
 - Dans le front de mer de Bou Ismail nous avons noté une turbidité très importante et des eaux fortement pollués causée par les travaux réalisés dans cette zone. Cette pollution pourra entraîner avec le temps le recule de la limite supérieur de l'herbier à posidonie qui est déjà présent en régression progressive.
 - Dans le zone de thalassothérapie et plage ouest de Sidi Fredj, nous avons constaté la prolifération de *Caulerpa racemosa* (ulvophycea) qui occupe des surfaces importantes au profil de la posidonie qui est en recule permanent, nous avons aussi noté la présence des mattes mortes. Ce phénomène est dû en grand partie aux rejets continue d'eau usées domestiques qui se déversent principalement du côté Est de thalassothérapie via le rejet principale du complexe, et dans la plage ouest par les rejets domestiques et le conduit principale du laboratoire du L'ENSSMAL.
- Pour la matrice sédiment :
 - Parmi les métaux lourds analysés, les concentrations du plomb, du zinc

et de mercure sont inférieures aux normes algériennes, ce qui indique que toutes les stations ne présentent pas de pollution importante en métaux lourds.

- Si on prend en considération les valeurs des indices selon les normes de l'agence de l'eau **Artois Picardie de 1996**, les trois zones étudiées présentent des concentrations.
- Par ailleurs la zone de Bou Ismail présente une forte pollution par les métaux lourds qui se traduit par le Déséquilibre écologique des écosystèmes à Posidonie (herbiers en forme de touffes clairsemées, abondance des mattes mortes, rhizomes déchaussés ...etc.).
- En ce qui concerne le potentiel d'eutrophisation :
 - Les résultats du calcul du potentiel d'eutrophisation montrent des valeurs beaucoup plus élevées pour l'azote que pour le phosphore ;car le flux d'émission de ce dernier est plus élevé ainsi que le fait que son facteur de caractérisation est plus important pour les eaux, puisque l'azote est un facteur limitant pour la vie des espèces marines.
 - Le calcul de ce facteur permet de constituer un outil d'aide à la décision permettant d'identifier la zone la plus exposé au risque d'eutrophisation et à établir une stratégie globale et durable pour la gestion des problèmes de pollution en amont et en aval des milieux récepteurs, qui est : le front de mer de Bou-Ismail.
 - Nous notons des variations du potentiel d'eutrophisation de l'azote selon les différentes années dans les trois zones d'études considérées, ces dernières sont dues aux variabilités des différents rejets.
 - Les teneurs élevé du potentiel d'eutrophisation sont exprimés par un plus grand volume de rejets d'eaux usées domestiques non traitées et urbaines (donc une charge importante de pollution industrielle et urbaine) ; en raison de l'absence ou l'insuffisance de stations d'épuration au niveau des zone pollués, ce qui entraine une régression progressive de l'herbier à *Posidonia oceanica*.

Le présent travail nous a permis de comprendre l'évolution de l'herbier à *Posidonia oceanica* sous l'effet de la pression anthropique dans deux zones assez différentes ; Sidi Fredj et front de mer de Bou Ismail toutes les deux situées dans la baie de Bou-Ismaïl et décider après analyse par différentes méthodes scientifiques du type de restauration à proposer pour réduire et pourquoi pas arrêter la dégradation importante que supporte un écosystème emblématique de notre mer méditerranéenne (l'écosystème à posidonie) suite aux multiples activités anthropiques menées par l'homme depuis quelques décennies .

À l'issue de cette étude nous avons pu ressortir les points principaux et qui sont :

- ❖ D'après ces résultats nous constatons un état alarmant de pollution surtout en 2010
- ❖ Les zones situées à proximité des points de rejets des eaux usées (embouchure de l'oued de Béni Messous et les rejets du complexe de Thalasso thérapie) sont les plus touchées par la pollution aux sels nutritifs.
- ❖ Les deux zones d'étude sont contaminées par les trois métaux étudiés, avec des concentrations variables d'un compartiment à l'autre.
- ❖ le front de mer de Bou Ismail a été la plus contaminée par les ETM par rapport à celle de Sidi Fredj. Ceci a été confirmé par l'indice de contamination qui montre l'existence d'une pollution par le Plomb et le Zinc assez importante dans les sédiments de Bou Ismail front de mer.
- ❖ A Bou Ismail front de mer la valeur maximale était enregistrée au niveau de la station proche du rejet d'eaux usées (Tonic emballage) qui sont à base de cellulose.
- ❖ La distribution des sels nutritifs est principalement dépendante de ces rejets, ceci est confirmé par les teneurs élevées en ammonium qui montrent la présence d'une pollution urbaine assez importante.
- ❖ Ces taux élevés provenant des eaux rejetées à la mer sans aucun traitement préalable, ce qui altère la vitalité de la posidonie.
- ❖ Les faibles taux enregistrés pour les nitrates, nitrites et phosphates sont probablement dus à la stratification des eaux (période estivale).
- ❖ En Comparant des résultats obtenus dans la baie de Bou-Ismaïl (**Tarmoul, 2010 ; Boudjemal N et Boughella M ; 2012,. Boudaa L et Ayat Y ; 2013.et Belarbi N et Limani F 2018**) on conclue que la pollution par les sels nutritifs a diminué significativement à Thalasso et front de mer de Bou-Ismaïl.

- ❖ Comparé à d'autres résultats obtenus dans la baie de Bou Ismail nous avons enregistrées des taux plus faibles concernant les phosphates.
- ❖ Par ailleurs la zone de Bou Ismail présente une forte pollution qui se traduit par le Déséquilibre écologique des écosystèmes à Posidonie (touffes de Posidonie, abondance des mattes mortes, rhizomes déchaussés ...etc.). Ainsi que la compétition avec l'algue introduite *Caulerpa Cylindracea* qui préfère les milieux perturbés et les eaux chaudes pour son installation et prolifération.
- ❖ D'après Les résultats des calculs du potentiel peuvent constituer un outil d'aide à la décision permettant d'identifier la zones la plus exposé au risque d'eutrophisation et à établir une stratégie globale et durable pour la gestion des problèmes de pollution en amont et en aval des milieux récepteurs, qui est : le front de mer de Bou-Ismaïl.
- ❖ Les résultats du calcul de potentiel d'azote montrent des valeurs beaucoup plus élevées pour l'azote que pour le phosphore ;car le flux d'émission de ce dernier est plus élevé ainsi que le fait que son facteur de caractérisation est plus important pour les eaux, puisque l'azote est un facteur limitant pour la vie des espèces marines.
- ❖ Par Comparaison des résultats du potentiels d'eutrophisation on conclue que ce potentiel a diminué significativement à Thalasso et front de mer de Bou-Ismaïl avec les années.

Recommandations et Perspectives

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

De ce fait ; **On propose qu'une restauration passive** de cet écosystème doit être rajouté pour leur suivi.

Donc on doit éliminer toutes les sources ou les facteurs d'altération ou de dégradation et on laisse l'écosystème se reconstitué (auto restauration) :

- Nous proposons l'installation d'un réseau de surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* pour une meilleure gestion de l'écosystème.
- Le suivi à long terme des réseaux de surveillances, basé sur l'utilisation de *Posidonia oceanica* en tant que bioindicateur de la contamination métallique pourrait ainsi être établi à l'échelle nationale ; ce qui permettra d'appréhender l'état du milieu marin dans les secteurs concernés.
- Concernant les régions où *Posidonia oceanica* est absente, l'utilisation d'une autres magniliophytes, par exemple *Cymodocea nodosa* ou *Zostera noltii* pourrait être envisagé.
- Respecter le règlement concernant le chalutage à moins de 50 m de profondeur
- Eviter de faire des travaux en mer durant l'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 Baie de Bou Ismail pour mieux les gérer.
- L'installation de stations d'épurations pour le traitement des rejets industriels, agricoles et domestiques et l'amélioration du taux d'épuration des eaux usées qui déversent directement dans le milieu marin.
- Cartographie avec précision l'herbier à *Posidonia oceanica* pour une meilleure connaissance de sa distribution et de sa profondeur.
- La conservation des herbiers a posidonie par l'obligation d'une étude d'impact qui devrait accompagner toute demande de mise en place d'aménagements littoraux.
- Une recherche de l'origine de pollution et la mise en œuvre des moyens pour la réduire.

- Le plus simple à faire est de sensibiliser les citoyens sur l'importance et l'intérêt écologique de l'herbier à Posidonie.
- Lutte contre l'eutrophisation ; Cela passe donc par une réduction des apports en azote et phosphore aux eaux de surface continentales et marines littorales
- Il faudrait diminuer les rejets à la source : diminution de l'utilisation de détergents et d'engrais contenant les éléments azotés et phosphorés, soit par voie législative (en France les phosphates sont interdits dans les lessives depuis le [1^{er} juillet 2007](#) et, depuis le [10 février 2012](#), l'Union européenne a officiellement restreint leur utilisation), soit par des bonnes pratiques (pratiques culturales permettant de limiter l'utilisation d'intrants).
- Mais il est également possible de traiter plus, et mieux, les eaux usées domestiques et industrielles pour éliminer ces éléments.
- Pour achever ce chapitre il convient donc de donner quelques mesures de préventions et rappeler d'importants faits recommandés par **Boudouresque et al. (2006)**, que **nous tenterons d'appliquer** à notre zone, afin d'aider à réduire la pollution et minimiser son impact, pour améliorer et surveiller l'état de l'herbier dans la baie de Bou-Ismaïl.

À savoir :

- Aucun émissaire d'eaux usées ne devrait déboucher dans un herbier à *Posidonia oceanica*. Ceci est valable quel que soit le niveau d'épuration des eaux ; en effet, il s'agit d'eau douce qui normalement remonte vers la surface mais dont la base du cône de dilution peut avoir une certaine emprise sur le fond, en fonction des courants et lors des tempêtes ; or, *P. oceanica* est très sensible à la dessalure.
- Dans le cas des émissaires anciens, comme c'est le cas apparent de ceux de la ville de Bou-Ismaïl (des "mattes mortes" sont observées aux points de rejet). Il serait nécessaire d'entreprendre un déplacement de l'émissaire ou sa prolongation au-delà des limites de l'herbier. Cependant, la mise en service d'une station d'épuration et l'amélioration du taux d'épuration des eaux usées par les industriels permettrait d'éviter ces coûteux travaux de déplacement.
- Le plus simple à faire serait de considérer une distance minimale entre le point de rejet et les herbiers les plus proches (5m de profondeur) de façon à garantir en premier lieu un bon abattement des MES (Matières en Suspension) et en deuxième lieu la réduction des rejets de nutriments et de détergents.

- majorer les distances de 50% dans le cas d'une épuration uniquement de type physico-chimique.
- Pour ce qui concerne la canalisation de rejet des eaux, et dans le cas de nouvelle mise en place, il convient d'éviter la traversée d'un herbier à *P.oceanica*, ou de minimiser la longueur d'herbier traversée. Lorsque la canalisation traverse un herbier, elle ne doit pas être ensouillée. Par ailleurs, pour diverses raisons (vieillesse des matériaux, choc avec des engins de pêche, etc.), il n'est pas rare que ces canalisations présentent des fuites. Les inspections doivent donc être régulières (annuelles).
- Utiliser la technique de réimplantation dans des eaux peu profondes (moins de 6 m) où l'herbier à *Posidonia oceanica* avait été détruite par l'action humaine
 - Utiliser des mesures destinées à atténuer les effets de l'impact de l'homme sur le milieu marin ; On parle de la mitigation
 - La création d'aires marines protégées (AMP)
 - La mise en place des récifs artificiels
 - L'optimisation des enrochements artificiels
 - Renforcement des populations des espèces
 - La mise en place des récifs anti chaluts
 - Equipement des mouillages forains

- Achiche K., Larbi, S., (2010).** Impact des eaux usées et des embouchures des oueds sur la qualité des eaux de la baie de Bou-Ismaïl mémoire ingénieur. Option : Environnement marin Alger : ENSSMAL, p 78.
- Agostini, S., Desjobert, J.M et al., (1998).** Distribution of phenolic Compounds in the seagrass *Posidonia oceanica* *Phytochemistry*, 48 (4), p.p. 611-617.
- Al Sid Chikh., Belkessa, R et al., (2009).** Diagnostic du littoral ouest algérois pour une gestion intégrée; The 5th International Symposium on Sandy beaches, which will be held in Rabat, Morocco , p.p. 19-23.
- Allizée, M., Guillaume, B et al., (2018).** Analyse économique de la gestion des plages : cas des banquettes de posidonie sur les commune du littoral méditerranée français : DOI, p 684.
- Allow, B.J., (1995).** The mobilisation of trace éléments in soils. *Biogeochemistry of trace elements : contaminated soils*, Paris : R.Prost : p. p 133-145.
- Alzieu, C., Michel, P., et al., (1999).** Dragage et environnement marin. Etat de connaissances. France : IFREMER, p 209.
- Aminot, A., Chaussepied, M., (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. France :CNEXO : p 395.
- Aminot et Kerouel ; (2004).** Hydrologie des écosystèmes marins paramètres et analyses. France : Ifremer : p 336.
- Annane et al., (2007).** Inventaire et impact des ouvrages côtiers sur le milieu marin dans la baie de Bousmail. Mémoire Ingénieur. Alger : ENSSMAL. s.p
- Ardizzone, G.D., Pelusi P., (1984).** Yield and damage evaluation of bottom trawling on *Posidonia meadows*. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. [edi] International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, GIS Posidonie publ., Fr., 1, p p 63-72.
- Aubert et al., (1980).** Métaux lourds en méditerranée. *Revue international d'océanographie médical*, p 303.
- Augier, H., Giglio, Y., Ramonda, G., (1987).** Peintures anti-fouling et herbier à *Posidonia oceanica*. GIS Posidonie & Fac. Sci. Luminy Pub, p p 1-94.
- Augier, H., Robert, P., Maffer, R., (1980).** Etude du régime thermique annuel des eaux au niveau des peuplements de Phanérogames marines de la baie de Port-Cros : Rapport d'évaluation. Document non publié. France : Parc nation Port-Cros.
- Bachari Houma F ; (2009).** Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'image satellitaire, thèse de doctorat. Option : Environnement marin . Paris : Université de VAL DE MARINE , p 274

- Baize, D., (1997).** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols. Paris : INRA, p 409.
- Belabed B.E.,(2010).** La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba 'sources de contamination des écosystèmes aquatiques. Thèse de doctorat. Biologie et physiologie des organismes marins. Annaba : université Badji Mokhtar, p 199.
- Belarbi, N., Limani, F., (2018).** Etude des paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau et des deux plages Est et Ouest de Sidi fredj. Mémoire d'ingénieur d'état. Option environnement marin. Alger : ENSSMAL. p p 50 -72.
- Bellan-Santini, D., Lacaze, J.C et Piozat, C., (1994).** Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives. Muséum National d'Histoire Naturelle publ. Paris, p p. 1-246.
- Benalaya, H., (1972).** Répartition et conditions d'installation de *Posidonia oceanica* Dellile et *Cymodocea nodosa* Ascherson dans le golfe de tunis. Bull. Inst.Océanogr .Pêche Salammbô, 2(3) : p p 331-416.
- Benalaya, H ., (1972).** Répartition et conditions d'installation de *Posidonia oceanica* Dellile et *Cymodocea nodosa* Ascherson dans le golfe de tunis. Bull. Inst.Océanogr .Pêche Salammbô, Vol, n° 3: p 416.
- Bentaallah, M.A et Kerfouf, A., (2013).** Prolifération de l'algue *Caulerpa racemosa* dans les écosystèmes littoraux de l'Algérie: état des lieux et des connaissances. Physio-Géo. Vol. 7.
- Boudaa, L., Ayat Y., (2013).** Contribution à l'étude de l'impact de la pollution chimique sur l'herbier à *posidonia oceanica* dans la baie d'el Djamila. Mémoire d'ingénieur d'état. Option : environnement marin. Alger : ENSSMAL. p .p 42 – 46.
- Boudjemal, N., Boughella, M., (2012).** Contribution a l'étude de la pollution chimique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans la baie de Bou-Ismaïl et la baie de Zemmouri (El Marsa). Mémoire d'ingénieur d'état. Option environnement marin. Alger : ENSSMAL : p p 37 – 43
- Boudouresque, C.F., Meinesz, A., (1982).** Découverte de l'herbier à Posidonie. [éd] Parc national de Port-Cros, Parc naturel régional de la Corse et G.I.S Posidonie 4, p p 56-67.
- Boudouresque, C.F., Meinesz, A., (1994).** Les herbiers à Phanérogames marines. Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives, Bellan-Santini D ; Lacase J.C ; Poizat C. edit ; Museum national d'Histoire naturelle publ ; Paris : p. p 98-118.
- Boudouresque, C.F et Al., (1995).** Arrachage des faisceaux de *Posidonia oceanica* par les ancres : un protocole d'étude. Monaco, 21 p. Rapport de la commission internationale de la mer mediteranéene : p 34.

- Boudouresque, C.F., et Al., (2006).** Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. France : Ramoge : p p. 11-46.
- Boudouresque, C.F., Meinesz,A., (1982).** Découverte de l'herbier de posidonie. Cah. Parc nation. Port-Cros,Fr ;4 : p p1-79.
- Boudouresque, C.F., Van Klaveren, M.C., Van Klaveren, P., (1996).** Proposal for a list of threatened or endangered marine and brackish species (plants, invertebrates, fish, turtles and mammals) for inclusion in appendices I, II and III of the Bern Convention. Council of Europe, Document. 96 A. S/TPVS96/TPVS48E.
- Boudouresque, C.F., Bernard, G., Bonhomme, P et Al., (2006).** Préservation et conservation des herbier a *posidonia oceanica*. N°1-202.France : GIS de posidonie. p 200.
- Boudouresque, C.F., (1996).** Impact de l'homme et conservation du milieu marin en méditerranée. 2° édition. GIS posidonie publ ; Fr.p p 1-243.
- Boulahdid, M., (1987).** Analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer : étude du mélange des masses d'eau et de l'oxydation de la matière organique dans l'océan. Thèse de doctorat. Géochimie fondamentale. France : Université de Paris VII, p p31-66.
- Boumaza S ; 2003 :** Biodiversité des habitats à phanérogames marines des cotes algériennes. In Biodiversité marine et littorale algérienne, dir GRIMES S ; ED-Diwan, Alger, pp 95-108.
- Bounoua, M.,(2020).** Mathematical modeling of the eutrophication potential in the framework of the Life Cycle Analysis. Case study: the coast of Algiers. Master Memoir, Applied mathematics, Oran university 1, Algeria. p. p 36-38
- Bouras, M.Y., (2014).** Evaluation de la qualité des eaux marine de la plage ouest Sidi Fredj . Mémoire d'ingénieur d'état. Option : Environnement marin. Alger : ENSSMAL : p p59 -66.
- Bourcier, M., (1989).** Régression des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile, à l'Est de Marseille, sous l'action conjuguée des activités humaines et des modifications climatiques. International workshop on *Posidonia* beds In: Boudouresque, C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V.GIS Posidonie publ. 2 : p. p 287-293.
- Bourcier, M., Nadot, C., et al., (1979).** Répartition des biocenoses benthique en fonction des substrats sédimentaires de la rade de Toulon (France). *Téthys*, 9(2) : p p 103-112.
- Caye, G., (1980).** Sur la morphogénèse et le cycle végétatif de *Posidonia oceanica* (L.) Dellile, pp. 1-121
- Conde Poyales, F., (1989).** Ficogeografía del mer de Ilboran en el contexto del Mediterraneo occidental. *An. Jard. Bot. Madrid* 46(1) : p .p 21-26.
- Copin-Monteguet, G., (1996)** .Chimie de l'eau de mer, coll synthese, mollusque, Paris. P 319.

Cossa, D., Elbaz-Polliche, F., et al.,(1993). Le plomb en milieu marin. Bio géochimie et écotoxicologie . Repères Océan°3. France : IFREMER : p 77

Cuny, P., Serve, L., et al.,(1995). Water soluble phenolic compounds of marine phanerogam *Posidonia oceanica* in a Mediterranean area colonised by the introduced Chlorophyte *Caulerpa taxifolia*. Aquatic Botani, 52 : p p 237-242.

Daoudi M.B, Hasna M ; 2016 : Contribution à l'étude des paramètres vitaux de l'herbier à posidonie (*Posidonia oceanica*) en relation avec la pollution chimique. Mémoire d'ingénieur d'état. Option environnement marin. Alger : ENSSMAL : p p 31-35.

Delgado, O et Al., (1999). Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation. Oceanol. Acta. 22(1) : p p109-117.

Denis, J., Hever, G., et al., (2003) : cartographie des biocénoses marines. Volet N°1 : l'herbier à *posidonia oceanica*. Guide méthodologique. France : IFREMER, Centre d'Océanologie de marseille et Gis Posidonie : p p 1-93.

Elkalay, K., Frangoulis., et al.,(2003). A model of seasonal dynamics of seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Bay of Clvi (Northwestern Mediterranean). Ecol. 167 : p p 1-18.

Francour, P et Al., (1998). mouillages forains sur l'herbier à P Impact des mouillages forains sur l'herbier à *Posidonia oceanica* dans la Réserve naturelle de Scandola (Méditerranée Nord- occidentale, Corse., GIS Posidonie publ. 1998, p p 1-31.

Francour, P et Al., (1997). Impact des mouillages forains sur l'herbier à *Posidonia oceanica* dans le Parc national de Port-Cros (Méditerranée Nord-occidentale). Contrat Parc national de Port-Cros & GIS Posidonie, GIS Posidonie publ : p p 1-51.

Francour, P., Ganteaume, A et Poulain M., (1999). Effects of boat anchoring in *Posidonia oceanica* seagrass beds in the Port-Cros National Park (Northwestern Mediterranean Sea). Aquatic Conserv.: mar freshw. Ecosyst. 9 : p p. 391-400.

Gaujous, D., (1995). la pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire Edition technique et documentation Lavoisier : p 220.

Ghazi, M., Duplay, J., Khodja, M., (2008). Life-Cycle Assessment (LCA) of drilling mud. The 2008 SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production field, Nice, France, 15–17 April. SPE-111646 Paper, 13 p.

Gonzalez, J.L.,Chiffolleau, J.F et Al., (1999). comportement d'un contaminant métallique en estuaire, Programme scientifique deine Aaval. France : IFREMER, p 31.

Harmelin, J.G., Bouchon, C et Hong, J.S., (1981). Impact de la pollution sur la distribution des échinodermes des substrats durs en Provence Méditerranée Nord-occidentale). Téthys. 10(1), p p 13-36.

- Hemminga, M.A., (1998).** Journal Sea Res, 39 p p. 183-196.
- Huynh, T.D., (2009).** Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante sp
- Jacques, G et Treguer, P., (1986).** Ecosystème pélagique marin. Collection d'écologie 19, Edition : Masson, Paris, France : p 243.
- Jean-Claude, A.,(2011).** Les risques chimiques environnementaux. Paris : Technique & Document, (p 12-14).
- Kaiser, M.J., (1998).** Scraping the bottom: are towed fishing gears a threat to benthic biodiversity Océanis . 24(4) : p p 258-270.
- Kaiser, J., (2001).** Bioindicators and biomarkers of environmental pollution and risk assesment . Enfield :Sciences publischer inc. s.p
- Kuo, J., Den Hartog, C., (2001).** seagrass taxonomy and identification key. In "*Global seagrass research Methods*", F.T.Short and Coles (editors) : p p 31-58.
- L.E.M (Laboratoire d'Etude Maritime).**, (1998). Laboratoire d'Etude Maritime, Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger. Thèse de doctorat en environnement.Univ.Paris.p30
- Lacaze, J-C., (1996).** La pollution des mers. France : Flammarion. p128.
- Lamouti S ; 2006 :** Essai de cartographie des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la zone du PAC (Plage de thalassothérapie sidi fredj). Mémoire d'Ingénieur, Option : Environnement Marin. ISMAL. p41.
- Leriche, A., (2004).** La structure à méga-, méso- et micro-échelles des herbiers à *Posidonia oceanica* (L) Delile fournit-elle des outils pour leur gestion. Thèse de doctorat, Gestion des écosystèmes littoraux. France :Univ. Aix-Marseille II, p 232.
- Leveque, C., (1996) :** Ecosystème aquatiques, ISBN. P 159.
- Lourguioui., (2006).** Etude hydrobiologique du barrage de Boukourdane (wilaya de Tipaza) . Thèse de magister, Alger :ENSSMAL : p 80.
- Maria, P et al., (1998).** Analyse et traitement physicochimique des rejets atmospheriques industriels (émission, fumées, odeurs et poussières). Paris : Technique & document : p666.
- Mazzella, L., Scipione, M.B., Gambi, M.C., Frezi, E et Al., (1986).** Le praterie sommerse del mediterraneo. Lab Ecol. Benthos, Staz. Zool. Napoli edit ; Ital : p p 1-63..
- Meinesz, A., Molenaar, H., Bellone, E., Loques, F., (1978).** Végétative reproduction in *posidonia oceanica*. I. Effets of rhizome length and transplantation season in orthotropic shoots. Marine Ecology PS ZNI 13 (2) : p p 163-174.

Meinez, A., Caye, G., Loquez, F., Macaux, S., (1990) : Analyse bibliographique sur la culture des phanérogames marines. Posidonia Newsletter, Fr ; 3(1), p p 1-67.

Millots, C., (1987). Circulation in the western Mediterranean sea. Oceanologica Acte. Vol 10; n°2, : p p 143- 149.

Molinier, R., Picard, J., (1952). Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann.Inst.Oceanogr.* Paris, 27 : p p157-234.

Noël, C., et al., (2012). Cahier Technique du Gestionnaire : Analyse comparée des méthodes de surveillance des *herbiers de posidonies*. CartOcean, Agence de l'eau RMC, Dreal PACA, Région PACA : p p. 7-8.

Oudot, C., (1983). la distribution des sels nutritifs ($\text{NO}_3, \text{NO}_2, \text{NH}_4, \text{SiO}_3$) dans l'Océan Atlantique intertropical oriental (région du golfe de guinée). *Océanogr .trop*18(2) : p p 223-248.

Ould Ahmed, N et Meinez, A., (2007). First record of the invasive alga *Caulerpa racemosa* on the coast of algeria. *Cryptogamie, Algologie.* Vol. 28, 3, p p 303-305.

Pagatto, C., (1999). Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et dans les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier, Thèse de doctorat, Université de Poitiers : p 252+annexes.

Peres, J.M., (1984). La régression des herbiers à *Posidonia oceanica*. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. GIS Posidonie publ. 1, p p 445-454.

Peres, J.M et Picard, J., (1975). Causes de la raréfaction et de la disparition des herbiers de *Posidonia oceanica* sur les côtes françaises de la Méditerranée. *Aquat. Bot.* 1(2), p p 133-139.

Pergent, G.,(2006). Le rôle des herbiers à *Posidonia oceanica*. N°4. France : Ramoge. p250.

Pergent, G., Pergent-Martini, C. et 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., p p. 3-29.

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

Pergent, G., Leonardini, R., Lopez, Y et Al., (2008). Mise en œuvre d'un réseau de surveillance Posidonies le long de littoral de la Corse : Rapport de synthèse. Document non publié. Corse : GIS Posidonie. s.p

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

- Piazzì, L., et Al., (2005).** Invasion of *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea: the balance of thirteen years of spread. *Cryptogamie, Agologie* . 26 : p p.189-202.
- Piovetti, L., Sever, L., Combaut, G., et Gadel, F., (1984).** Analyse des substances phenoliques des restes de *Posidonia oceanica* (L) Delile provenant de sediments holocenes et de depots actuels. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, Boudouresque C.F ; Jeudy de Grissac A ; Olivier J.edit ; GIS posidonie publ ; fr ; 1 : p p 137-144.
- Poulain, M., (1996).** Le mouillage forain dans le Parc national de Port-Cros. Impact sur les herbiers à *Posidonia oceanica*. Mémoire DESS Ecosystèmes méditerranéens p p 1-62.
- Riley, Jp et Chester, R., (1971).** Introduction to marine chemistry. Academic Press, New York, p 465.
- Rodier et Al., (2005).** Analyse de l'eau : eaux naturels aux résiduaires, eau de mer, 8ème édition Dunod, paris, p 1383.
- Ruiz, J.M et Romero, J., (2001).** Effects of in situ experimental shading on the mediterranean seagress *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology Progress series* 215 : p p 107-120.
- Ruiz-Fernandez J.M., (2000).** Respuesta de la phanerógama marina *Posidonia oceanica* (L.) Delile a perturbaciones antrópicas. Thèse de doctorat Biologie : p p1-212.
- Semroud, R., (1993).** Contribution a la connaissance de l'écosystème a *Posidonia oceanica* (L) Delile dans la région d'Alger (Algerie) : étude de quelques compartiment. PhD thesis, Institut des sciences de la Nature, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumeddiene, Algérie. p129.
- Semroud R., (1993).** Contribution à la connaissance de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (L.) DEI-ELE dans la région d'Alger (Algérie) : étude de quelque compartiment. Thèse de doctorat. Option océanographie (Ecologie marine). USTHB
- Seridi, H et Kabrane, K., (2010).** Progression de *caulerpa racemosa* (caulerpales, chlorophyta) sur le littoral algérien. RAC/SPA (Regional Activity Centre for Specially Protected Areas) .Actes du 4th Mediterranean symposium on Marine vegetation (Yasmine Hammamet), S. El Asmi, H.Langar. et W.Belgacem : p p 125-128.
- Tarmoul, F., (2010).** Contribution à l'étude de d'impacte de la pollution chimique sur l'herbier à posidonie dans la baie de Bou Ismail. Mémoire d'ingénieur d'état. Option : environnement marin. Alger : ENSSMAL : p p 43-65.
- VAISSIERE, R., FREDJ, G., (1963).** Contribution à l'étude de la faune benthique du plateau continental de l'Algérie. Bull. Inst. Océanogr. Monaco, Fr., 60 (1272) : 1-83 + 5 cartes h.t.

Vangeluwe et Denis., (2007). Effets de la transplantation sur la biométrie et sur la dynamique des nutriments, du carbone et de la chlorophylle de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Liège, Sciences et Gestion de l'Environnement, France : p p 23-54.

Verlaque, M et Al., (2004). Blitzkrieg in a marine invasion : *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Bryopsidales, Chlorophyta) reaches the Canary Islands (NE Atlantic). *Biol. Inv.* 6 : p p 269-281.

Site web

<https://www.canariasconservacion.org/Nanozostera.htm>

<https://www.zesea.com/Classification/Phanerogames-marines/slides/Cymodocea-nodosa.html>

<http://www.cotebleue.org/asparagopsis.html>

<https://www.agefotostock.com/age/en/Stock-Images/falkenbergia-rufolanosa.html>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Padina-pavonica-Padine-queue-de-paon-1337>

https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=60

<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/colpomenia-sinuosa>

<https://www.algaebase.org/searc>

<https://www.zesea.com/Classification/Phanerogames-marines/slides/Cymodocea-nodosa.html>

<http://www.cotebleue.org/asparagopsis.html>

<https://www.agefotostock.com/age/en/Stock-Images/falkenbergia-rufolanosa.html>

Falkenbergia rufolanosa

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Padina-pavonica-Padine-queue-de-paon-1337>

https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=60

<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/colpomenia-sinuosa>

https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=1431

https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=1221

http://liboupat2.free.fr/aquafaun/medi_atl/Vers/filogran.html

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Paracentrotus-lividus-Oursin-violet-1437>

<http://souslesmers.free.fr/f.php?e=548>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Hexaplex-trunculus-Rocher-fascie-943>

https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/64365

<https://allspira.com/product/cerithium-vulgatum/>

https://www.researchgate.net/figure/Gobius-sp-aff-rubropunctatus-female-Lagoa-Azul-photo-LA-Rocha_fig15_235679128

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Symphodus-mediterraneus-Crenilabre-mediterraneen-667>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Serranus-scriba-Serran-ecriture-144>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Sarpa-salpa-Saupe-431>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Mullus-barbatus-Rouget-de-vase-579>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Mugil-cephalus-Mulet-a-grosse-tete-2595>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Syngnathus-typhle-Siphonostome-320>

<https://www.fishbase.se/summary/Sphyraena-sphyraena.html>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Posidonia-oceanica-Posidonie-265>

https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=1221

http://liboupat2.free.fr/aquafaun/medi_atl/Vers/filogran.html

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Paracentrotus-lividus-Oursin-violet-1437>

<http://souslesmers.free.fr/f.php?e=548>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Hexaplex-trunculus-Rocher-fascie-943>

https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/64365

<https://allspira.com/product/cerithium-vulgatum/>

https://www.researchgate.net/figure/Gobius-sp-aff-rubropunctatus-female-Lagoa-Azul-photo-LA-Rocha_fig15_235679128

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Symphodus-mediterraneus-Crenilabre-mediterraneen-667>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Serranus-scriba-Serran-ecriture-144>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Sarpa-salpa-Saupe-431>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Mullus-barbatus-Rouget-de-vase-579>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Mugil-cephalus-Mulet-a-grosse-tete-2595>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Syngnathus-typhle-Siphonostome-320>

<https://www.fishbase.se/summary/Sphyraena-sphyraena.html>

<https://doris.ffessm.fr/Especies/Posidonia-oceanica-Posidonie-265>

Annexe 1

Localisation des zones d'études

Zones et années de prélèvements		Stations de prélèvements	Latitude	Longitude	Références
Thalassothérapie (Sidi Fredj)	2010	Z3P1	36°45'39.26''N	2°50'19.79''E	Tarmoul F; 2010
		Z3P2	36°45'40.26''N	2°50'26.27''E	
Z3P4		36°45'34.89''N	2°50'25.75''E		
Front de mer (Bou Ismail)		Z2P2	36°39'4.55''N	2°41'40.19''E	
		Z2P5	36°39'7.32''N	2°41'41.65''E	
		Z2P7	36°39'9.95''N	2°41'50.81''E	
		Z2P8	36°39'10.59''N	2°41'54.94''E	
Thalassothérapie (Sidi Fredj)	2012	A	36°45'37.15''N	2°50'19.87''E	Boudjemal N et Boughella M ; 2012
		B	36°45'34.67''N	2°50'13.31''E	
Z1S1		36°45'42.01''N	2°50'17.51''E		
Z1S2		36°45'35.31''N	2°50'26.02''E		
Z1S3		36°45'35.16''N	2°50'20.97''E		
Front de mer (Bou Ismail)		E	36°39'13.16''N	2°41'43.37''E	
		F	36°39'17.06''N	2°42'0.49''E	
		Z3S1	36°39'11.64''N	2°41'59.78''E	
		Z3S2	36°39'11.71''N	2°41'52.47''E	
		Z3S3	36°39'14.26''N	2°41'48.65''E	
Thalassothérapie (Sidi Fredj)	2013	Z2S4	36°45'37.71''N	2°50'23.08''E	Boudaa L et Ayat Y ; 2013
		Z2S5	36°45'39.10''N	2°50'26.59''E	
Z2S6		36°45'38.16''N	2°50'24.77''E		
Plage ouest (Sidi Fredj)		Z3S7	36°45'37.71''N	2°50'23.08''E	
		Z3S8	36°45'39.10''N	2°50'26.59''E	
		Z3S9	36°45'38.16''N	2°50'24.77''E	
Plage ouest (Sidi Fredj)	2018	S1	36° 45' 15,858''N	2° 50' 42,6588''E	Belarbi N et. Limani F ; 2018
		S2	36° 45' 24,4476''N	2° 50' 38,8896''E	
		S3	36°45' 33,66''N	2° 50' 31,614''E	
		S4	36°45' 16,1532''N	2° 50' 35,8548''E	
		S5	36°45' 24,0552''N	2° 50' 31,8948''E	

Annexe 2

La méthode d'analyse des sels nutritifs

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (NO_3^- ; NO_2^- ; PO_4^- , SiO_2 et NH_4^+) est le dosage par **colorimétrie** à flux continu et automatisé sur l'appareil *Skalar San Plus Analyser* selon les protocoles définis par **Skalar analytical** (1995).

Après installation et préparation de l'appareil San plus analyser pour l'analyse et un temps de stabilisation d'environ 2 minutes, les échantillons d'eau de mer à l'analyse sont remplis dans un tubes de 10 ml pour chacun et sont installés dans les emplacements qui leur sont dédiés dans l'appareil d'analyse. L'analyse est ensuite déclenchés et les résultats d'analyse sont données au niveau de l'ordinateur relié à l'appareil via le logiciel fourni avec l'appareil d'analyse

Principe de la colorimétrie

Cette méthode est l'une des méthodes de dosage chimique des sels nutritifs basée sur l'absorption de la lumière par la solution analysée. Elle est appelée aussi photométrie. La colorimétrie basée sur la loi de BEER-LAMBERT qui est définie comme suit :

$$A = \ln I_0/I = \varepsilon \cdot L \cdot C$$

I_0 et I L'intensité lumineuse incidente et l'intensité lumineuse émergente du milieu absorbant respectivement

A ; l'absorbance ou densité optique

ε Coefficient d'extinction moléculaire

L ; trajet optique (épaisseur du milieu absorbant)

C ; concentration du milieu absorbant

L'absorption et la transmission sont deux phénomènes auxquels est soumise une substance d'épaisseur(L) traversée par un faisceau lumineux monochromatique. Les quantités de lumières absorbées (absorbance) et transmises (transmission) obéissent à la loi de Beer Lambert.

Annexe 3

Dosage des sels nutritifs

On s'intéresse au dosage des sels nutritifs :

1-Dosage de l'ammonium

En milieu alcalin ($8 < \text{pH} < 11,5$), l'ammonium dissous réagit sur l'hypochlorite pour former une monochloramine. ce composé, en présence de phénol et d'un excès d'hypochlorite (milieu oxydant) formant un bleu d'indophénol. la réaction est catalysée par le nitroprussiate de sodium

L'absorption se fait a une longueur d'onde de 630 nm (lourguioui.H ; 2006)

2-Dosage des nitrites

En milieu acide, les nitrites forment un diazoïque par action avec la sulfanilamide. ce composé formera ensuite en présence de N_naphtylethylénediamine un composé azoïque de couleur rose absorbant la lumière a 540 nm

3-Dosage des nitrates

L'analyse des nitrates est effectuée par réduction des nitrates en nitrites par une colonne réductrice cadmium cuivre. Les nitrites seront ensuite dosés par calorimétrie par la même façon que celle de l'ammonium avec les mêmes réactifs

4-Dosage des phosphates

La forme dominante des phosphates est les ortho phosphates dont le dosage est comme suit :

L'acide d'antimoine tartrate de potassium réagit avec le molybdate d'ammonium dans le milieu acide avec la solution diluée de phosphate formant un complexe antimoine phosphomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique de couleur bleue, mesuré a 880 nm (Skalar, 2000)

Annexe 4

Dosage des métaux lourds

La méthode de mesure et d'analyse des métaux lourds utilisée est la méthode de SAA

1-Prélèvement et conservation des échantillons :

Afin d'éviter tout risque de contamination, les sédiments sont récupérés dans des boîtes en polyéthylène et renouvelés à chaque prélèvement. Quant aux rhizomes de posidonie et d'oursins, une quinzaine de rhizomes et d'individus sont prélevés de chaque station et récupérés dans des sachets en polyéthylène. Comme ils ne peuvent pas être traités rapidement, les échantillons sont fermés, étiquetés et conservés à température basse (congelés) afin d'éviter toute perte ; surtout pour le mercure qui est le plus volatil des métaux lourds.

2-Traitement des échantillons :

La méthode appliquée pour le traitement des échantillons est celle proposée par UNEP /IAEA (1985a, 1985b, et 1986) qui s'effectue à partir des opérations suivantes :

Une quantité de sédiment de poids frais (PF) d'environ 100g est prélevée de chaque échantillon et est étalée dans une boîte de pétri. Les rhizomes de posidonie et les gonades d'oursins sont soigneusement récupérés aussi. Une fois congelés les échantillons ainsi préparés sont lyophilisés.

3-Lyophilisation :

La lyophilisation est une technique permettant la déshydratation de l'échantillon congelé par sublimation à basse température (-55°) et sous vide (0,1 bar) pendant 48 heures. Au bout de 24h les échantillons sont retirés du lyophilisateur pour être remués à l'aide d'une spatule en acier inoxydable afin de permettre leur déshydratation complète si nécessaire. La lyophilisation est préférable à la déshydratation à l'étuve car cette dernière entraîne une perte des métaux lourds les plus volatils en particulier le mercure.

Les échantillons lyophilisés sont pesés et leur poids sec est noté PS.

4-Broyage et tamisage :

Les échantillons lyophilisés de sédiment sont broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine puis tamisés au moyen d'un tamis de 250µm de maille. La fraction inférieure ou égale à 250µm est récupérée et stockée dans des piluliers en verre. Pour le matériel biologique, les échantillons sont broyés en fine poudre à l'aide d'un mortier en agate.

4-Homogénéisation :

Le sédiment est constitué de particules diverses l'affinité avec le métal est fonction de la taille et de la nature de la particule sédimentaire ainsi dans le but d'uniformiser la répartition des particules sédimentaires au sein de l'échantillon le lyophilisation ou fraction tamisée est récupérée et homogénéisé pendant 48h.

5-Nettoyage des instruments

Mes métaux lourds trouvent à l'état de traces dans le milieu marin. Une contamination est plus que probable si les conditions optimales d'hygiène et de propreté de tout instrument et de verrerie utilisée pendant le traitement et le stockage des échantillons ne sont pas réunies.

6-Minéralisation des échantillons :

La digestion ou minéralisation est une opération d'extraction et de solubilisation des métaux lourds après décomposition des échantillons qui s'effectue soit :

- En milieu acide : l'opérateur doit nécessairement manipuler sous une hotte aspirante et se munir du matériel de protection adéquat (masque à gaz, lunette et gant) ;
- A chaud et sous colonne à reflux ;
- Par voie humide : celle-ci permet la récupération maximale des métaux lourds en trace (**PINATA, 1979**)

Résumé

L'herbier à *Posidonia oceanica* est considéré comme l'un des écosystèmes majeurs et emblématiques du littoral de la méditerranée ; en raison essentiellement de son importance écologique et de son rôle dans les équilibres sédimentaires littoraux . Il est également considéré comme un hot spot « point chaud » pour la diversité spécifique. Et comme plusieurs autres magniliophytes marines. *Posidonia oceanica* est à la fois espèce clé et ingénieur d'écosystèmes marins Mais Malheureusement ; ces herbiers sont particulièrement vulnérables, et très sensibles aux perturbations anthropiques et ont régressés de façon préoccupante, d'où la nécessité des techniques de restaurations afin de suivre leur évolution sous ces pressions anthropiques dans la baie de Bou-Ismaïl.

The *Posidonia oceanica* herbarium is considered one of the major ecosystems and emblematic of the Mediterranean coast; mainly because of its ecological importance and its role in coastal sediment balances. It is also considered a “hot spot” hot spot for specific diversity. And like many other marine magniliophytes. *Posidonia oceanica* is both key species and engineer of marine ecosystems But Unfortunately; these meadows are particularly vulnerable, and very sensitive to anthropogenic disturbances and have regressed in a worrying manner, hence the need for restoration techniques in order to follow their evolution under these anthropogenic pressures in the bay of Bou-Ismaïl.

تعتبر اعشاب واحدة من النظم البيئية الرئيسية و رمز ساحل البحر الابيض المتوسط بسبب اهميتها و دورها في موازين الرواسب الساحلية كما انها تعتبر بقعة ساخنة لتنوع معين و مثل العديد من النباتات البحرية الاخرى هي نوع رئيسي و مهندس للنظم البيئية البحرية و لكن لسوء الحظ هذه المروج معرضة للخطر بشكل خاص و حساسة للغاية للاضطرابات البشرية و قد تراجعت بطريقة مقلقة و من هنا جاءت الحاجة الى تقنيات الاستعادة من اجل متابعة تطورها في ضلل هذه الضغوط البشرية في خليج بو اسماعيل