

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER

Spécialité : Environnement marin

Sujet :

Contribution à 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)

Présenté par:

- Mlle BOUDJEMAL Nassima
- Mlle BOUGHELLA Meriem

Soutenu le 19/07 /2012 devant le jury suivant :

Mr GUERFI M.

Président

M^{me} GHALMI R.

Promotrice

M^{lle} LAMOUTI S.

Co-promotrice

Mr BOUKORTT R.

Examineur

Mr BACHOUCHE S.

Examineur

Promotion : 2012

REMERCIEMENT :

La réalisation d'un mémoire est une longue épreuve pas toujours facile.. Avant tout, je remercie notre dieu, Allah, le Miséricordieux, l'Unique, le Puissant ... pour sa protection et son guide ;

Aussi, je tiens à dire un grand MERCI à toutes les personnes qui ont été à mes côtés pendant ces années et qui m'ont permis d'arriver au bout de ce travail ;

Je tiens à remercier vivement Mme GHALMI R. ma promotrices, pour l'aide scientifique et morale qu'elle a su m'apporter tout au long de ce mémoire ;

J'adresse également mes remerciements à Mlle LAMOUDI S. ma Co-promotrice pour l'aide scientifique et morale, et de m'avoir accompagné en plongée sous-marine ;

Je voudrais exprimer mon entière reconnaissance à tous les membres du jury, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger mon travail, merci M

GUERFI M., M BOUKORIT R. et M. BACHOUCHE S.

Je tiens à remercier aussi les quatre clubs de plongée : le récif de Tamenfoust, CRBT de Tipaza, AQUAMAR de Bou-Ismaïl et celui de Thalasso ;

Je présente mes sincères gratitudees à SAADJI Hakim et HOCINE pour l'aide qu'ils m'ont offert en plongée sous-marine ;

J'adresse également mes remerciements à M. MOUALI M. et M. HOUASS O. de l'Observatoire Nationale de l'Environnement et du Développement Durable (ONEDD) ;

Un grand merci, à Mme EDDALIA N., Mlle OUNADI F., M.

BOUDJELLAJ Y. et M. BOUKRINA M. du laboratoire de Sidi-Fredj ;

Merci ma chère Nassima ! Mon binôme, mon amie et au même temps Ma copine de toutes les nouvelles aventures ! Il n'y a jamais eu ni petites disputes, ni compétitions entre nous et honnêtement je pense que ce n'est pas le cas avec tous les binômes,

Merci Amina, ma meilleure amie qui est toujours à l'écoute et toujours là pour dire des choses gentilles. Je n'oublie pas toutes ces paroles qui m'ont aidé et qui m'ont donné du courage dans des moments qui étaient difficiles.

Merci ANNANI Lyes Merci d'avoir toujours été là pour m'écouter, me soutenir et m'encourager.

Merci à toute ma famille pour leur aide et leur soutien inconditionnel et indéfectible .Merci ma mère d'avoir toujours pensé que j'y arriverais...Merci mon père pour le grand intérêt que tu as toujours manifesté, à mon égard, concernant mes études et ce mémoire en particulier (tu pourras peut-être bientôt m'appeler

ingénieur !...). Merci à mes sœurs Sihem, Nassima, Zola, Souad et Warda d'être là... Merci mon frère Ahmed d'avoir toujours été fier de ce que je faisais...

Merci à mon beau-frère Rachid qui a de nombreuses fois répondu à mes appels au secours, pour ses conseils et son aide morale.

Merci à toute ma famille et mes amis pour leur aide et leur soutien inconditionnel et indéfectible.

Je tiens à adresser des remerciements très chaleureux à M.TARMOUL FATEH et M.GUENDOZI YACINE ;

A ces remerciements, j'associe l'expression de ma reconnaissance à toutes les personnes qui ont participé bénévolement de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Meriem

REMERCIEMENT :

Avant tout, je remercie Allah, le Miséricordieux, l'Unique, le Puissant ... pour sa protection et son guide ;

*Aussi, je tiens à dire un grand MERCI à toutes les personnes qui ont été à mes côtés pendant ces années et qui m'ont permis d'arriver au bout de ce travail ;
Je remercie vivement Mme GHALMI R. ma promotrice, pour l'aide scientifique et morale qu'elle a su m'apporter tout au long de ce mémoire ;*

J'adresse également mes remerciements à Mlle LAMOUDI S. ma Co-promotrice pour l'aide scientifique et morale, et de m'avoir accompagné en plongée sous-marine ;

Je voudrais exprimer mon entière reconnaissance à tous les membres du jury, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger mon travail, merci M G'UERFI M., M BOUKORIT R, et M. BACHOUCHE S.

Je tiens à remercier aussi les quatre clubs de plongée : le récif de Tamenfoust, CRBT de Tipaza, AQUAMAR de Bou-Ismaïl et celui de Thalasso ;

Je présente mes sincères gratitude à SAADJI Hakim et HOCINE pour l'aide qu'ils m'ont offert en plongée sous-marine ;

Un grand merci, à Mlle OUNADI F., Mme EDDALIAN., M.

BOUDJELLAJ Y. et M. BOUKRINA M. du laboratoire de Sidi-Fredj ;

J'adresse également mes remerciements à M. MOUALI M. et M. HOUASS O. de l'Observatoire Nationale de l'Environnement et du Développement Durable (ONEDD) ;

Merci ma chère MERJEM ! Mon binôme, mon amie et au même temps Ma copine de toutes les nouvelles aventures ;

Mes remerciements très chaleureux et particuliers à ma mère, et mon frère qui sont toujours là pour moi, pour m'aider, me soutenir, et m'encourager ;

Je remercie infiniment Ahmed pour son aide, son soutien, et ses encouragements qui m'ont permis d'avancer et d'aller jusqu'au bout ;

Merci à toute ma famille et mes amis pour leur aide et leur soutien inconditionnel et indéfectible.

Je tiens à adresser des remerciements très chaleureux à M. TARMOUL FATEH et M. G'UENDOZI YACINE ;

A ces remerciements, j'associe l'expression de ma reconnaissance à toutes les personnes qui ont participé bénévolement de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Nassima

Sommaire :

Introduction	01
<u>Chapitre 1 : Généralités</u>	
I. Généralités sur la pollution marine :	
I.1.La pollution marine	03
I.2.Origine de la pollution marine	03
I.3.La Pollution chimique	04
I. 3.1. Les sels nutritifs.....	04
I.3.1.1. L'azote.....	04
I.3.1.2. Le phosphore	04
I. 3.1.3. Le silicium.....	05
I.3.2. Matière en suspension (MES)	05
I.3.3. Matière organique (MO)	05
I.3.4. Métaux lourds.....	05
I.3.4.1. Le mercure (Hg)	06
I.3.4.2. Le plomb (Pb)	06
I.3.4. 3. Le zinc (Zn)	06
II. Généralités sur l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> :	
II.1. La présentation de la posidonie.....	07
II.1.1. Taxonomie	07
II.1.2. Description	07
II.1.3. Répartition géographique.....	10
II.1.4. Écologie	11
II.1.4.1. Profondeur	11
II.1.4.2. Lumière	11
II.1.4.3. Salinité.....	11
II.1.4.4. Températures	12
II.1.4.5. Hydrodynamisme.....	12
II.1.5. Rôle des herbiers à <i>Posidonia Oceanica</i>	12
II.1.5.1. Rôle dans les équilibres écologiques	12
II.1.5.2. Rôle dans les équilibres physiques.....	13
II.1.5.3. Rôle économique	13
II.1.5.4. Rôle de bioindicateur.....	13
II.1.6. Ecosystème à <i>posidonia oceanica</i>	13

II.1.7.Régression de l'herbier	16
II.1.7.1. Les aménagements littoraux.....	16
II.1.7.2. La modification des flux sédimentaires	16
II.1.7.3. La turbidité	17
II.1.7.4. La présence de quantités excessives de nutriments et de contaminants chimiques.....	17
II.1.7.5. La modification des apports par les fleuves	17
II.1.7.6. La destruction mécanique.....	17
II.1.7.7. Les explosifs.....	17
II.1.7.8. L'aquaculture côtière	17
II.1.7.9. La compétition avec des espèces introduites	17
II.1.7.10. Le surpâturage	18
II.1.8. Mesures de protection	18

Chapitre 2 : Matériels & Méthodes

I. Présentation de la baie de Bou-Ismaïl	19
I.1. Caractéristiques physiques de la baie de Bou-Ismaïl	19
I.1.1. Situation géographique.....	19
I.1.2. Topographie de la baie	19
I.1.3. Hydrographie	20
I.1.4. Sédimentologie	20
I.2. Principales caractéristiques des facteurs du milieu	20
I.2.1. Température.....	20
I.2.2. Salinité	20
I.3. Les facteurs hydrodynamiques	20
I.3.1. Les vents	20
I.3.2. Les houles	21
I.3.3. Les courants	21
II. Etat et sources de pollution	21
III. Description et choix des zones d'étude	21
IV. Présentation de la plage d'El-Marsa (baie de Zemmouri)	23
V. Prélèvements et échantillonnages	23
V.1. Prélèvements de posidonies.....	24
V.2. Prélèvements d'oursins	24
V.3. Prélèvements de sédiments	24
V.4. Prélèvements d'eau	24
VI. Protocole d'analyse.....	27
VI.1. Dosage des sels nutritifs.....	27
VI.1.1. Principe de dosage des sels nutritifs dans l'eau.....	27
VI.1.2. Technique d'analyse	27
VI.1.3. Etalonnage, mesure et calcul	29
VI.2. Détermination du poids sestonique (MES)	30
VI.3. Détermination de la matière organique (MO)	31

VI.4. Dosage des métaux lourds	31
VI.4.1. Traitement des échantillons	31
VI.4.2. L'analyse des échantillons par la SAA	33
VI.4.3. Etalonnage, mesure et calcul	34
VI.4.4. Indice de contamination (IC)	35
VI.4.5. Relation entre le mercure et l'état de l'herbier de posidonie	35
VI.4.6. Bioconcentrations métallique	36

Chapitre 3 : Résultats & Discussions

I. Les sels nutritifs.....	37
I.1. L'ammonium (NH_4^+).....	37
I.2. Les nitrites (NO_2^-).....	38
I.3. Les nitrates (NO_3^-).....	39
I.4. Les ortho-phosphates (PO_4^{3-})	39
I.5. Silicium dissout (SiO_2)	40
II. La matière en suspension	40
III. La matière organique	42
IV. Les éléments en trace métallique (ETM)	43
IV.1. Etat de contamination des sédiments.....	43
IV.1.1 .Le mercure (Hg)	44
IV.1.2. Le plomb (Pb).....	45
IV.1. 3. Le zinc (Zn)	46
IV.2. Etat de contamination de la posidonie	47
IV.2.1. Le mercure (Hg)	49
IV.2.2. Le plomb (Pb)	49
IV.2. 3. Le Zinc (Zn).....	50
IV.3. État de contamination des oursins.....	50
IV.3.1. Le mercure (Hg)	52
IV.3.2. Le Plomb (Pb).....	52
IV.3.3. Le zinc (Zn)	53
IV.4. Bioconcentrations des ETM	54
Conclusion	57
Perspectives	
Annexes	
Bibliographie	

Liste des tableaux :

Tableau 2.1 : Valeurs de l'indice de contamination (Alzieu et al., 1999).	35
Tableau 2.2 : Classification des herbier de <i>Posidonia oceanica</i> en fonction de l'état de traces de contamination métallique $\mu\text{g/g}$ P.S. (Pergent-Martini et al. , 2005).....	36
Tableau 3.1 : valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des sels nutritifs dans les eaux de surface des quatre zones étudiées.....	37
Tableau 3.2 : valeurs extrêmes et moyennes et l'écart type de MES dans les différentes zones d'étude.....	41
Tableau 3.3 : valeurs extrêmes et moyennes et l'écart type de matière organique dans les différentes zones d'étude.....	42
Tableau 3.4. : Valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des concentrations en ETM dans les sédiments superficiels marins des zones étudiées.....	43
Tableau 3.5 : comparaison des statistiques de concentrations maximales en ETM dans les sédiments, exprimées en ($\mu\text{g/g}$) de poids sec(P.S) dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.....	44
Tableau 3.6 : valeurs de référence des teneurs métalliques dans les sédiments en (mg/kg)...	46
Tableau 3.7 : indice de contamination en mercure, plomb, et zinc des sédiments dans les zones d'étude.....	47
Tableau 3.8 : valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des concentrations en ETM dans les rhizomes de posidonie des zones étudiées.....	47
Tableau 3.9 : comparaison des statistiques de concentrations maximales en ETM dans les rhizomes de posidonie, exprimées en ($\mu\text{g/g}$) de poids sec(P.S) dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales	48
Tableau 3.10 : valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des concentrations en ETM dans les rhizomes de posidonie des zones étudiées.....	51
Tableau 3.11: comparaison des concentrations maximales en ETM dans les gonades d'oursin <i>Paracentrotus lividus</i> , exprimées en $\mu\text{g/l}$ de poids sec (p .s) dans nos zones d'études avec différentes région de la méditerranée occidentale.....	51

Liste des figures :

Figure 1.1 : Origine de la pollution des océans.....	03
Figure 1.2 : Herbier à <i>Posidonia oceanica</i> : Photo Frédéric Bassemayousse, in Harmelin et Bassemayousse (2008) in Boudouresque C.F., 2010).....	08
Figure 1.3 : Illustration de Timothée BERLIOZ d'après les éléments présents dans l'ouvrage de BOUDOURESQUE C-F et al., Préservation et conservation des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	09
Figure 1.4 : La matte de <i>Posidonia oceanica</i> (Boudouresque C.F., 2010).....	09
Figure 1.5 : Inflorescence et jeune fruit (photo Sandrine Ruitton, in Boudouresque C.F., 2010).....	10
Figure 1.6 : Fruits de <i>Posidonia oceanica</i> (“olives de mer” ; flèches), (Photo L. Mazzella, in Boudouresque et al., 2006).....	10
Figure 1.7 : Répartition géographique de la posidonie.....	11
Figure 1.8 : Rôle dans les équilibres écologiques (Illustration de Timothée BERLIOZ d'après les éléments présents dans l'ouvrage suivant :BOUDOURESQUE C-F et al., Préservation et conservation des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>).....	12
Figure 1.9 : Consommateurs des feuilles de <i>Posidonia oceanica</i>	14
Figure 1.10 : Gasteropodes brouteurs des épibiontes des feuilles de <i>Posidonia oceanica</i>	15
Figure 1.11 : <i>Asterina panceri</i>	15
Figure 1.12 : <i>Pinna nobilis</i> au sein de la posidonie.....	16
Figure 1.13 : Banquettes de Posidonie.....	16
Figure 2.1 : Localisation géographique de la baie de Bou-Ismaïl (Google Earth, 2012).....	19
Figure 2.2 : Localisation géographique de la plage de Jean- Bart (Google Earth, 2012).....	23
Figure 2.3 : stratégie d'échantillonnage et localisation des stations de prélèvement dans les Trois zones d'étude de la baie de Bou- Ismaïl	25
Figure 2.4 : stratégie d'échantillonnage et localisation des stations de prélèvement dans La plage de Jean-bart (baie de Zemmouri)	26
Figure 2.5 : droite d'étalonnage de l'ammonium.....	29
Figure 2.6 : droite d'étalonnage de Nitrite.....	29
Figure 2.7 : droite d'étalonnage de Nitrate.....	30
Figure 2.8 : droite d'étalonnage du silicium dissous.....	30
Figure 2.9 : droite d'étalonnage d'ortho-phosphate.....	30
Figure 2.10 : droite d'étalonnage de Plomb.	34
Figure 2.11 : droite d'étalonnage de Mercure.....	34
Figure 2.12 : droite d'étalonnage de Zinc.....	35
Figure 3.1 : Histogramme des concentrations en ammonium dans les quatre zones d'étude..	37
Figure 3.2 : Histogramme des concentrations en nitrite dans les quatre zones d'étude.....	38
Figure 3.3 : Histogramme des concentrations en nitrates dans les quatre zones d'étude.....	39
Figure 3.4 : Histogramme des concentrations en ortho-phosphates dans les quatre zones d'étude.....	39

Figure 3.5 : Histogramme des concentrations en silicium dissout dans les quatre zones d'étude.....	40
Figure 3.6 : Histogramme des concentrations de MES (mg/l) dans les différentes zones d'étude.....	41
Figure 3.7 : Histogramme des concentrations de MO (mg/l) dans les différentes zones d'étude.....	42
Figure 3.8 : Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de mercure (Hg) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les sédiments de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.....	45
Figure 3.9 : Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de plomb (Pb) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les sédiments de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.....	45
Figure 3.10 : Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de zinc (Zn) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les sédiments de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.....	46
Figure 3.11: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de mercure (Hg) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les rhizomes de posidonie de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.....	49
Figure 3.12: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de plomb (Pb) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les rhizomes de posidonie de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.....	50
Figure 3.13.: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de zinc (Zn) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les rhizomes de posidonie de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.....	50
Figure 3.14: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de mercure (Hg) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les gonades d'oursin dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.....	52
Figure 3.15: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de plomb (Pb) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les gonades d'oursin dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.....	53
Figure 3.16: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de zinc (Zn) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les gonades d'oursin dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.....	54
Figure 3.17 : Histogramme de facteur de biosédiment d'Hg, Pb et Zn chez la posidonie et l'oursin dans la zone de Thalasso.....	55
Figure 3.18 : Histogramme de facteur de biosédiment d'Hg, Pb et Zn chez la posidonie et l'oursin dans la zone de Tipaza.....	55
Figure 3.19 : Histogramme de facteur de biosédiment d'Hg, Pb et Zn chez la posidonie et l'oursin dans la zone de Bou-Ismaïl.....	56
Figure 3.20 : Histogramme de facteur de biosédiment d'Hg, Pb et Zn chez la posidonie et l'oursin dans la zone de Jean-Bart.....	56

Introduction

La zone littorale du plateau continental correspond à un espace d'interactions entre les écosystèmes marins et terrestres regroupant l'essentiel des ressources marines (**Castro et al., 1999 ; Usero et al., 2005**). Cette zone littorale correspond également à un espace d'intenses activités économiques (activités domestiques, industrielles, agricoles, etc.) et constitue de ce fait le réceptacle de quantités considérables de substances, d'origine naturelle ou de synthèse, dont un nombre important possède des propriétés toxiques. Ainsi, la zone littorale présente à la fois une grande importance au niveau écologique et une grande fragilité vis-à-vis des xénobiotiques ; la pollution de cette zone peut porter atteinte à la structure des biocénoses et à la productivité des écosystèmes (**Roméo et al., 1995**).

La Méditerranée est une mer pratiquement fermée et le changement de ses eaux ne s'opère que toutes les quatre-vingts années. Aussi les littoraux des pays du pourtour de celle-ci sont des espaces convoités. Leurs richesses paysagères, écologiques, culturelles ou historiques entraînent une demande accrue de leur utilisation.

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.

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 diversité biologique).

Les métaux lourds (mercure, plomb, cadmium, arsenic...) qui sont des produits toxiques, très stables, et qui se fixent (s'adsorbent) sur le sédiment et les tissus de la posidonie (Cd, le Cu, le Fe et le Pb dans leurs feuilles et leurs rhizomes (**Baroli et al., 2001**) et s'accumulent dans les organes (graisse, cerveau, foie, squelette...) des organismes vivants la consommant, constituent une véritable menace sur la santé humaine, ce qui rend leur étude intéressante pour évaluer le degré de pollution à l'échelle spatiotemporelle

L'herbier à *Posidonia oceanica*, véritable enregistreur biologique capable de mémoriser les teneurs en métaux traces sur plusieurs décennies (**Lafabrie, 2007**), sensible aux impacts humains, est considéré comme indicateur biologique par excellence de ces impacts en milieu côtier (**Pergent et al., 1995 ; Charbonnel et al., 2003**). Il rend compte, par sa présence et sa vitalité de la qualité des eaux qui dérivent au-dessus de lui. Ainsi, de nombreux paramètres sont à même d'être enregistrés par l'herbier : **(i)** Turbidité moyenne des eaux (matérialisée par la position de sa limite inférieure et par la densité des faisceaux), **(ii)** Courants et hydrodynamisme (matérialisés par les structures érosives qui affectent la matre), **(iii)** Taux de sédimentation (matérialisé par la vitesse de croissance des rhizomes et, en cas de déficit, par leur déchaussement), **(iv)** Polluants stables (concentration et mémorisation des teneurs au cours du temps), **(v)** Dessalure au débouché de fleuves côtiers ou de nappes phréatiques (matérialisée par la disparition de l'herbier), **(vi)** Stress (matérialisé en particulier par la teneur de la plante en acides phénoliques et enzymes de détoxication), **(vii)** Matière organique et nutriments (matérialisés par les épiphytes des feuilles et la composition chimique de la plante) (**Boudouresquet et al., 2006**).

L'échinoderme *Paracentrotus lividus* étant un brouteur de posidonie, et présentant une grande capacité de concentration des éléments en trace métallique dans ses gonades (**Daby, 2006**), peut nous donner des informations précieuses sur le transfert des différents polluants à travers la chaîne trophique.

L'objectif principal de ce travail consiste à étudier la mémorisation de quelques métaux lourds : par la magnoliophyte *Posidonia oceanica*, dans le sédiment (témoin du degré de pollution selon **Lesouef et al., 1979**) où viennent s'enraciner ses rhizomes et les gonades des oursins *Paracentrotus lividus* récoltés directement sur cette dernière, afin de mieux connaître la qualité du milieu marin en évaluant et caractérisant le degré de pollution dans les quatre sites étudiés.

L'analyse des sels nutritifs, la matière en suspension et la matière organique, nous permettra d'enrichir notre travail et de mettre en évidence l'origine de la pollution que subit la posidonie dans la baie de Bou-Ismaïl et El-Marsa (ex Jean-Bart).

Le travail est réalisé au niveau de l'annexe de l'ENSSMAL à Sidi Fredj <Laboratoire de chimie et pollution marine> et l'Observatoire National de L'Environnement ONEDD à Ben Aknoun.

Généralités

I. Généralités sur la pollution marine :

I.1. La pollution marine :

selon GESAMP (groupe mixte d'experts chargés d'étudier les aspects scientifiques de la pollution des mers),1991, la pollution marine est définie comme étant *"l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans le milieu marin (y compris les estuaires) occasionnant des effets néfastes tels que des nuisances envers les ressources biologiques, des risques pour la santé de l'homme, des entraves aux activités maritimes (y compris la pêche), une altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et une dégradation des valeurs d'agrément"* ⁽¹⁾.

I.2. Origine de la pollution marine :

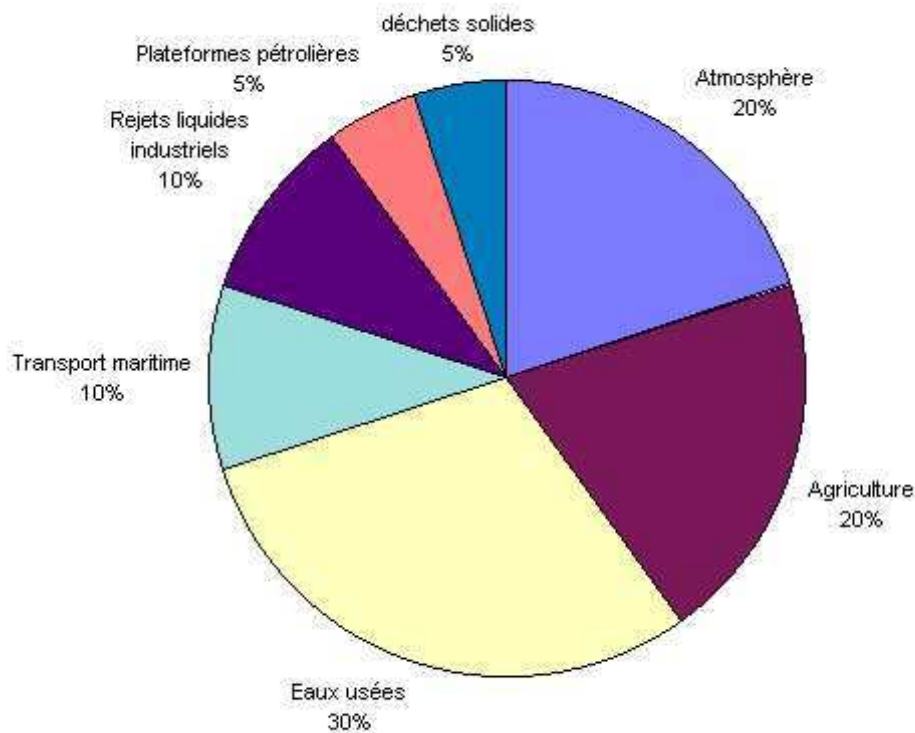


Figure1.1 : origine de la pollution des océans.

⁽¹⁾ :<http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/dossiers/pollutionchimique/index.htm>

I.3. La Pollution chimique :

La pollution chimique regroupe l'ensemble des éléments chimiques organiques ou inorganiques normalement absents, ou présents dans l'environnement avec des concentrations naturelles beaucoup plus faibles. Ces éléments peuvent avoir diverses origines : industrielles, agricoles, domestiques, urbaines, ...etc. Leur toxicité peut être directe si elle est limitée dans le temps et ne s'accumule pas dans les tissus des êtres vivants affectant directement leur croissance, leur reproduction et leur comportement, ou chronique dans le cas où les produits toxiques sont non-dégradables, s'accumulent dans les tissus des organismes marins (**Hamzaoui, 1983 in Guendouzi, 2011**) et constituent une menace sur la santé humaine.

I.3.1. Les sels nutritifs :

Les sels nutritifs sont des constituants minéraux dissous dans l'eau de mer et impliqués dans le métabolisme des êtres vivants. Ils se situent donc à l'interface physique-biologie, ce qui rend leur étude doublement intéressante puisqu'ils peuvent être utilisés à la fois comme traceurs de masse d'eau (dans une optique physique) ou comme indicateurs de richesse potentielle (dans une optique biologique). Par ailleurs, la définition sels nutritifs » s'applique traditionnellement à plusieurs formes de composés minéraux qui sont, pour l'azote : les ions nitrate, nitrite, ammonium, pour le phosphore, l'ion ortho-phosphate et pour le silicium l'ion silicate (**Herbland, et Le Loeuff, 1993**).

I.3.1.1. L'azote :

L'Azote existe dans l'eau de mer sous différentes formes (Oudot, 1983) :

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

Le nitrate (NO_3^-) est la forme stable de l'azote minéral combiné dans l'eau de mer bien oxygénée. Les variations de concentrations résultent principalement de l'activité biologique.

Le nitrite (NO_2^-) est une forme d'azote présente généralement en faible quantité dans l'eau de mer. Dans ce composé l'azote est à un état d'oxydation intermédiaire (+III) entre l'ammonium (-III) et le nitrate (+V), si bien que le nitrite apparaît comme une étape transitoire dans l'oxydation de l'ammonium aussi bien que dans la réduction du nitrate.

L'ammonium (NH_4^+) est de loin l'espèce ionique dominante de l'azote minéral combiné. Des trois formes d'azote minéral, l'ammonium est souvent assimilé préférentiellement par le phytoplancton, et le premier à régénérer, par le biais de l'excrétion zooplanctonique principalement.

I.3.1.2. Le phosphore :

Le phosphore présent dans l'eau de mer existe sous une grande variété de formes, regroupées arbitrairement en deux grandes classes «Soluble »et «Insoluble ».

Le phosphore minéral soluble c'est-à-dire l'ion ortho-phosphate, est la forme directement assimilable par le phytoplancton et est la fraction majeure de l'excrétion zooplanctonique (**Oudot, 1983**).

I.3.1.3. Le silicium :

Le silicium est présent dans l'eau de mer à l'état dissous et particulaire. Sous forme particulaire, le silicium est le constituant essentiel des structures solides extracellulaires des diatomées, silicoflagellés et radiolaires. Sous forme dissoute le silicium est représenté par l'acide silicique qui est très peu ionisé dans l'eau de mer (**Oudot, 1983**).

I.3.2. Matière en suspension (MES) :

Les matières en suspension (MES) représentent l'ensemble des particules organiques ou minérales véhiculées par les eaux. Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiments arrachés par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales très riches en MES, ou d'êtres vivants planctoniques. Elles peuvent modifier la turbidité de l'eau et ainsi modifier l'activité photosynthétique et la production primaire globale du milieu⁽¹⁾.

I.3.3. Matière organique (MO) :

Est la matière carbonée produite en général par des êtres vivants, végétaux, animaux, ou micro-organismes. Il s'agit par exemple des glucides, protides et lipides. À la différence de la matière minérale, la matière organique est souvent biodégradable. Elle peut ainsi être facilement recyclée⁽²⁾.

Outre le carbone et l'eau qui sont les composants essentiels, elle peut contenir aussi les éléments hydrogène (H), oxygène (O), azote (N), phosphore (P), soufre (S), fer (Fe)...⁽³⁾.

I.3.4. Métaux lourds :

Les métaux lourds sont des polluants non biodégradables persistants, qui peuvent affecter la vie aquatique, en s'amplifiant au fur et à mesure que l'on remonte à travers les maillons de la chaîne trophique (**Chiffolleau et al, 2001**).

Si les métaux sont souvent indispensables au déroulement des processus biologiques (oligo-éléments), nombre d'entre eux peuvent s'avérer contaminants pour diverses formes de vie, lorsque leur concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du fer (Fe), du cuivre (Cu), du zinc (Zn), du nickel (Ni), du cobalt (Co), du sélénium (Se), du molybdène (Mo), du manganèse (Mn), du chrome (Cr), de l'arsenic (As) et du titane (Ti) (**Miquel, 2001**). D'autres ne sont pas nécessaires à la vie, ils ont un caractère polluant avec des effets toxiques (métaux toxiques) pour les organismes vivants même à faible concentration c'est le cas du mercure (Hg), plomb (Pb), cadmium (Cd) et l'antimoine (Sb) (**Chiffolleau et al, 2001**).

(1) : <http://www.scifa.univ-metz.fr/cours/dazy/Seance-5.pdf>

(2), (3) : <http://dictionary.sensagent.com/mati%C3%A8re+organique/fr-fr/>

I.3.4.1. Le mercure (Hg) :

Un métal argenté brillant, le seul se présentant sous forme liquide dans les conditions normales de température et de pression, conditions dans lesquelles il se vaporise toutefois assez aisément.

Le mercure n'a pas de rôle biologique connu (**Suszeysky & Shann, 1995 in Lafabrie, 2007**). Sa toxicité élevée provient essentiellement du fait qu'il forme des liaisons très stables avec le carbone et donne naissance à des composés difficilement dégradables dont le méthylmercure, composé très toxique entrant facilement dans les systèmes biologiques (**Wood et al., 1968 ; Greenwood, 1985 ; Cossa et al., 1990 ; Lindqvist, 1991 ; Palheta & Taylor, 1995 ; Kinjo et al., 1996 ; US Environmental Protection Agency, 1997 ; Porto et al., 2005 ; Pacyna et al., 2006 in Lafabrie, 2007**).

Le mercure est devenu, ces dernières années, un problème environnemental majeur (**Gesamp, 1997 ; Schroeder & Munthe, 1998 ; Boening, 2002 in Lafabrie, 2007**) et est à l'origine de nombreuses préoccupations en terme de santé publique (**Roméo, 1991 ; WHO, 1991 in Lafabrie, 2007**). Les empoisonnements au mercure des mineurs d'Almadén en Espagne au XVI^{ème} siècle (**Menendez-Navarro, 1996 in Lafabrie, 2007**) ; plus récemment, ceux des pêcheurs et de leur famille de la Baie de Minamata au Japon en 1953 (**Fujiki & Tajima, 1992 ; Osame & Takizawa, 2001, in Lafabrie, 2007**) et ceux des populations en Iraq en 1970 (**Bakir et al., 1973 in Lafabrie, 2007**) ont révélé le potentiel létal du mercure (**De Marco et al., 2006 ; Israr et al., 2006 in Lafabrie, 2007**).

I.3.4. 2. Le plomb (Pb) :

Le plomb est très souvent associé au zinc dans les minerais, mais aussi à de nombreux autres éléments. L'utilisation du plomb est directement liée à la métallurgie, l'imprimerie, les peintures, les carburants automobiles.

Les apports de plomb vers l'océan se font majoritairement par voie atmosphérique (rejets atmosphériques principalement anthropiques) (**Boutron et Patterson, 1983**).

Les doses létales du plomb, sous la forme de sel minéral, sont souvent supérieures à sa limite de solubilité dans l'eau de mer, c'est à dire 4 mg. l⁻¹ (**Casas, 2005**).

Le plomb inorganique peut donc être considéré comme toxique (concentration létale de 1 à 10 mg.l⁻¹) ou modérément toxique (concentration létale de 10 à 100 mg.l⁻¹) (**Marchand et Kantin, 1997**).

Le saturnisme désigne l'ensemble des manifestations de l'intoxication humaine par le plomb. Ses principaux organes cibles sont le système nerveux, les reins et le sang. Cette maladie se caractérise par une anémie et une perturbation du métabolisme par compétition avec les ions Ca⁺⁺ (**in Benguedda-Rahal, 1993**).

I.3.4.3. Le zinc (Zn) :

Le zinc est un élément indispensable dans le métabolisme des organismes en particulier comme coenzyme. Il intervient dans la croissance, le développement cérébral, de la reproduction, du développement embryonnaire, du goût, de l'odorat, de la cicatrisation des blessures, des fonctions immunitaires (**NAS/NRC /1989, in Dermeche, 2010**). L'effet toxique du zinc n'est généralement pas immédiat. Un poisson soumis à une pollution accidentelle contenant ce métal peut mourir que quelques jours après (**Casas, 2005**).

Il semble que le zinc exerce son action toxique par formation de composés insolubles au niveau des muqueuses recouvrant les branchies ou par action toxique interne (Quillet, 1984, *in* Sahnoun, 2009). Aussi, la présence du cuivre dans l'eau de mer semble produire un effet de synergie sur la toxicité du zinc (Quillet, 1984, *in* Sahnoun, 2009).

Les apports anthropiques de zinc dans l'environnement résultent des sources minières industrielles (traitement minéral, raffinages, galvanisation du fer, gouttières de toitures, piles électriques, pigments, matières plastiques, caoutchouc), des épandages agricoles (alimentation animale, rizières) et des activités urbaines (trafic routier, incinération ordures). Dans les zones portuaires, le zinc est introduit à partir de la dissolution des anodes destinées à la protection des coques de bateaux contre la corrosion, et est contenu dans certaines peintures antisalissure (Engel, 1999).

II. Généralités sur l'herbier à *Posidonia oceanica* :

II.1. Présentation de la posidonie :

II.1.1. Taxonomie :

En 1735 Linné décrit l'espèce dans son *Systema Naturae*, l'appelant *Zostera oceanica*. En 1813 Delile la renomme en *Posidonia oceanica*. D'où le nom scientifique complet de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile selon la nomenclature binomiale.

II.1.2. Description :



Figure 1.2: Herbier à *Posidonia oceanica* : (Photo Frédéric Bassemayousse, *in* Harmelin et Bassemayousse 2008 *in* Boudouresque, 2010.)

Posidonia oceanica est une magnoliophyte marine, c'est-à-dire une plante à fleur, elle est constituée de tiges généralement enfouies dans le sédiment qu'on appelle rhizomes, qui sont soit plagiotropes ou orthotropes. Les rhizomes se terminent par des groupes de 4-8 feuilles (faisceaux), ils portent aussi des racines qui peuvent descendre jusqu'à 70cm dans le sédiment (Giraud *et al.*, 1979 ; Boudouresque et Meinesz, 1982) .

Chaque feuille comporte un pétiole (base ou gaine), par lequel elle est fixée au rhizome, et un limbe, partie où s'effectue la photosynthèse (figure 1.3).

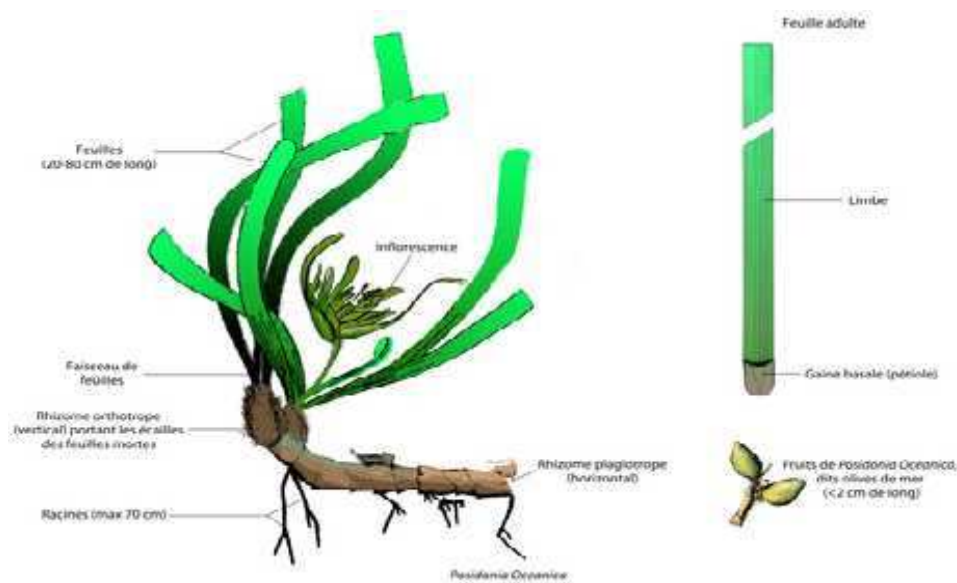


Figure 1.3 : Un rhizome plagiotrope de *Posidonia oceanica* portant des racines ainsi que des rhizomes orthotropes avec des faisceaux de feuilles à leurs extrémités (Boudouresque *et al.*, 2006)

A leur mort, les feuilles ne se détachent pas complètement : seul le limbe est caduc, tandis que la gaine basale (pétiole), reste fixée au rhizome. On lui donne alors le nom d'écaille qui sert à consolider le rhizome (Caye, 1980).

On nomme “matte” l'ensemble constitué par les rhizomes, les écailles, les racines et par le sédiment qui remplit les interstices (figure 1.4).



Figure 1.4 : La matte de *Posidonia Oceanica* (Boudouresque, 2010).

La floraison de *P. oceanica* se produit à l'automne (septembre-novembre). Les fleurs sont hermaphrodites; 4 à 10 fleurs sont groupées en une inflorescence au sommet d'un pédoncule de 10-30 cm de longueur.

Elle ne se produit pas tous les ans, surtout dans les eaux relativement froides du Nord de la Méditerranée Occidentale.



Figure 1.5 : Inflorescence et jeune fruit
(Photo Sandrine Ruitton in Boudouresque, 2010).

Les **fruits** de *P. oceanica*, mettent 6 à 9 mois pour mûrir. Entre mai et juillet, ils se détachent et flottent un certain temps (figure 1.6).

Ces fruits ont la forme et la dimension d'une olive ; leur couleur est vert foncé, brun foncé à noir Ils contiennent une seule **graine** (Hartog, 1970 ; Boudouresque et Meinesz, 1982).



Figure 1.6 : Fruits de *Posidonia oceanica* (“olives de mer” ; flèches), (Photo Mazzella in Boudouresque *et al.*, 2006).

La reproduction de *P. oceanica* semble se faire surtout de façon végétative, par des **boutures (Molinier et Picard, 1952)**.

Entre 0 et 40 m de profondeur, *Posidonia oceanica* constitue d’immenses prairies sous-marines, appelées herbiers qui forment un écosystème très important dans la méditerranée par son rôle de protection et d’alimentation pour beaucoup d’espèces animales et végétales.

II.1.3. Répartition géographique:

P. oceanica est une espèce endémique de la Méditerranée, c’est-à-dire strictement circonscrite à cette mer.

Elle est présente dans presque tout le bassin Méditerranéen, mais elle disparaît à l’Ouest, un peu avant le détroit de Gibraltar, vers Calaburros au Nord et Melilla au Sud (**Conde Poyales, 1989**).

A l’Est, elle est absente des côtes d’Egypte (à l’Est du delta du Nil), de Palestine, d’Israël et du Liban (**Por, 1978**). Elle ne pénètre pas en mer de Marmara ni en mer Noire. Enfin, elle est rare ou absente dans l’extrême Nord de l’Adriatique (**Zalokar, 1942 ; Gamulin-Brida *et al.*, 1973 ; Gamulin- Brida, 1974**) et le long des côtes languedociennes, entre la Camargue et Port-la-Nouvelle (**Boudouresque et Meinesz, 1982**) (figure 1.7).

Répartition de *Posidonia oceanica*

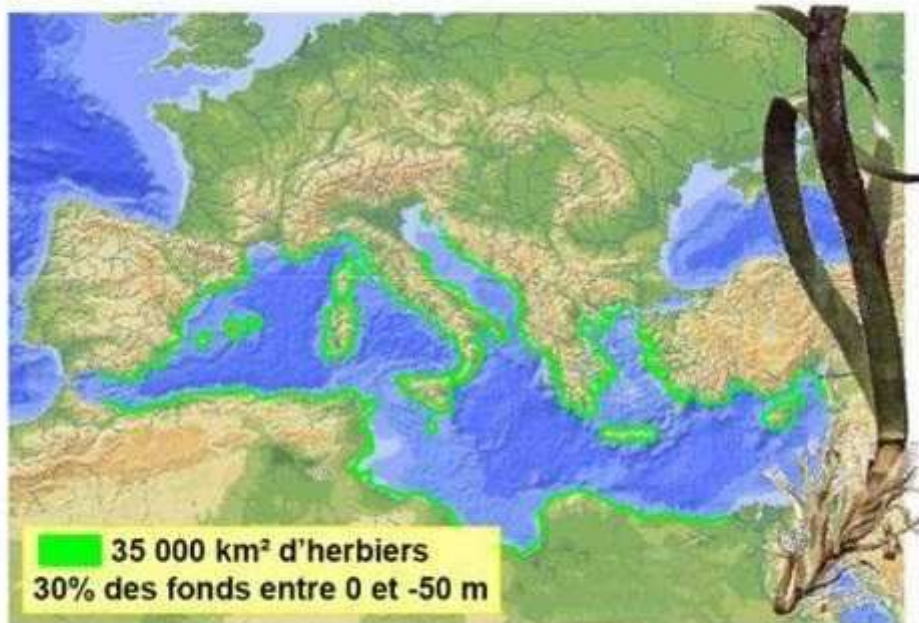


Figure 1.7 : répartition géographique de la posidonie (Boudouresque, 2010).

II.1.4. Écologie :

II.1.4.1. Profondeur :

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 : Dans le Var et en Corse, des touffes isolées de *P. oceanica* ont été observées jusqu'à 45 - 48m de profondeur (Augier et Boudouresque, 1979 ; Boudouresque et al. 1990).

II.1.4.2. Lumière :

Pour assurer sa photosynthèse, *P. oceanica*, comme tous les végétaux, a besoin de lumière qui constitue l'un des facteurs les plus importants pour la répartition et la densité (Elkalay et al., 2003).

II.1.4.3. Salinité :

Posidonia oceanica est extrêmement sténohaline, elle craint la **dessalure**, et disparaît immédiatement en dessous de 33‰ (Ben Alaya, 1972). C'est la faible salinité qui l'élimine de la mer de Marmara (21-27‰), et au débouché des grands fleuves. L'espèce semble mieux résister aux salinités élevées, bien que Ben Alaya (1972) ait indiqué que 41‰ constitue sa limite supérieure de tolérance.

II.1.4.4. Températures :

P. oceanica supporte des écarts thermiques relativement importants (9.0 et 29.2 °C dans la baie de Port-Cros) (Augier *et al.*, 1980 ; Robert, 1988).

II.1.4.5. Hydrodynamisme :

Posidonia oceanica craint un **hydrodynamisme** trop intense. Les tempêtes arrachent des faisceaux de feuilles, dont certains constitueront des boutures. Elles peuvent éroder la “matte”, soit directement, soit en la vidant de son sédiment, ce qui la fragilise. C’est la raison pour laquelle, en mode battu, l’herbier ne s’approche pas à plus de 1 ou 2m de la surface (Boudouresque *et al.*, 2006) .

II.1.5. Rôle des herbiers à *Posidonia Oceanica* :

Les herbiers à *Posidonia oceanica* constituent la base de la richesse des eaux littorales en Méditerranée, par les surfaces qu’ils occupent (20 à 50 % des fonds entre 0 et 50 m de profondeur), et surtout par le rôle essentiel qu’ils jouent au niveau biologique, dans le maintien des équilibres littoraux et des activités économiques concomitantes.

II.1.5. 1. Rôle dans les équilibres écologiques :

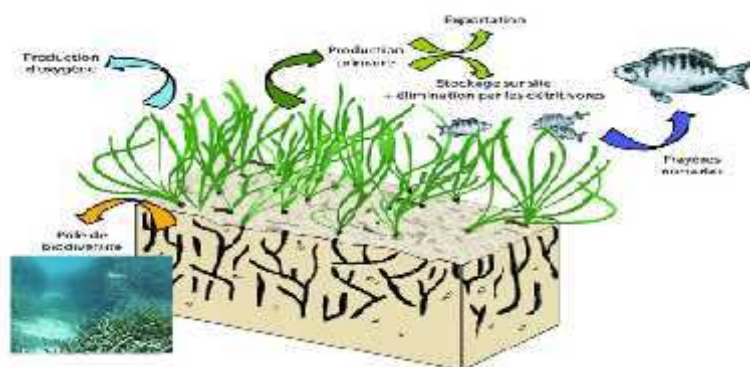


Figure 1.8 : Rôle dans les équilibres écologiques (Boudouresque *et al.*, 2006).

ils constituent l’un des écosystèmes **les plus productifs de la planète**, en raison des grandes quantités de matière végétale, base de nombreuses chaînes trophiques, qu’ils produisent (McRoy et McMillan, 1977 ; Mazzella *et al.*, 1992; Pergent- Martini *et al.*, 1994 ; Romero, 2004b).

- Production d’énormes quantités d’oxygène grâce à la photosynthèse. Par exemple, à 10m de profondeur, en Corse, 1m² d’herbier dégage jusqu’à 14 litres d’oxygène par jour (Bay, 1978).
- les herbiers à *P. oceanica* constituent une **frayère**, une **nurserie** ou un habitat permanent pour de très nombreuses espèces ; plus de 400 espèces différentes de végétaux et plusieurs milliers d’espèces animales peuplent les herbiers à *P. oceanica*, (Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Bell et Harmelin-Vivien, 1982 ; Bellan-Santini *et al.*, 1994 ; Francour, 1997 ; Boudouresque, 2004).

II.1.5.2. Rôle dans les équilibres physiques :

- piégeage des sédiments au niveau des fonds littoraux (**Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Boudouresque et Jeudy de Grissac, 1983 ; Jeudy de Grissac et Boudouresque, 1985 ; Gacia et Duarte, 2001 ; SDAGE, 2003 ; Romero, 2004b**), qui vont être retenus, sous la canopée (l'ensemble des feuilles), entre les rhizomes et les racines pour constituer ainsi la "matte" (**Jeudy de Grissac, 1984**).
- la décantation des sédiments et leur immobilisation au sein de la "matte", augmentent la **transparence** des eaux littorales (**Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Jeudy de Grissac et Boudouresque, 1985**).
- La biomasse végétale considérable de l'herbier à *P. oceanica* constitue également une sorte d'écran qui freine et **amortit efficacement l'hydrodynamisme** (houles, courants) au niveau des fonds. (**Jeudy de Grissac et Boudouresque, 1985 ; Gambi et al., 1989 ; Gacia et Duarte, 2001 ; Duarte, 2004**).
- la réduction des vagues et des courants est de nature à protéger le littoral de l'érosion et contribue à la stabilisation de la position de la ligne de rivage (**Blanc et Jeudy de Grissac, 1978 ; Jeudy de Grissac et Boudouresque, 1985 ; Short et al., 1989 ; Gacia et Duarte, 2001 ; Duarte, 2004**).

II.1.5.3. Rôle économique :

- il constitue une frayère pour de nombreuses espèces présentant un intérêt commercial (crustacés, céphalopodes, poissons) (**Jimenez et al., 1996 ; Francour, 1997 ; Romero, 1999 ; Le Direach et Francour 2001**).
- le développement du tourisme et des activités balnéaires, à travers le maintien de la **qualité des eaux** (transparence).

II.1.5.4. Rôle de bioindicateur :

l'herbier à *Posidonia oceanica* constitue un puissant intégrateur de la qualité globale des eaux marines (**Augier, 1985 ; Pergent, 1991b ; Pergent et al., 1995**). Très sensible à la pollution (**Augier et al., 1984a ; Bourcier, 1989**) et aux autres agressions liées aux activités humaines (**Ardizzone et Pelusi, 1984 ; Meinesz et Laurent, 1978 ; Boudouresque et Meinesz, 1982**).

II.1.6. Ecosystème à *posidonia oceanica* :

L'écosystème à *Posidonia oceanica* est constitué par la juxtaposition de 2 types de production primaire :

* La production primaire issue de *P. oceanica* elle-même : il s'agit d'une matière végétale riche en cellulose et en lignine, composés peu utilisables par les herbivores, et en composés phénoliques, dont l'un des rôles est de dissuader les consommateurs potentiels (**Piovetti et al., 1984**).

* La production primaire issue des épiphytes des feuilles est constituée par des Chromobiontes (*Myrionema orbiculare*, *Giraudya sphacelarioides*, *Myriactula gracilis*,

Castagnea mediterranea, *Castagnea irregularis*) et Rhodobiontes (*Chondria mairei*, *Pneophyllum lejolisii*) (Boudouresque C.F., 2010) facilement utilisables par les herbivores.

Une faible part (moins de 10%) de la production primaire de *P. oceanica* est utilisée par des herbivores. Il s'agit principalement du poisson *Sarpa salpa*, de l'oursin *Paracentrotus lividus*, des crustacés isopodes *Idotea hectica*, des araignées de mer *Pisa mucosa* et *P. nodipes* (Issel, 1918a ; Vadon, 1981 ; Verlaque, 1981 ; Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Wittmann et Ott, 1982 ; Chessa *et al.*, 1983 ; Lorenti et Fresi, 1983 ; Nédélec et Verlaque, 1984 ; Velimirov, 1984 ; Verlaque, 1987, 1990 ; Pergent *et al.*, 1994, 1997 ; Rico-Raimondino, 1995 ; Boudouresque et Verlaque, 2001 *in* Boudouresque *et al.*, 2006).



Figure 1.9 : Consommateurs des feuilles de *Posidonia oceanica* (Boudouresque, 2010).

En revanche, les épiphytes des feuilles sont largement utilisés, en particulier par les gastropodes *Bittium reticulatum*, *Calliostoma langieri*, *Cerithium vulgatum*, *Columbella rustica*, *Gibbula umbilicaris*, *Rissoa* sp. plur. et *Jujubinus* sp. plur. (Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Templado-González, 1982 ; Chessa *et al.*, 1983 ; Templado, 1984 ; Mazzella *et al.*, 1986). En outre, les macro-herbivores qui broutent les feuilles consomment en même temps les épiphytes qu'elles portent ; *Paracentrotus lividus* préfère d'ailleurs les feuilles épiphytées aux feuilles sans épiphytes (Traer, 1979).



Figure 1.10 : Gastropodes brouteurs des épibiontes des feuilles de *Posidonia oceanica*. (Boudouresque, 2010).

Une partie importante de feuilles mortes (24 à 85 %) est **exportée**, (Ott et Maurer, 1977 ; Francour, 1990 ; Boudouresque *et al.*, 1994b ; Pergent *et al.*, 1994 ; Mateo-Minguez, 1995 ; Cebrian et Duarte, 2001) vers d'autres écosystèmes, et constitue une ressource alimentaire non négligeable. Une autre partie reste sur place pour former une litière consommée par de nombreux détritivores, principalement des crustacés, et des échinodermes.

De nombreux prédateurs se nourrissent des invertébrés de petite taille, qu'ils vivent sur les feuilles, dans la litière ou dans la "matte": les étoiles de mer *Echinaster sepositus* et *Asterina panceri*, le crustacé *Palaemon xiphias*, les mollusques *Chauvetia minima* et *Sepia officinalis* et les poissons *Coris julis*, *Diplodus annularis*, *Hippocampus guttulatus*, *Symphodus cinereus*, *S. doderleini*, *S. ocellatus*, *S. roissali* et *S. rostratus*, etc. (Galán *et al.*, 1982 ; Templado- González, 1982 ; Chessa *et al.*, 1983 ; Ballesteros *et al.*, 1984 ; Fresi *et al.*, 1984 ; Lejeune, 1985 ; Harmelin-Vivien et Francour, 1992). L'oursin *Paracentrotus lividus* est consommé par l'étoile de mer *Marthasterias glacialis*, l'araignée *Maja squinado* et les poissons *Coris julis*, *Diplodus vulgaris*, *D. sargus*, *Sparus aurata*, *Symphodus mediterraneus*, *S. roissali* et *S. tinca* (Dance et Savy, 1987 ; Savy, 1987 ; Boudouresque et Verlaque, 2001). Le grand mollusque bivalve *Pinna nobilis* est consommé par le poulpe *Octopus vulgaris* (De Gaulejac, 1989). Les prédateurs de poissons sont les rascasses *Scorpaena notata*, *S. porcus*, *S. scrofa* (16), les serrans *Serranus cabrilla* et *S. scriba* et le congre *Conger conger* (Harmelin Vivien, 1984 ; Lejeune, 1985 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 1989).



Asterina panceri (photo Bedini)

Figure1.11 : *Asterina panceri*

Les poissons **planctonophages** qui exploitent, le jour, la colonne d'eau, tels que la castagnole *Chromis chromis* et les mandoles *Spicara smaris* et *S. maena*, dorment la nuit dans l'herbier (Harmelin-Vivien, 1984). Ils sont susceptibles d'y être consommés par les prédateurs piscivores, tels que les congres et les rascasses (Harmelin-Vivien, 1982, 1984).

Une autre **entrée** d'énergie dans l'écosystème est constituée par les **filtreurs** et les **suspensivores** épiphytes des feuilles (hydriaires, bryozoaires) ou fixés sur les rhizomes (par exemple le polychète *Spirographis spallanzani*, le bivalve *Pinna nobilis* et l'ascidie *Halocynthia papillosa*) (Mazzella *et al.*, 1986 ; Boudouresque *et al.*, 1994b).



Figure1.12 : *Pinna nobilis* au sein de la posidonie (Boudouresque, 2010).

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



Figure1.13 : Banquettes de Posidonie

II.1.7. Régression de l'herbier :

Depuis de nombreuses années l'herbier à *Posidonia oceanica* recule partout en méditerranée en particulier aux alentours des grands centres urbains et portuaires (Pérès et Picard, 1975 ; Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Pérès, 1984 ; Boudouresque, 1996, 2003 ; Romero, 2004b ; Solis-Weiss *et al.*, 2004). Cela revient à plusieurs causes :

II.1.7.1. Les aménagements littoraux :

La réalisation d'ouvrages tels que les digues, les terrains gagnés sur la mer et les ports constitue une menace importante pour les milieux côtiers, et en particulier pour les herbiers à *Posidonia oceanica*, puisque elle se fait généralement sur des petits fonds donc elle affecte d'une façon directe ces herbiers (Boudouresque *et al.*, 2006).

II.1.7.2. La modification des flux sédimentaires :

L'aménagement des bassins versants des fleuves réduit les apports de sédiments au milieu marin. Les ouvrages côtiers (ports, épis rocheux) empêchent le transfert latéral des sédiments le long des plages. Il en résulte que l'herbier peut être soit déchaussé par déficit en sédiments (les rhizomes se trouvent au-dessus du sédiment), soit enterré sous une couche de sédiments que les faisceaux de feuilles ne sont pas capables de percer. Dans le premier cas,

l'herbier est très vulnérable (ancrages, chalutages, tempêtes). Dans le deuxième cas, il est détruit (**Boudouresque et al., 2006**).

II.1.7.3. La turbidité :

Elle peut être due aux particules sédimentaires apportées par les fleuves, aux eaux usées et à la remise en suspension des sédiments par l'hydrodynamisme. Elle peut également être due au développement du plancton dans des eaux riches en sels nutritifs (azote, phosphore). (**Boudouresque et al., 2006**).

II.1.7.4. La présence de quantités excessives de nutriments et de contaminants chimiques :

Les rejets anthropiques, outre le fait de modifier de façon importante l'équilibre sédimentaire des eaux côtières, véhiculent une large gamme de contaminants, dont les détergents, les hydrocarbures, les pesticides, les herbicides, les "métaux lourds" et les composants des peintures "anti-fouling", qui réduisent la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica* (**Pères et Picard, 1975 ; Augier et al., 1987**).

II.1.7.5. La destruction mécanique :

L'herbier est également agressé par les ancres des bateaux, les arts trainants (dragues, chaluts, ganguis), ces destructions mécaniques de l'herbier et de la matre peuvent conduire à la formation d'inter-mattes. 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 (**Boudouresque et al., 2006**).

II.1.7.6. Les explosifs :

La sensibilité de *P. oceanica* aux explosifs est sans doute due à la présence d'un aérarium à l'intérieur de ses feuilles : canaux occupés par du gaz (oxygène et/ou dioxyde de carbone, selon l'heure de la journée). Lors d'une explosion, l'aérarium fait éclater les feuilles (**Boudouresque et al., 2006**).

II.1.7.7. L'aquaculture côtière :

Des études ont montré que les fermes piscicoles, quand elles sont situées à proximité d'un herbier à *Posidonia oceanica*, ont un impact fort sur celui-ci : la teneur en matière organique et en azote du sédiment, la teneur en phosphore de l'eau interstitielle et en phosphore total du sédiment augmentent au fur et à mesure que l'on s'approche du site de la ferme piscicole, avec pour conséquence la diminution de la vitalité de l'herbier : diminution de la densité des faisceaux et baisse de la production primaire de la plante (**Cancemi et al., 2000**).

II.1.7.8. La compétition avec des espèces introduites :

Constitue un problème dont l'importance s'accroît actuellement. Par exemple, *Caulerpa taxifolia* qui a été accidentellement introduite en méditerranée est en mesure de coloniser

presque tous les types de substrats, en particulier la “matte morte” et les prairies à *Posidonia oceanica* (**Boudouresque et al., 1995c**).

II.1.7.9. Le surpâturage :

Les populations de l'oursin *Paracentrotus lividus* sont contrôlées par des prédateurs. La surpêche de ces derniers est une des causes de l'explosion des populations d'oursins ; une autre cause est la pollution de type urbain, qui favorise les oursins (**Harmelin et al., 1981 ; Ruiz-Fernández, 2000**). Enfin, 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-Fernández, 2000**). Il en résulte donc un surpâturage des végétaux benthiques.

II.1.8. Mesures de protection :

- La mise en place d'Aires Marines Protégées, c'est-à-dire la protection et la conservation des herbiers à *P. oceanica* ;
- La restriction ou l'interdiction de certaines techniques de pêche particulièrement destructrices pour les herbiers à *Posidonia oceanica* (**Ramos-Esplá et al., 1993**) ;
- L'obligation de procéder à une étude d'impact, préalablement à toute demande d'autorisation d'un projet qui pourrait porter atteinte à l'environnement ;
- La réimplantation de *posidonia oceanica* afin de compenser les dommages environnementaux ;
- traiter les rejets urbains et industriels avant de les jeter en mer ;
- lutter contre l'introduction d'espèces invasives par la mise en place des réseaux de surveillance de celles-ci.

Matériels & Méthodes

I. Présentation de la baie de Bou-Ismaïl :

I.1. Caractéristiques physiques de la baie de Bou-Ismaïl :

La baie de Bou-Ismaïl anciennement appelée Castiglione est l'une des plus importantes baies de la côte algérienne.

I.1.1. Situation géographique :

La baie de Bou-Ismaïl est située à l'ouest d'Alger entre 2°24' E et 2°54' E avec un linéaire de plus 60Km et une ouverture de l'ordre de 48Km, couvrant une surface de 350Km², cette baie est orientée du Sud-Est au Nord-Est, elle est délimitée par le cap de mont Chenoua à l'Ouest, Ras-Acrata à l'Est, la plaine de la Mitidja au Sud et la Méditerranée Occidentale au nord (**Zeghdoudi, 2006**).



Figure 2.1 : Localisation géographique de la baie de Bou-Ismaïl (Google Earth, 2012).

I.1.2. Topographie de la baie :

Le plateau continental 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 7 milles. Ainsi la surface du plateau continental de la baie de Bou-Ismaïl est de 509 Km² (**Chavance et Girardin, 1986, in Zeghdoudi, 2006**). Le plateau continental est caractérisé par une faible déclinaison de l'ordre 1% (**Asso, 1982, in Zeghdoudi, 2006**).

I.1.3. Hydrographie :

Les principaux oueds qui déversent dans la baie de Bou-Ismaïl sont respectivement : Oued Mazafran, Oued Nador et Oued Beni-Messous (**Zeghdoudi, 2006**).

I.1.4. Sédimentologie :

L'analyse des sédiments dans la baie de Bou-Ismaïl a permis de mettre en évidence la grande diversité sur le plan sédimentaire des fonds de cette baie, neuf faciès ont été identifiés : les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures et enfin le faciès rocheux (**Djerad, 2010**).

I.2. Principales caractéristiques des facteurs du milieu :

I.2.1. Température :

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. La température des eaux superficielles de la baie fluctue en fonction des échanges atmosphère-mer, elle est de l'ordre de 21° à 27°C en moyenne (**Lalami-Taleb, 1970**). Par rapport aux maxima de la température superficielle d'août à octobre et les minima de la température superficielle de février à mars. Les eaux profondes, resteraient relativement stables (**Mouhoub, 1986**). Une homothermie est remarquée en toutes saisons et la température est d'environ 13°C à des profondeurs supérieures à 100 m (**Lalami-Taleb, 1970**).

I.2.2. Salinité :

Du point de vue hyalin, une certaine homogénéité des eaux est notée au niveau de la baie de Bou-Ismaïl. La salinité varie de 0,1‰ à 0,2‰ entre la surface et le fond (**Lalami-Taleb, 1970**) mais décroît à l'embouchure des oueds Mazafran et Nador pour atteindre 36‰.

I.3. Les facteurs hydrodynamiques :

I.3.1. Les vents :

Le vent est une des forces physiques régissant les courants et les houles. La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une périodicité des vents qui se traduit par une prédominance des vents d'Ouest en hiver et printemps induisant des houles de grandes amplitudes et des vents de l'Est en été et début automne avec de faibles amplitudes (**Asso, 1982, in Tarmoul, 2010**).

Les observations fournies par la station météorologique de Bou-Ismaïl, désignent deux directions distinctes des vents au large de la baie aux quelles est exposée :

- Vents Nord-Est en été (**Braik ; 1989 in Aouidad, 1997**).
- Vents Nord-Nord-Ouest en hiver (**Braik ; 1989 in Aouidad, 1997**).

I.3.2. Les houles :

Les houles dominantes dans la baie de Bou-Ismaïl sont de direction Ouest Nord-Ouest et Nord-Est. En hiver les houles les plus importantes sont d'origine Ouest et Nord-Ouest avec des amplitudes de 2 à 2,5m (**Kadari-Meziane, 1994 in Aouidad, 1997**).

En été les directions sont Est et Nord-Est avec des amplitudes généralement plus faible 0,5 à 1,5m (**Braik ; 1989 in Aouidad, 1997**).

I.3.3. Les courants :

Les courants sont d'origine atlantique, ils entrent par le détroit de Gibraltar, et se dirigent vers l'Est au large des côtes algériennes avec une vitesse variant entre 0,5 et 2,5 nœuds (**Djerad, 2010**).

II. Etat et sources de pollution :

La baie de Bou-Ismaïl est une zone à vocation touristique et agricole qui connaît une dégradation remarquable et régulière de son milieu marin.

Le développement démographique, économique, et touristique ainsi que l'extension de l'urbanisation, de l'agriculture, de l'industrie, les rejets des eaux usées chargées d'impuretés, les huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds ont augmenté de façon considérable la pollution et ses différentes formes dans cette zone.

Les plus importantes sources de pollutions dans cette région sont:

- Base centrale logistique de Beni Mered (rejet de cyanure, nickel et cuivre) ;
- Office National des Aliments de Bétails d'Attatba (ONAB) (Eaux usées chargées d'éléments chimiques);
- Unités de tissage ;
- Finissage et teinturerie (produits chimiques tels que les colorants à base de métaux) ;
- Production de céramiques et poteries ;
- Les unités d'imprimerie (déversement des encres avec les eaux domestiques) ;
- Les unités de métallurgie (chutes d'Aluminium et poussières de Fer) ;
- Fabrication de boîtes, gobelets, emballage de différentes dimensions (TONIC EMBALLAGE) (rejet d'eaux usées domestiques, chutes de cartons, papiers, Colorants, et matières plastiques) ;
- Les stations de dessalement(eau très salée et acide).

Les principales industries dans la région de Bou-Ismaïl (**Chambre de commerce de la wilaya de Tipaza, 1991 in Haddouche, 2003 et Djerad, 2010**) :(voir annexe 2).

II. Description et choix des zones d'étude :

Nos prélèvements concernent la limite supérieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* qui est le témoin le plus important sur l'impact direct de la pollution côtière, par conséquent le choix des zones de prélèvement se fait de façon à réunir les critères suivants :

Présence de l'herbier, facilité d'accès, sources de pollution (rejets d'eaux usées de toutes origines), **sédimentologie** (sables fins à moyens), **distribution de *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816)** (il se nourrit d'algues et de Posidonie).

De nombreux autres critères sont pris en considération, principalement l'état actuel de la pollution.

Les surfaces des fonds meubles recouverts de *Posidonia oceanica* qui font l'objet de notre échantillonnage sont :

* **La plage de la thalassothérapie** (sidi-Fredj) : Un site caractérisé par :

- Présence confirmée avec cartographie de l'herbier (**Lamouti, 2006**);
- Herbier clairsemé à faible profondeur (0,5 m) ;
- Sédiment Sableux Biogène ;
- Distribution de *Paracentrotus lividus*, très commun sur les prairies de Posidonies ;
- Présence d'un rejet principal qui déverse directement à la mer ;
- Présence de *Caulerpa racemosa* (espèce invasive).

* **partie extérieure du port de Tipaza** : caractérisé par :

- Présence de l'herbier ;
- Deux rejets principaux qui déversent dans la zone ;
- Moyenne turbidité ;
- Sable moyen ;
- Présence d'un port à côté de la plage ;
- Abondance de la matte morte.

* **Front de la mer (la ville de Bou-Ismaïl)** : un site caractérisé par :

- trois rejets qui déversent directement à la mer ;
- Régression de la limite supérieure de la posidonie (des touffes à partir de 6m de profondeur) ;
- Forte turbidité ;
- Pollution chronique et diversifié ;
- installation d'une plateforme solide sur le sable au niveau de la plage à cause des chutes de carton ;
- distribution de *Paracentrotus lividus* sur la matte morte de la posidonie ;
- sable fin ;
- plusieurs couleurs apparentes à la surface de la mer (blanc, violet, bleu, rouge).

IV. Présentation de la plage d'El Marsa (baie de Zemmouri) :

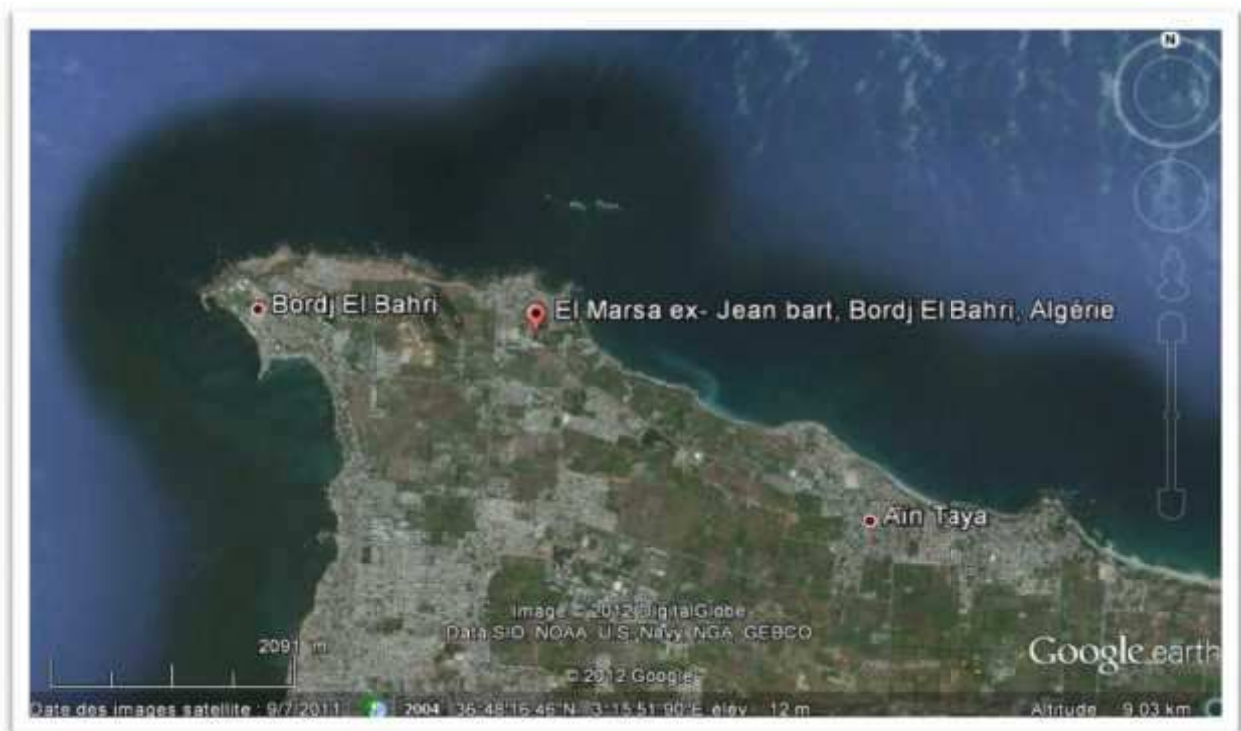


Figure 2.2 : Localisation géographique de la plage d'El Marsa (Google Earth, 2012).

Située à 25 km à l'Est de la capitale, El-Marsa (ex Jean Bart) se trouve sur la plaine du littoral Est d'Alger, (36 ° 48 ' de latitude Nord et 3° 15' de longitude Est). Elle est limitée à l'ouest et au sud par Ain Taya et Bordj El Bahri, à l'Est et au Nord par Tamentfoust et la Mer méditerranée⁽¹⁾.

V. Prélèvements et échantillonnages :

Cette étude porte sur l'évaluation de la contamination par les éléments en traces métalliques « ETM » dans l'écosystème à *Posidonia oceanica* qui répond à deux phénomènes importants : la bioaccumulation et la bioamplification.

Bioaccumulation ou bioconcentration: accumulation progressive d'un polluant dans un même organisme suite à des expositions répétées (**Beauchamp J., 2003**)⁽²⁾.

Bioamplification: accumulation progressive de polluant au sein de la chaîne trophique (**Beauchamp J., 2003**)⁽³⁾.

Pour cela plusieurs prélèvements sont effectués au niveau des trois compartiments de cet écosystème (posidonie, oursin et sédiment), plus le prélèvement d'eau pour le dosage des sels nutritifs :

(1) : <http://www.appl.dz/spip.php?article67>

(2),(3): <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/pol-litt/pol-litt.htm>

V.1. Prélèvements de posidonies :

Les prélèvements ont été effectués en plongée de manière concomitante avec ceux des oursins. Quinze rhizome orthotropes de posidonie, au minimum sont prélevés (nombre nécessaire pour caractériser une station) séparés les uns des autres par une distance d'un mètre à peu près et mis dans des sacs en plastique. Les échantillons sont congelés par trois lots de cinq rhizomes dont il est préalablement retirer les feuilles à fin de les lyophiliser (**Kantin et Pergent-Martini, 2007**).

V.2. Prélèvements d'oursins :

Quinze oursins communs (*paracentrotus lividus*) sont récoltés directement sur l'herbier, leur diamètre est de 5 à 6cm, mis dans un sachet en plastique (il est préférable de les mettre dans des boites en plastiques). Les gonades (femelles) d'oursins sont récupérées soigneusement au laboratoire dans des piluliers stérilisés en plastique et congelées jusqu'à leur lyophilisation.

V.3. Prélèvements de sédiments :

Une fraction de sédiment est prélevée à proximité de l'endroit où les rhizomes sont collectés. Les sédiments prélevés sont conservés et congelés (**Kantin et Pergent-Martini, 2007**).

V.4. Prélèvements d'eau :

Dans chaque zone d'étude trois prélèvements sont effectués pour le dosage des sels nutritifs: le premier prélèvement s'effectue au bord de la côte, le deuxième se situe environ 50 m à partir du trait de côte et superposé à l'herbier, le troisième est réalisé au large.

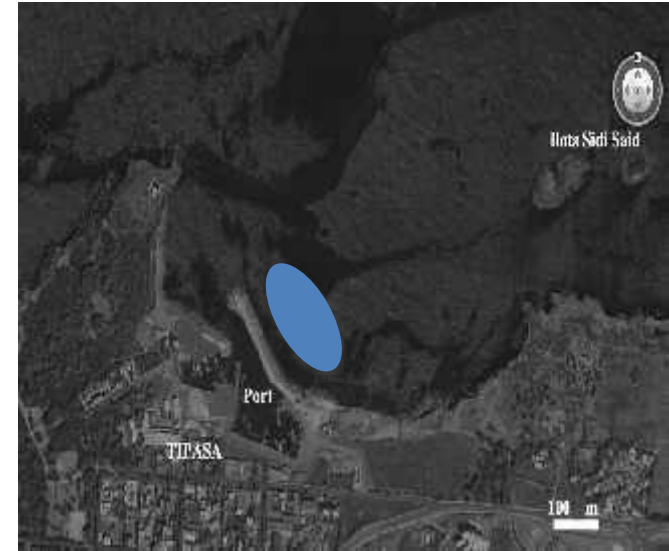
Les zones et stations retenues sont regroupées dans **l'annexe 3**, et leurs localisations est mise en valeur par les figures suivantes:



**La plage de la
Thalassothérapie
(Sidi fredj).**



**La plage de Tipaza
(près du port).**



**Front de mer de la
ville de Bou-Ismaïl .**



**Prélevements et
Analyses.**

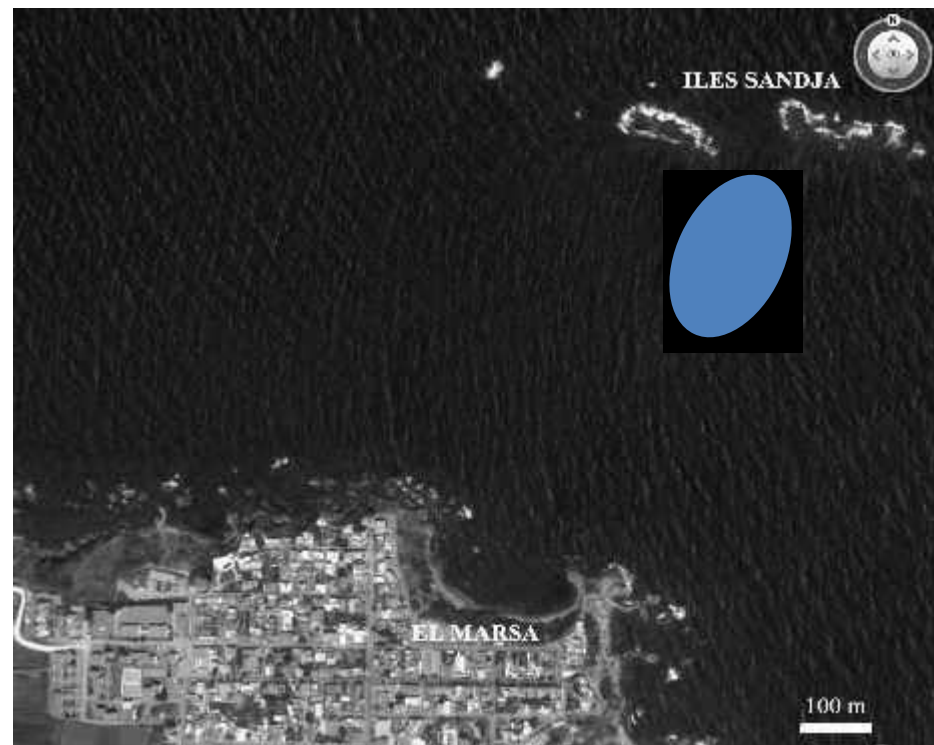


Zone de prélèvement de sédiment, de posidonie
et d'oursin pour le dosage des métaux lourds

Et prélèvement d'eau pour le dosage des sels
nutritifs, des MES et de la Matière organique.



Figure2.3 : zone de prélèvement dans les trois zones d'études de la baie de Bou-Ismaïl.



Zone de prélèvement de sédiment, de posidonie
et d'oursin pour le dosage des métaux lourds

Et prélèvement d'eau pour le dosage des sels
nutritifs, des MES et de la Matière organique.

Figure2.4 : zone de prélèvement à El-Marsa (baie de Zemmouri).

VI. Protocole d'analyse :

VI.1. Dosage des sels nutritifs :

VI.1.1. Principe de dosage des sels nutritifs dans l'eau :

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (ammonium, nitrites, nitrates, ortho-phosphates et silicium dissous) est basée sur une réaction de coloration. En effet, ces sels réagissent dans certaines conditions (température, pH, présence de catalyseurs, ...) avec des réactifs spécifiques de chaque sel pour donner une coloration absorbant la lumière à une certaine longueur d'onde ().

L'absorption de l'énergie lumineuse dépend de l'intensité de la coloration. Cette dernière est d'autant plus importante que la solution est concentrée en sel dosé.

La quantité de lumière absorbée par la solution, appelée absorbance (A) ou densité optique (D.O), obéit à la loi de BEER LAMBERT qui est exprimée par l'expression suivante :

$$A = D.O = \log(I_0/I) = \epsilon \cdot l \cdot C$$

Avec :

I_0 et I : sont respectivement l'intensité lumineuse incidente et émergente du milieu absorbant.

ϵ : le coefficient d'extinction molaire (varie en fonction de la température et de la longueur d'onde).

l : la longueur du milieu traversée exprimée en cm.

C : concentration de la solution absorbante exprimée en mol/l.

A : absorbance de la solution.

$D.O$: densité optique de la solution.

VI.1.2. Technique d'analyse :

Le dosage des sels nutritifs se fait par colorimétrie à flux continu sur chaîne automatisée « **Auto-Analyzer SAN PLUS** » selon les protocoles définis par le fabricant (**Skalar, 1998**).

Le fonctionnement de l'appareil repose sur un principe dynamique simple, l'analyseur automatique est composé de 4 éléments :

*un échantillonneur qui permet d'aspirer les échantillons ;

*un modèle Holder où se déroule le développement des complexes colorés ;

*un réacteur contrôle qui permet de contrôler la température et la salinité ;

*une interface qui donne le signal à l'échantillonneur.

Un système de pompe crée un flux continu entre les différents éléments de la chaîne, flux qui entraîne automatiquement l'échantillon au travers du système pour son analyse.

a) Dosage de l'ammonium :

Le dosage de l'ammonium (NH_4^+) est réalisé suivant la méthode de **(Koroleff, 1969) in (Aminot et Chaussepied, 1983)**. 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) donne lieu à la formation d'un bleu d'indophénol. La réaction est catalysée par le nitroprussiate de sodium. Le maximum d'absorption se fait sur une longueur d'onde de 630 nm **(Skalar, 1996 in Haddouche, 2003) : (voir annexe 4)**.

b) Dosage des nitrites :

Le dosage des nitrites est réalisé selon la méthode de GRIESS qui repose sur la formation d'un complexe coloré par réaction de diazotation entre l'ion nitrite, une amine primaire aromatique, la sulfanilamide et une autre amine aromatique, le dihydrochlorure de N-(1-naphtyl)-éthylène diamine (NED). En effet, il s'agit de la réaction de GRIESS, réaction de diazotation spécifique de l'acide nitreux, qui se produit en deux étapes :

L'ion réagit avec la sulfanilamide ($\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$) pour former un composé diazoïque (sel de diazonium) qui se combine ensuite en milieu acide ($\text{PH} < 2$) avec le NED pour former un composé rosé dont l'absorbance à 540nm **(Benschneider et Robinson, 1952 ; et Skalar, 1998 in Guendouzi, 2011) : (voir annexe 5)**.

c) Dosage des nitrates :

La méthode est basée sur la réduction des nitrates (NO_3^-) en nitrites (NO_2^-) par passage de l'échantillon sur une colonne de cadmium traité au cuivre (WOOD et al, 1967). Les nitrites (en réalité NO_2^- initiaux + NO_3^- réduits) seront ensuite dosés par colorimétrie selon la méthode précédemment décrite. Les concentrations des nitrates sont obtenues après la soustraction des nitrites déterminés, antérieurement, avant le passage des échantillons dans la colonne réductrice **(Skalar, 1996 in Haddouche, 2003) : (voir annexe 5)**.

d) Dosage des ortho-phosphates :

Le principe du dosage des orthophosphates repose sur la réaction de l'anion ortho-phosphate (PO_4^{3-}) avec l'ion molybdate d'ammonium et l'ion oxydate de potassium (antimoine) en milieu acide pour former l'acide phosphomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique en bleu de molybdène dont l'absorbance à 880nm est proportionnelle à la concentration de l'ion ortho-phosphate présent dans un échantillon **(Murphy et Riley, 1962 in Guendouzi, 2011) : (voir annexe 6)**.

e) Dosage du silicium dissous :

Cette mesure est basée sur la formation d'un complexe silicomolybdique par la réaction des silicates avec le molybdates d'ammonium en milieu acide.

Ce complexe sera par la suite réduit par l'acide ascorbique en donnant naissance à un composé coloré en bleu absorbant à 810 nm (Mullin et Riley, 1955 in Haddouche, 2003). L'acide oxalique est ajouté pour éviter les interférences des phosphates (voir annexe 7).

VI.1.3. Etalonnage, mesure et calcul :

Pour le dosage de chaque sel, l'étalonnage nécessite la préparation d'une solution mère et une solution fille. La neutralisation est effectuée lorsque la solution fille est prête. Cette dernière consiste à préparer d'autres solutions filles plus diluées (standards) qui constitueront une gamme étalon (annexe 8).

Le signal d'absorption mesuré continuellement par le spectrophotomètre est traduit sous forme d'un pic sur un ordinateur interfacé. La hauteur du pic est proportionnelle à la concentration du sel dans l'échantillon. La mesure de standards de concentrations connues permet de calculer une droite de régression ($Y=aX+b$) qui est utilisée pour déterminer les concentrations inconnues. Les pics sont mesurés par rapport à une ligne de base constituée d'eau de mer oligotrophe (épuisée de nutriments).

Le logiciel intégré de l'appareil utilisé réalise automatiquement tous les calculs nécessaires pour nous permettre d'obtenir les droites d'étalonnage ci-après.

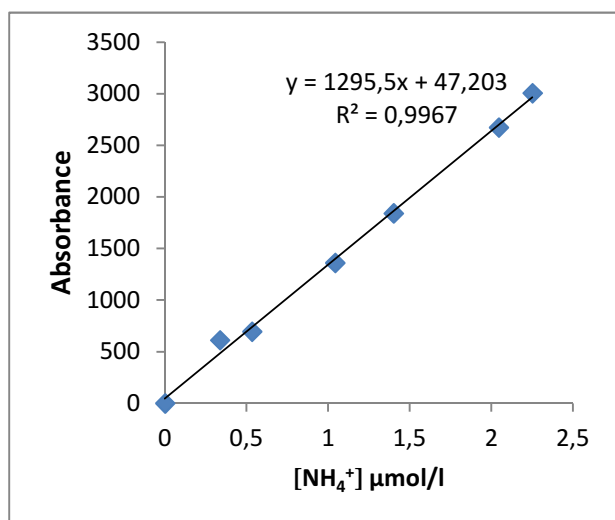


Figure 2.5 : droite d'étalonnage de l'ammonium

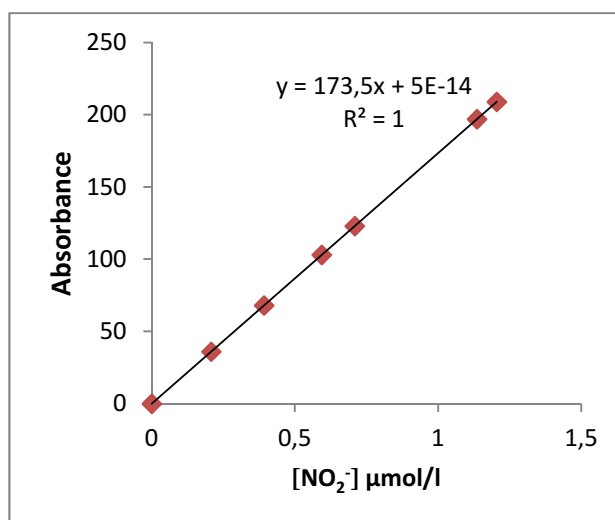


Figure 2.6 : droite d'étalonnage de Nitrite

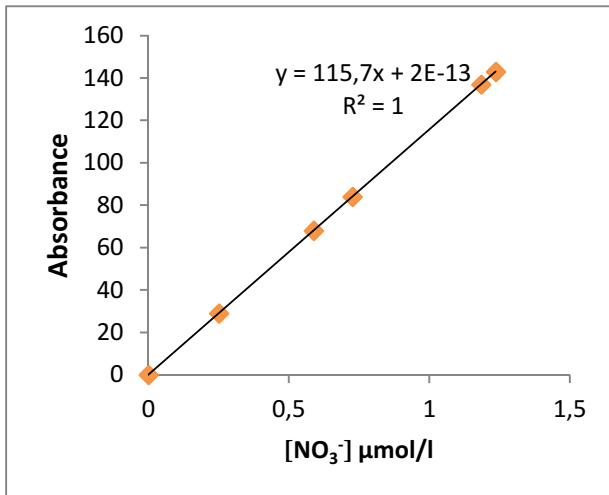


Figure 2.7 : droite d'étalonnage de Nitrate.

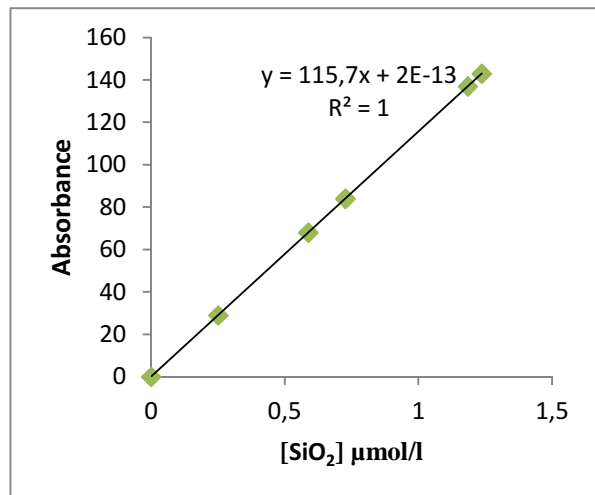


Figure 2.8 : droite d'étalonnage du silicium dissous.

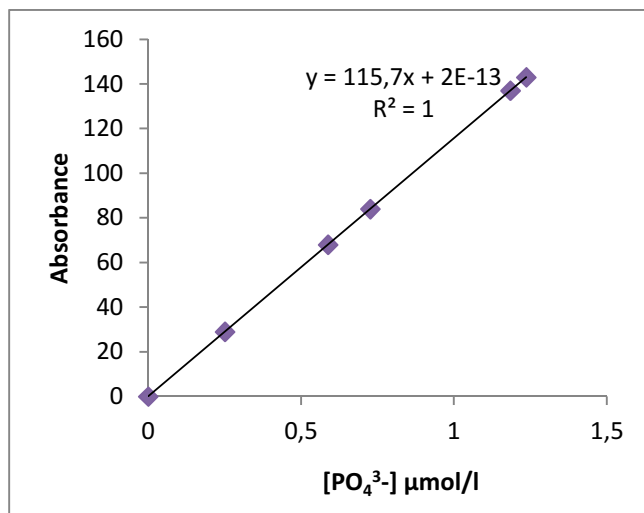


Figure 2.9 : droite d'étalonnage d'ortho-phosphate.

VI.2. Détermination du poids sestonique (MES) :

Le poids sestonique est le poids du matériel particulaire en suspension dans les eaux (matériel détritique et vivant, organique et minéral). La filtration s'effectue sur des filtres Whatman GF/C (porosité 0,45 microns) de 45 mm de diamètre.

Le filtre est séché et pesé avant et après filtration, à l'aide d'une balance (DENVEER INSTRUMENT®.M-220D).

La différence de poids entre les deux pesées permet de connaître la masse sèche totale de MES dans le volume d'eau correspondant (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Le calcul de MES s'effectue selon la loi suivante :

$$[\text{MES}] \text{ mg } \cdot \text{l}^{-1} = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

Avec:

MES : le poids de la matière en suspension dans un volume d'eau (mg /l).

P1 : le poids de filtre avant filtration (mg).

P2 : le poids de filtre après filtration (mg).

V : le volume d'eau filtré (l).

VI.3. Détermination de la matière organique (MO) :

Les filtres qui sont utilisés pour la matière en suspension, sont pesés avec une précision dans des creusets en porcelaine soit P1. Après avoir passés au four à moufle (CARBOLITE CWF 1200 ®) à 450°C pendant deux heures, les creusets contenant les filtres sont pesés ; soit P2. La différence de ces deux poids (P1, P2) nous donne celui de la matière organique brûlée (**Aminot et Chaussepied, 1983**) :

$$\% [\text{MO}] = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} * 100$$

Avec :

P1 : le poids du creuset et du filtre avant calcination (mg).

P2 : le poids du creuset et du filtre après calcination (mg).

VI.4. Dosage des métaux lourds :

VI.4.1. 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.

Lyophilisation : ou séchage à froid, est une technique permettant la déshydratation de l'échantillon congelé par sublimation à basse température (-55°C) et sous vide (0,1 bar) pendant 48 heures. On évite la déshydratation à l'étuve car elle entraîne une perte des métaux lourds les plus volatils en particulier le mercure.

Broyage: Les échantillons lyophilisés sont broyés à l'aide d'un broyeur électrique.

Homogénéisation : elle se fait dans le but d'uniformiser la répartition des particules sédimentaires au sein de l'échantillon. Le lyophilisat est récupéré et homogénéisé pendant 48 heures.

Minéralisation : elle est réalisée dans des godets en téflon (qui résistent aux acides et supportent des températures jusqu'à 250 °C), et tubes en téflon pour le mercure. Elle se fait en deux étapes :

Première étape : Minéralisation à blanc : elle sert à nettoyer le matériel qui sera utilisé pour avoir des résultats fiables. Dans chaque godet on met 5ml d'acide nitrique HNO_3^- (69%), on ferme les godets de façon étanche à l'aide de deux pinces pour éviter tout déversement du liquide, puis on les pose sur une plaque chauffante à 120°C pendant 2h30.

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

Deuxième étape : Minéralisation des échantillons :

*Étiqueter les godets et les tubes (sans oublier les blancs) ;

*A l'aide d'une balance de précision (Sartorius, MC-210S), peser 0.5g de chaque échantillons et le mettre dans le godet(ou tube) qui lui convient ;

Mercure :

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

* Poser les tubes sur une plaque chauffante (Ceran 500, 22SR) pendant 3h à 90°C.

*Laisser les tubes refroidir à une température ambiante avant ouverture ;

*Préparer une solution de bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) : dissoudre 5g de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (poudre) dans 50ml d'eau distillée ;

*Mettre dans un sarstedt un fond d'eau distillée, puis l'échantillon, ajouter 1ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, et diluer jusqu'au trait de jauge (50ml).

*Laisser décanter avant analyse.

Plomb et Zinc:

-Pour le matériel biologique : Ajouter dans chaque godet 5ml d'acide nitrique (HNO_3 :69% pour analyse, ISO, Merck) ;

-Pour le sédiment : Ajouter 6ml d'eau régale (4.5ml d' HCl : 36.5-38%, plus 1.5ml d' HNO_3 :69%) ;

* Poser les godets sur une plaque chauffante (Ceran 500, 22SR) pendant 2h30 à 120°C ;

*Laisser les godets refroidir à une température ambiante avant ouverture ;

*Mettre dans un sarstedt un fond d'eau distillée, puis l'échantillon, et diluer jusqu'au trait de jauge (50ml).

*Laisser décanter avant analyse.

Remarques importantes pour toutes les minéralisations :

- Des blancs de réactifs doivent être préparés pour chaque série d'analyse. Ils sont préparés de la même manière que les échantillons, excepté qu'aucun échantillon n'est ajouté dans les flacons de digestion.
- Les standards pour la courbe de calibration doivent être préparés en utilisant les mêmes réactifs que pour les échantillons.
- Les échantillons prêts peuvent être conservés plusieurs jours au réfrigérateur (+4°C).

VI.4.2.L'analyse des échantillons par la SAA :

a) Définition :

La spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) est une méthode analytique permettant de déterminer la concentration d'une substance par l'absorption d'une radiation spécifique à l'élément chimique contenu dans la substance en l'occurrence ici, le mercure, le plomb et le zinc et dont le maximum d'absorption se fait respectivement aux longueurs d'ondes 253.7, 217.0 et 213.9nm.

En effet, lorsque les atomes d'un élément sont excités, leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission de photons, de fréquence F bien définie et propre à cet élément qui, dispersé dans un générateur d'atomes possède également la propriété d'absorber tout rayonnement de même fréquence F. Il en résulte une absorption du rayonnement incident liée à la concentration de l'élément considéré suivant la loi de Beer-Lambert :

$$\text{Log} \frac{I_0}{I} = kLC$$

Où :

I₀ : Intensité de la radiation incidente ;

I : Intensité de la radiation après la traversée de la flamme ou cellule de quartz ;

k : Constante caractéristique de l'échantillon ;

L : Longueur du chemin optique ;

C : Concentration dans la solution de l'élément considéré ;

L'appareil utilisé est un Perkin Elmer® AAnalyst 700 constitué d'un générateur de photons, destiné à fournir un flux de photons d'intensité constante dans le temps

et de fréquence bien définie correspondant à l'élément à doser. À savoir, des lampes à cathode creuse constituée du métal (ou des métaux) à doser qui est volatilisé et excité par décharge cathodique dans une atmosphère gazeuse (néon ou argon) à très basse pression ; d'un générateur d'atomes ; d'un monochromateur à double faisceau, destiné à la sélection de la longueur d'onde et dont l'un des faisceaux atteint directement le récepteur sans traverser la flamme, permet d'éliminer les fluctuations de la source ; et d'un récepteur constitué par un photomultiplicateur, associé à un amplificateur linéaire et logarithmique.

Il est équipé d'un générateur d'hydrures, d'un four à graphite et un système par flamme avec injecteur automatique (AS 800 Perkin Elmer) et est piloté par le logiciel Winlab 32 pour absorption atomique qui permet de très hautes performances d'analyse.

Pour le mercure, les échantillons minéralisés sont analysés avec le système d'hydrures (FIAS 400, Perkin Elmer®) équipé d'un dispositif d'injection (passeur) automatique de l'échantillon (AS-91, Perkin Elmer®) et une cellule de quartz. Une solution "carrier" d' HNO_3 à 5% et une solution réductrice de SnCl_2 sont utilisées.

Pour les autres métaux étudiés, les échantillons minéralisés sont analysés avec le système par flammes chaudes nécessitant un mélange de gaz air/acétylène (C_2H_2) et un brûleur de type laminaire muni d'une fente longitudinale de 15 cm.

VI.4.3. Etalonnage, mesure et calcul :

La méthode utilisée est celle des standards seuls. Les gammes étalons (**voir annexe 10**) sont préparées quelque peu avant l'analyse à partir de solutions mères chacune à 1000 mg/l qui peuvent être conservées une année. Les droites d'étalonnage sont données ci-après.

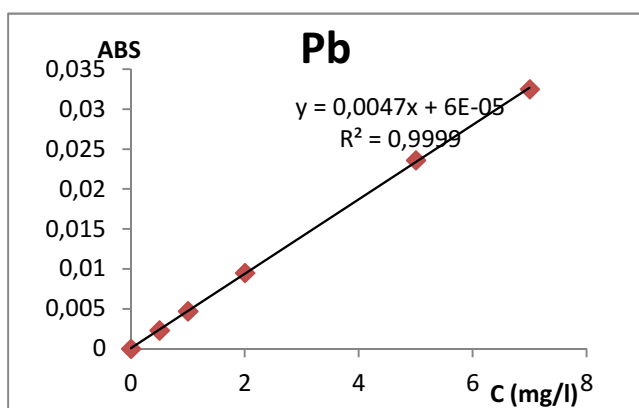


Figure 2.10 : droite d'étalonnage de Plomb.

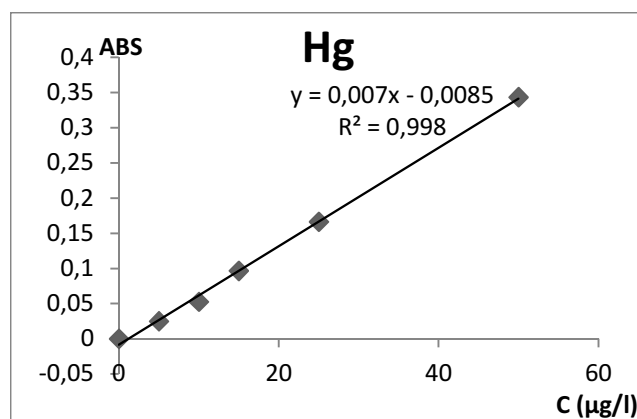


Figure 2.11 : droite d'étalonnage de Mercure.

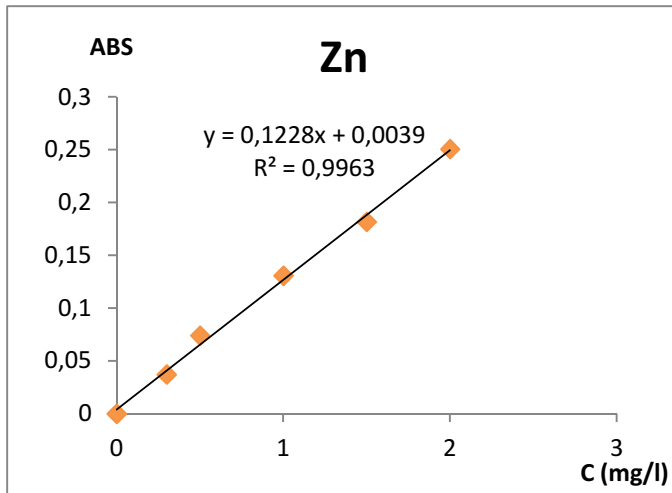


Figure 2.12 : droite d'étalonnage de Zinc.

VI.4.4. Indice de contamination (IC) :

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

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

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

Tableau 2.1 : Valeurs de l'indice de contamination (Alzieu et al., 1999)

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

VI.4.5. Relation entre le mercure et l'état de l'herbier de posidonie :

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

Tableau 2.2 : Classification des herbier de *Posidonia oceanica* en fonction de l'état de traces de contamination métallique $\mu\text{g/g}$ P.S. (Pergent-Martini et al. , 2005)

Hg ($\mu\text{g/g}$)	Qualité de l'herbier
< 0,048	Haute
0,048 – 0,096	Bonne
0,097 – 0,144	Modérée
0,145 – 0,192	Pauvre
> 0,193	Mauvaise

VI.4.6. Bioconcentrations métallique :

On définit le facteur biosédiment par le rapport entre la concentration de métal dans l'organisme et celle dans le sédiment (Lau et al., 1998), il est calculé pour évaluer l'efficacité de la bioaccumulation des métaux par *Posidonia oceanica* et *Paracentrotus lividus*.

Résultats & Discussions

I. Les sels nutritifs :

Les sels nutritifs représentent la base du fonctionnement biologique des écosystèmes aquatiques (Oudot, 1983).

Les résultats d'analyse des sels nutritifs sont représentés dans l'**annexe 11**.

Le tableau suivant représente les valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des sels nutritifs dans les eaux de surface des quatre zones étudiées.

Tableau 3.1 : valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des sels nutritifs dans les eaux de surface des quatre zones étudiées.

Zone d'étude	valeur	NH ₄ ⁺ (μmol/l)	NO ₂ ⁻ (μmol/l)	NO ₃ ⁻ (μmol/l)	PO ₄ ³⁻ (μmol/l)	SiO ₂ (μmol/l)
THALASSO (Sidi Fredj)	Maximum	0,2736	0,0158	0,0371	0,2476	0,4807
	Minimum	0,0922	0,0098	0,0224	0,2228	0,3308
	Moyenne	0,1906	0,0118	0,0283	0,2366	0,3808
	Ecart-type	0,0916	0,0034	0,0078	0,0126	0,0865
TIPAZA	Maximum	2,4878	0,2751	0,7953	0,6392	7,2754
	Minimum	1,2562	0,0523	0,2198	0,0859	2,0460
	Moyenne	1,9808	0,1454	0,4129	0,3310	4,3437
	Ecart-type	0,6439	0,1158	0,3311	0,2820	2,6717
BOU- ISMAIL	Maximum	2,1478	0,9323	0,9019	0,6733	52,801
	Minimum	1,1683	0,0294	0,0775	0,0568	0,3750
	Moyenne	1,7140	0,3918	0,3822	0,2640	18,964
	Ecart-type	0,4992	0,4770	0,4522	0,0727	29,351
El - Marsa	Maximum	0,1414	0,0138	0,0596	0,3507	0,4807
	Minimum	0,0707	0,0079	0,0283	0,2228	0,3308
	Moyenne	0,1086	0,0105	0,0453	0,2668	0,4080
	Ecart-type	0,0356	0,0030	0,0158	0,0727	0,075

I.1. L'ammonium (NH₄⁺) :

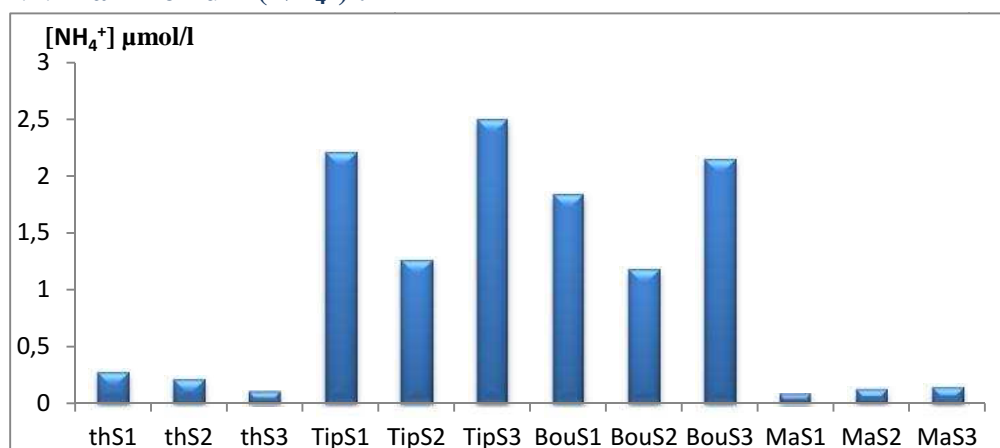


Figure 3.1 : Histogramme des concentrations en ammonium dans les quatre zones d'étude.

Dans la nature l'ammonium se trouve à des concentrations très faibles puisque il est utilisé par les algues, par contre dans une zone polluée les concentrations sont élevées de l'ordre de plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de $\mu\text{mol/l}$ (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Les concentrations en ammonium sont comprises entre 0,070 et 2,48 $\mu\text{mol/l}$, analogue à celles de **Haddouche (2003)** : [0,01 - 0,45] $\mu\text{mol/l}$, 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**).

I.2. Les nitrites (NO_2^-) :

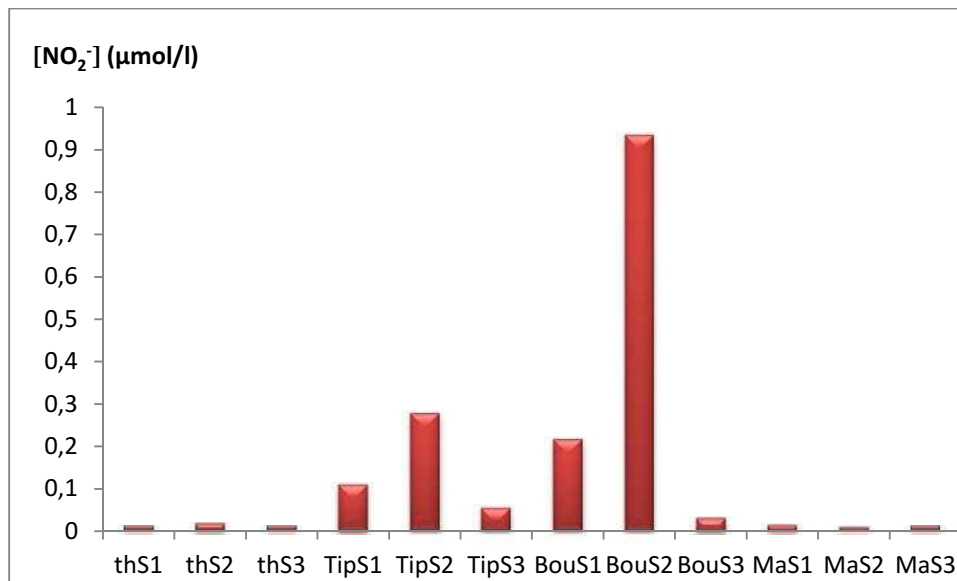


Figure 3.2 : Histogramme des concentrations en nitrite dans les quatre zones d'étude.

Les nitrites représentent la forme intermédiaire entre l'ammonium et les nitrates qui doit être trouvée à des faibles concentrations ($< 0,1\mu\text{mol/l}$) dans les sites de références (**Tarmoul, 2010**).

Les faibles concentrations en nitrites [0,007 – 0,932] $\mu\text{mol/l}$ sont analogues à celles de **Haddouche (2003)**: [0,0002-0,0075] $\mu\text{mol/l}$; et **Djerad (2010)** : [0,0004-0,5763] $\mu\text{mol/l}$. Ceci est expliqué par la régénération en nitrates par nitrosation et aussi par leur consommation par les micro-organismes pendant la croissance.

La valeur la plus élevée se trouve à Tipaza (à proximité du port), ceci est peut être expliqué soit par un apport d'eaux usées riches en nitrites ou à une oxydation de l'ammonium.

I.3. Les nitrates (NO_3^-):

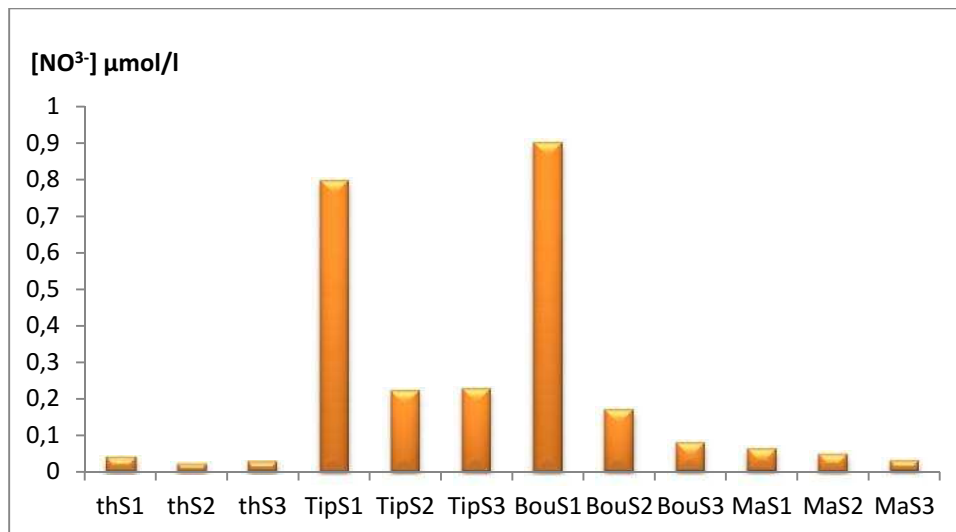


Figure 3.3 : Histogramme des concentrations en nitrates dans les quatre zones d'étude.

Les teneurs en nitrates dans l'ensemble des quatre zones étudiées, présentent des concentrations significativement faibles $[0,022 - 0,901]\mu\text{mol/l}$ qui sont proches à celles de **Haddouche (2003)** : $[0,01-0,27] \mu\text{mol/l}$ et **Djerad (2010)** : $[0,01-1,14] \mu\text{mol/l}$; ceci est dû à la floraison printanière et le développement du phytoplancton qui consomme les nitrates en cette saison.

Les valeurs les plus élevées et maximales sont rencontrées à la plage de Tipaza et le front de mer de Bou-Ismaïl, à proximité des rejets, ce qui ne peut être expliqué que par un apport d'eaux usées riches en nitrates et/ou une oxydation de l'ammonium dans ces sites.

I.4. Les ortho-phosphates (PO_4^{3-})

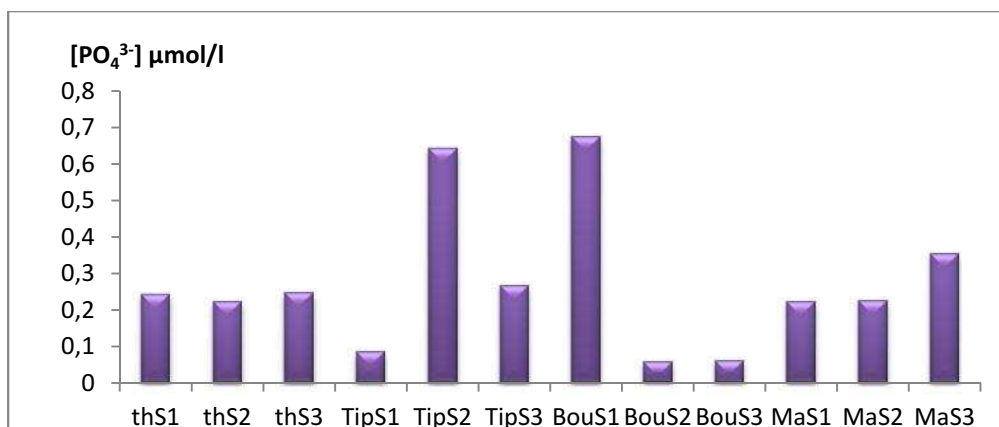


Figure 3.4 : Histogramme des concentrations en ortho-phosphates dans les quatre zones d'étude.

L'ion ortho-phosphate (PO_4^{3-}) joue un rôle prépondérant au sein du milieu marin car c'est lui que les végétaux utilisent pour leur croissance d'où son importance pour la photosynthèse.

A l'état normal les concentrations des ortho-phosphates varient entre 0 et $1\mu\text{mol/l}$ (**Aminot et Chaussepied 1983**).

Nos résultats sont à l'état normal $[0,056 - 0,673] \mu\text{mol/l}$, et analogues à ceux de **Haddouche (2003)** : $[0,09-0,21] \mu\text{mol/l}$, ceci est peut-être dû au non utilisation des produits à base des phosphates ou bien il n'y avait pas de rejets le jour des prélèvements.

I.5. Silicium dissout (SiO_2):

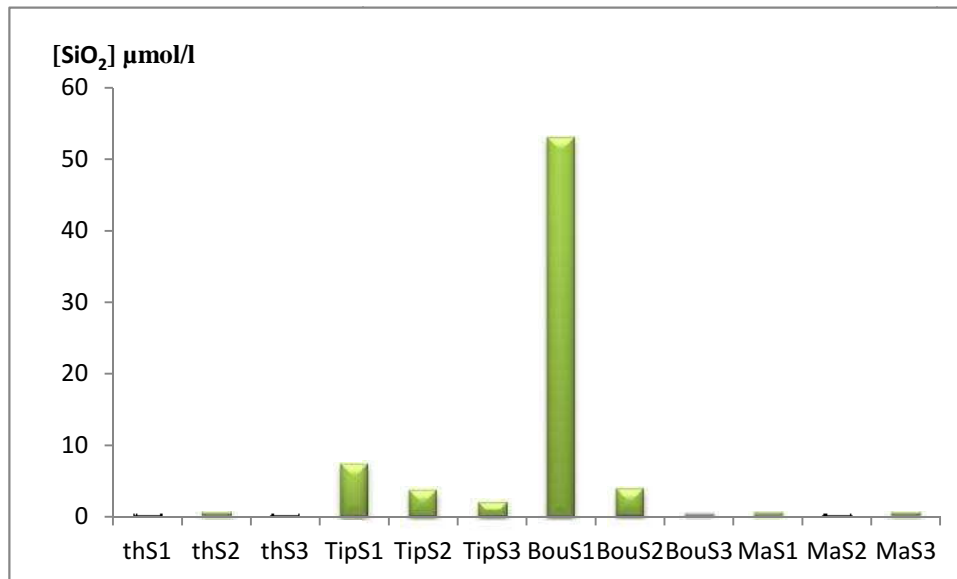


Figure 3.5 : Histogramme des concentrations en silicium dissout dans les quatre zones d'étude.

Les résultats d'analyse du silicium dissout SiO_2 $[0,330 - 52,80] \mu\text{mol/l}$ montrent qu'aux sources de pollution, dans le front de mer de Bou-Ismaïl, les concentrations atteignent des pics très importants jusqu'à $52,80\mu\text{mol/l}$ pour BouS1, et sont analogues à ceux de **Tarmoul (2010)** : $[0,56 - 159,14] \mu\text{mol/l}$, ce qui confirme l'activité des unités de production de céramiques et de poteries recensées dans la région.

Le reste des stations manifeste une distribution similaire à celle des nitrates et des phosphates qui dénote l'importance de l'assimilation des sels nutritifs pendant la saison de prélèvement.

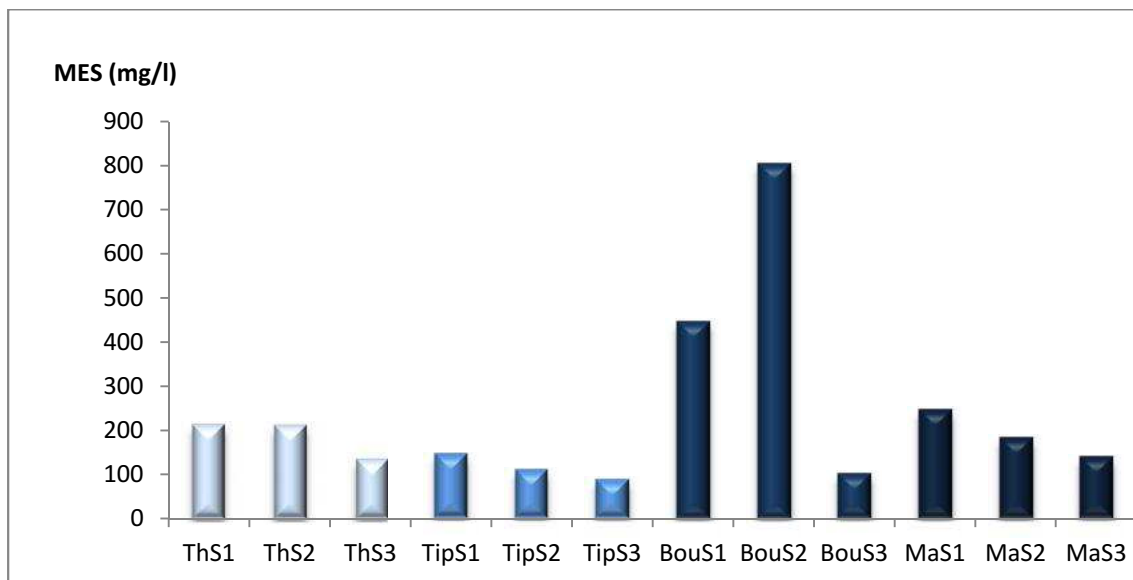
II. La matière en suspension :

Les résultats obtenus lors de mesure de MES dans les eaux de surface de nos zones d'études sont représentés dans **l'annexe 12**.

Les statistiques des résultats d'analyse de MES dans les eaux de surface des zones d'étude sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 3.2 : valeurs extrêmes et moyennes et l'écart type de MES dans les différentes zones d'étude.

Paramètres \ zones	MES (mg/l)			
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Maximum	213,53	143,26	804,23	246,48
Minimum	136,14	87,5	101,66	138,16
Moyenne	187,32	112,93	450,76	188,90
Ecart type	44,330	28,201	351,30	54,482

**Figure 3.6** : Histogramme des concentrations de MES (mg/l) dans les différentes zones d'étude.

Les matières en suspension (MES) sont importantes pour l'étude des milieux marins. Elles ont un rôle important dans la fixation des bactéries et l'adsorption des métaux, mais quand elles se trouvent en grande quantité, elles empêchent l'activité photosynthétique des végétaux, en réduisant la transparence des eaux, et peuvent en plus être un indice de pollution.

Les teneurs en MES sont très élevées dans les eaux de Bou-Ismaïl, avec un maximum de 804,23 mg/l, ceci pourrait être due à l'hydrodynamisme avec une remise en suspension des sédiments par les courants (Slawyk, 1980 in Haddouche, 2003), ces valeurs reflètent aussi l'impact des rejets sur cette zone ce qui laisse confirmer l'activité des unités industrielles recensées dans la région.

III. La matière organique :

Les résultats obtenus lors de mesure de MO dans les eaux de surface de nos zones d'études sont représentés dans l'**annexe 12**.

Les statistiques des résultats d'analyse de MO dans les eaux de surface des zones d'étude sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 3.3 : valeurs extrêmes et moyennes et l'écart type de matière organique dans les différentes zones d'étude.

Paramètres	Zone	Matière organique (%)			
		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Maximum		9	7,5	40	6
Minimum		3	5,42	5,49	2,55
Moyenne		6	5,735	18,09	4,35
Ecart type		4,242	0,445	19,01	1,72

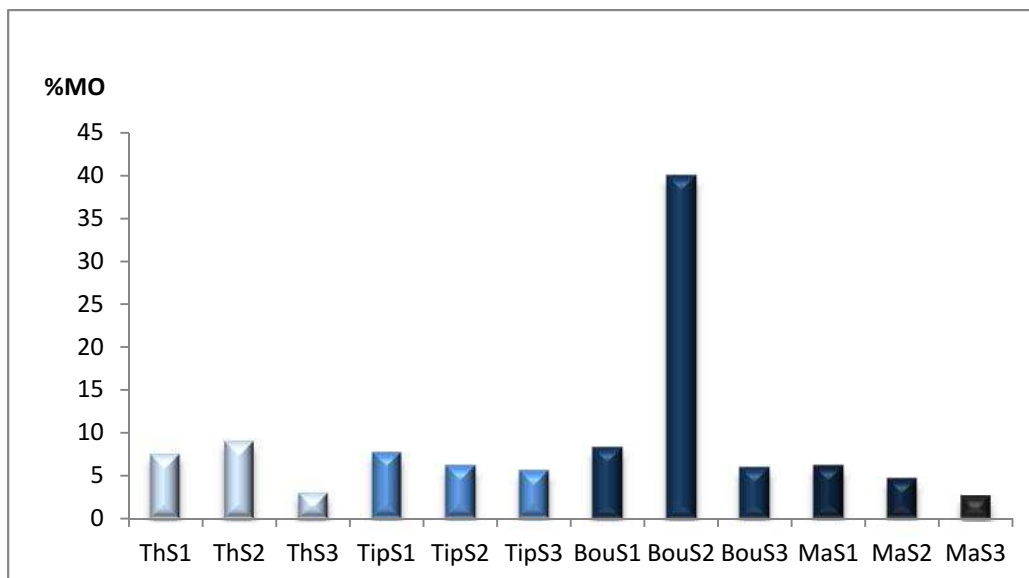


Figure 3.7 : Histogramme des concentrations de MO (%) dans les différentes zones d'étude.

Le matériel organique en suspension est souvent accumulé au sommet de la thermocline, là où l'activité bactérienne y règne et attaque la matière organique pour que cette dernière libère les sels nutritifs dans le milieu.

Les teneurs en matière organique sont élevées dans les eaux de Bou-Ismaïl, avec un maximum de 40 %, ceci est dû à l'impact des rejets sur cette zone (rejet des cartons qui sont à la base de cellulose).

IV. Les éléments en trace métallique (ETM) :

IV.1. Etat de contamination des sédiments :

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 3.4. : Valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des concentrations en ETM dans les sédiments superficiels marins des zones étudiées.

Zone d'étude	Valeur statistique	Hg ($\mu\text{g/g}$)	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)
THALASSO (Sidi Fredj)	Minimum	0,3217	6,05	7,17
	Maximum	0,6217	7,49	46,25
	Moyenne	0,5026	6,77	26,71
	Ecart type	0,1593	1,018	27,63
Tipaza	Minimum	0,311	14,58	37,71
	Maximum	0,3395	14,58	42,6
	Moyenne	0,3752	14,58	40,15
	Ecart type	0,0505	/	3,457
Front de mer (Bou-Ismaïl)	Minimum	0,2967	14,34	29,56
	Maximum	0,3395	14,34	42,6
	Moyenne	0,3181	14,34	36,08
	Ecart type	0,0302	/	9,22
El-Marsa (Ex Jean-Bart)	Minimum	0,2931	13,94	3,1
	Maximum	1,6647	13,94	3,1
	Moyenne	0,9789	13,94	3,1
	Ecart type	0,9698	/	/

La comparaison de nos résultats avec d'autres études nous permet de mieux connaître et évaluer l'état de pollution dans nos zones d'études.

Tableau 3.5 : comparaison des statistiques de concentrations maximales en ETM dans les sédiments, exprimées en ($\mu\text{g/g}$) de poids sec(P.S) dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

ETM	Valeur maximale ($\mu\text{g/g}$)				Valeurs de référence dans la littérature (Méditerranée occidentale)		
	Thalasso	Tipaza	Bou-Ismaïl	El-Marsa	Valeurs ($\mu\text{g/g}$)	Région	Référence bibliographique
Hg	0,621 \pm 0,15	0,3395 \pm 0,05	0,339 \pm 0,03	1,6647 \pm 0,96	0,02 \pm 0,01	Canari (Corse, France)	Lafabrie, 2007
					0,56 \pm 0,14	Livourne (Toscane, Italie)	
					0,18	Thalasso (sidi fredj, Algerie)	Tarmoul, 2010
					0,207	Front de mer (Bou-Ismaïl, algerie)	
				0,16 \pm 0,002	Alger plage (Algerie)	Guendouzi, 2011	
Pb	7,49 \pm 1,01	14,58	14,34	13,94	14,59 \pm 1,55	Tamenfoust (Algerie)	Soualili <i>et al.</i> , 2008
					12,37 \pm 4,07	Sidi fredj (Algerie)	
					22,09 \pm 2,31	Alger plage (Algerie)	Guendouzi, 2011
Zn	46,25 \pm 27,63	42,6 \pm 3,45	42,6 \pm 9,22	3,1	5,00 - 6,00	Frangé littorale nord-ouest de golf de Tunis (Tunisie)	Rais et Gueddari, 1992
					[0,409–6,725]	Grèce	Galanopoulou <i>et al.</i> (2009)
					58,04	Thalasso (sidi fredj, Algerie)	Tarmoul, 2010
					56,38	Front de mer (Bou-Ismaïl, algerie)	
					21,83	Corne d'or (Tipaza, algerie)	
				47,11 \pm 4,27	Alger plage (Algerie)	Guendouzi, 2011	

IV.1.1 .Le mercure (Hg) :

D'après ces résultats, la contamination en mercure est plus importante à El-Marsa, puis Thalasso et enfin à Bou-Ismaïl et Tipaza.

Les concentrations trouvées dans les sédiments sont supérieures à celles trouvées dans les autres études en particulier celles de **Tarmoul** (qui a travaillé sur la Thalassothérapie et le front de mer de Bou-Ismaïl), ce qui montre l'évolution de la pollution au niveau de la plage de Thalassothérapie, et front de mer de Bou-Ismaïl, ce fait peut-être expliqué par le déversement continu des produits chimiques du centre de la Thalassothérapie et des industries existantes à Bou-Ismaïl.

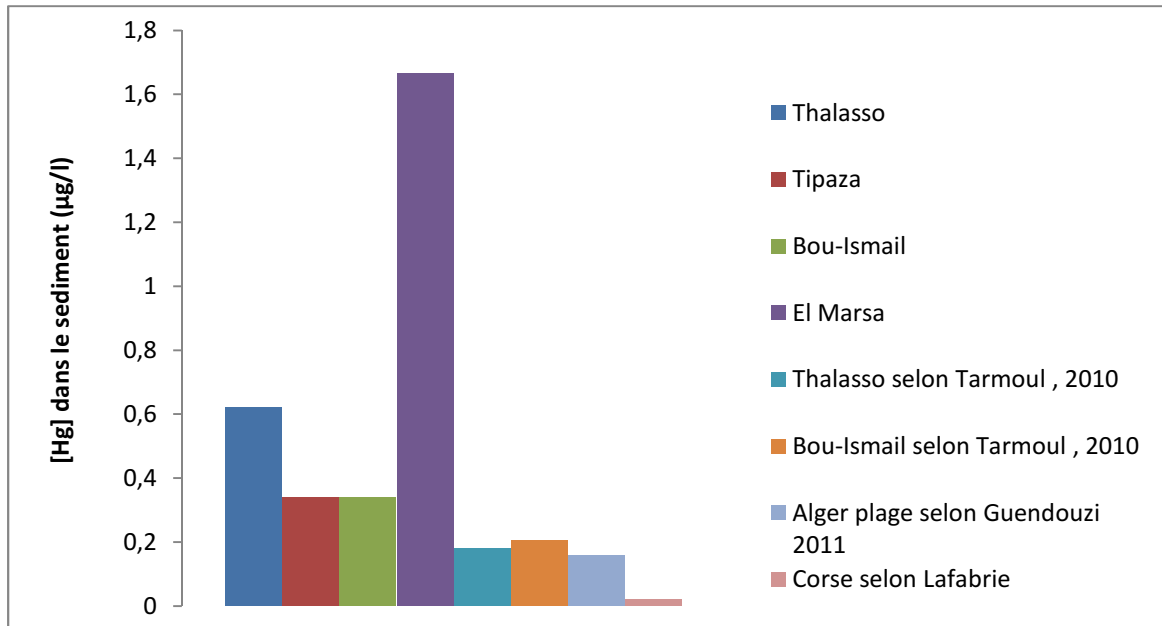


Figure 3.8 : Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de mercure (Hg) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les sédiments de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentale.

IV.1.2. Le plomb (Pb) :

La contamination en plomb dans les sédiments des zones de Tipaza, Bou-Ismaïl, et El-Marsa sont plus importantes par rapport à celles de Thalasso, analogues à celles de **Soualili et al., 2008 (Tamenfoust et Sidi Fredj)**, et moins élevées par rapport à celle de **Guendouzi 2011** ; ce qui nous pousse à conclure que les sources de pollution concernant nos zones d'études ne sont pas très chargées en plomb (contrairement à **Guendouzi** qui a fait son étude à Rais Hamidou près de la cimenterie).

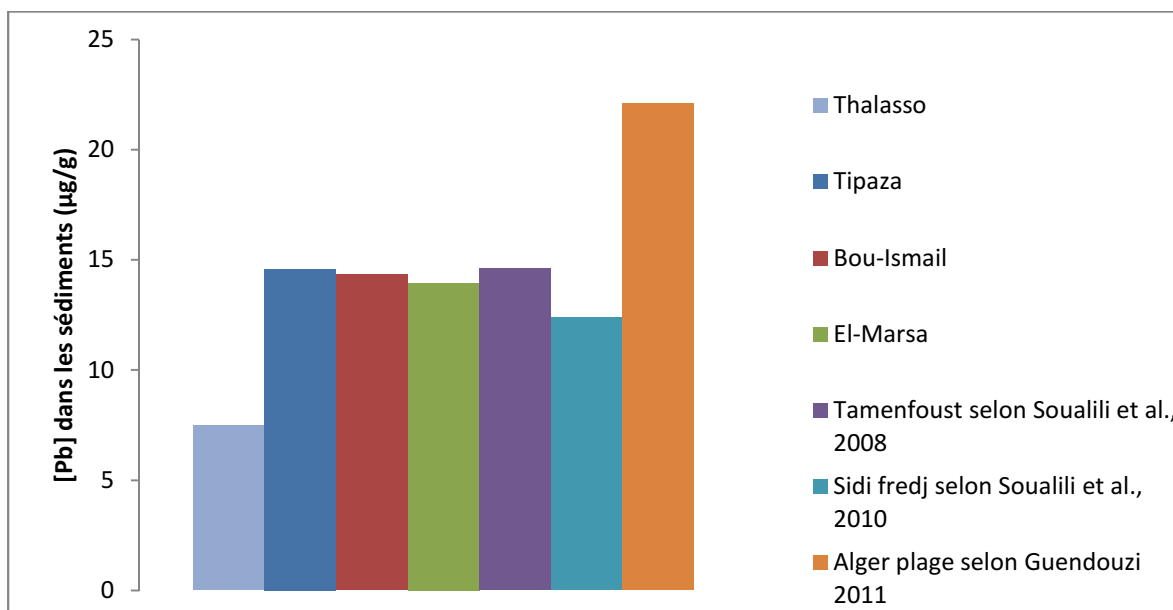


Figure 3.9 : Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de plomb (Pb) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les sédiments de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentale.

IV.1. 3. Le zinc (Zn) :

Les concentrations en Zinc dans la plage de Thalassothérapie, Tipaza, et front de mer de Bou-Ismaïl sont semblables à celles de **Guendouzi, 2011**(Alger plage), plus faibles que celles de **Tarmoul, 2010**(Thalasso et front de mer), et plus importantes que celles trouvées en corne d'or **Tipaza (Tarmoul, 2010)**.

El-Marsa semble pauvre en Zinc vu la faible concentration trouvée (3,1 µg/g).

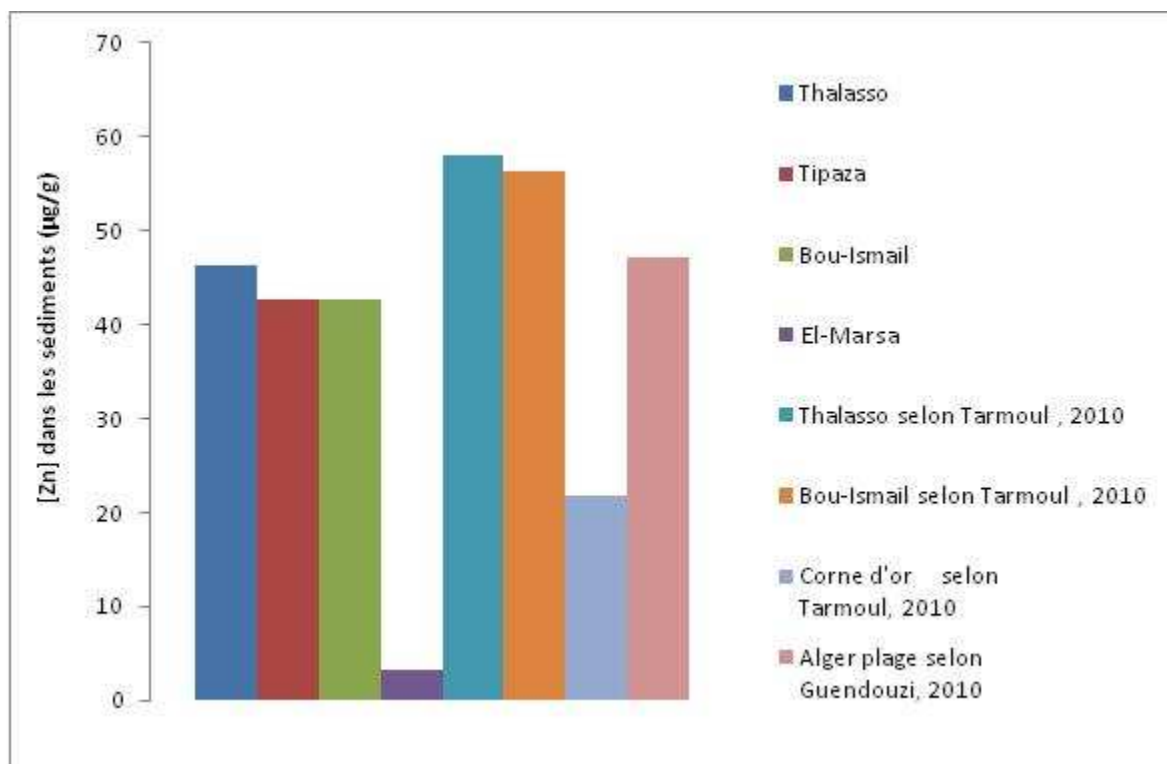


Figure 3.10 : Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de zinc (Zn) en µg/g P.S dans les sédiments de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

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

valeurs de références des teneurs métalliques dans le sédiment (mg/kg)			
éléments métalliques	Hg	Pb	Zn
ref agence	0,2	40	100
ref meybeck	0,15	30	80

Tableau 3.7 : indice de contamination en mercure, plomb, et zinc des sédiments dans les zones d'étude.

ETM	Zone de référence & Auteurs	IC et Observation			
		Thalasso	Tipaza	Bou-Ismaïl	El-Marsa
Hg	agence de l'eau Artois-Picardie(1996)	3,105	1,697	1,697	8,32
		pollution	concentration normale	concentration normale	pollution
	Alger plage (Algerie), Guendouzi,2010	3,453	1,886	1,886	9,248
		pollution	concentration normale	concentration normale	Pollution
Pb	agence de l'eau Artois-Picardie(1996)	0,187	0,364	0,358	0,348
		concentration normale	concentration normale	concentration normale	concentration normale
	Meybeck(1996)	0,249	0,486	0,478	0,464
		concentration normale	concentration normale	concentration normale	concentration normale
Tamenfoust (Algerie), Soualili <i>et al.</i> ,2008	0,605	1,178	1,159	1,126	
	concentration normale	concentration normale	concentration normale	concentration normale	
Zn	Seuil de Contamination Alzieu et al., 1999	0,925	0,852	0,852	0,062
		concentration normale	concentration normale	concentration normale	concentration normale
	Corne d'or (Algerie), Tarmoul,2010	2,118	1,951	1,951	0,142
		concentration normale	concentration normale	concentration normale	concentration normale

L'indice de contamination en mercure calculé par rapport au bassin d'Artois-Picardie et Alger plage, apparait normal à Tipaza et Bou-Ismaïl (<3) et pollué à thalasso et El-Marsa ($3 < IC < 10$).

L'indice de contamination en plomb, calculé par rapport aux valeurs de Meybeck et l'agence de l'eau Artois-Picardie, est faible dans les quatre zones étudiées, ce qui signifie qu'il n'existe pas une pollution par ce dernier.

Dans le cas de calcul d'indice de contamination par rapport à la zone de référence : corne d'or (Tarmoul, 2010) et le seuil de contamination précisé par Alzieu *et al.*, 1999, on constate qu'il n'y a pas de pollution en zinc dans nos zones d'étude.

IV.2. Etat de contamination de la posidonie :

Les résultats obtenus après analyse des éléments en trace métallique dans la posidonie, ont été traités statistiquement et regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 3.8: valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des concentrations en ETM dans les rhizomes de posidonie des zones étudiées.

Zone d'étude	Valeur statistique	Hg ($\mu\text{g/g}$)	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)
THALASSO (Sidi Fredj)	Minimum	0,1931	7,1	48,7
	Maximum	0,2502	9,15	51,95
	Moyenne	0,2216	8,125	50,32
	Ecart type	0,0403	1,449	2,298
Tipaza	Minimum	0,1823	7,79	44,83

	Maximum	0,4538	9,24	47,27
	Moyenne	0,3180	8,515	46,05
	Ecart type	0,1919	1,025	1,725
Front de mer (Bou-Ismail)	Minimum	0,0895	7,79	54,6
	Maximum	0,2038	7,79	62,74
	Moyenne	0,1466	7,79	58,67
	Ecart type	0,0808	/	5,755
El Marsa	Minimum	0,1073	4,7	57,65
	Maximum	0,2502	4,7	71,49
	Moyenne	0,1787	4,7	64,57
	Ecart type	0,1010	/	4,893

Tableau 3.9 : comparaison des statistiques de concentrations maximales en ETM dans les rhizomes de posidonie, exprimées en ($\mu\text{g/g}$) de poids sec(P.S) dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

ETM	Valeur maximale ($\mu\text{g/g}$)				Valeurs de référence dans la littérature (Méditerranée occidentale)		
	Thalasso	Tipaza	Bou-Ismail	El-Marsa	Valeurs ($\mu\text{g/g}$)	Région	Référence bibliographique
Hg	0,2502 \pm 0,04	0,4538 \pm 0,19	0,2038 \pm 0,08	0,2502 \pm 0,10	0,03 \pm 0,006	Calvi(Corse,France)	Pergent et Pergent-Martini,1999
					0,0479	Ischia (Naples, Italie)	
					0,0834	Thalasso (sidi fredj, Algerie)	Tarmoul, 2010
					0,37005	Front de mer (Bou-Ismail, algerie)	
				0,121 \pm 0,07	Alger plage (Algerie)	Guendouzi, 2011	
Pb	9,15 \pm 1,44	9,24 \pm 1,025	7,79	4,7	14,50 \pm 9,40	Ischia (Naples, Italie)	Warnau et al,1995
					10,20 \pm 4,80	Marseille(France)	
					2,67 \pm 0,82	Calvi(Corse,France)	Lafabri,2007
					3,23 \pm 0,32	Marseille(France)	
				36,52 \pm 2,21	Alger plage (Algerie)	Guendouzi, 2011	
Zn	51,95 \pm 2,29	47,27 \pm 1,72	62,74 \pm 5,75	71,49 \pm 4,89	94,9 \pm 16,20	Calvi(Corse,France)	Warnau et al.,1995
					103 \pm 31	Ischia (Naples, Italie)	
					38,6	Thalasso (sidi fredj, Algerie)	Tarmoul, 2010
					71,8	Front de mer (Bou-Ismail, algerie)	
					37,17	Corne d'or (Tipaza, algerie)	
				102,09 \pm 3,85	Alger plage (Algerie)	Guendouzi, 2011	

IV.2.1. Le mercure (Hg) :

D'après ces résultats, la contamination en mercure dans les rhizomes de posidonie est plus importante à Tipaza, ce qui explique la régression de l'herbier qui était observée lors de notre plongée, et la dominance de la matte morte avec présence d'algues rouges.

Toutes les valeurs trouvées sont supérieures à celles des zones de référence.

Selon **Pergent-Martini *et al.*, 2005**, si les concentrations en mercure dans l'herbier sont supérieures à $0,193\mu\text{g/g}$, cela signifie que la qualité de ce dernier est mauvaise :c'est le cas des quatre zones qu'on a étudié.

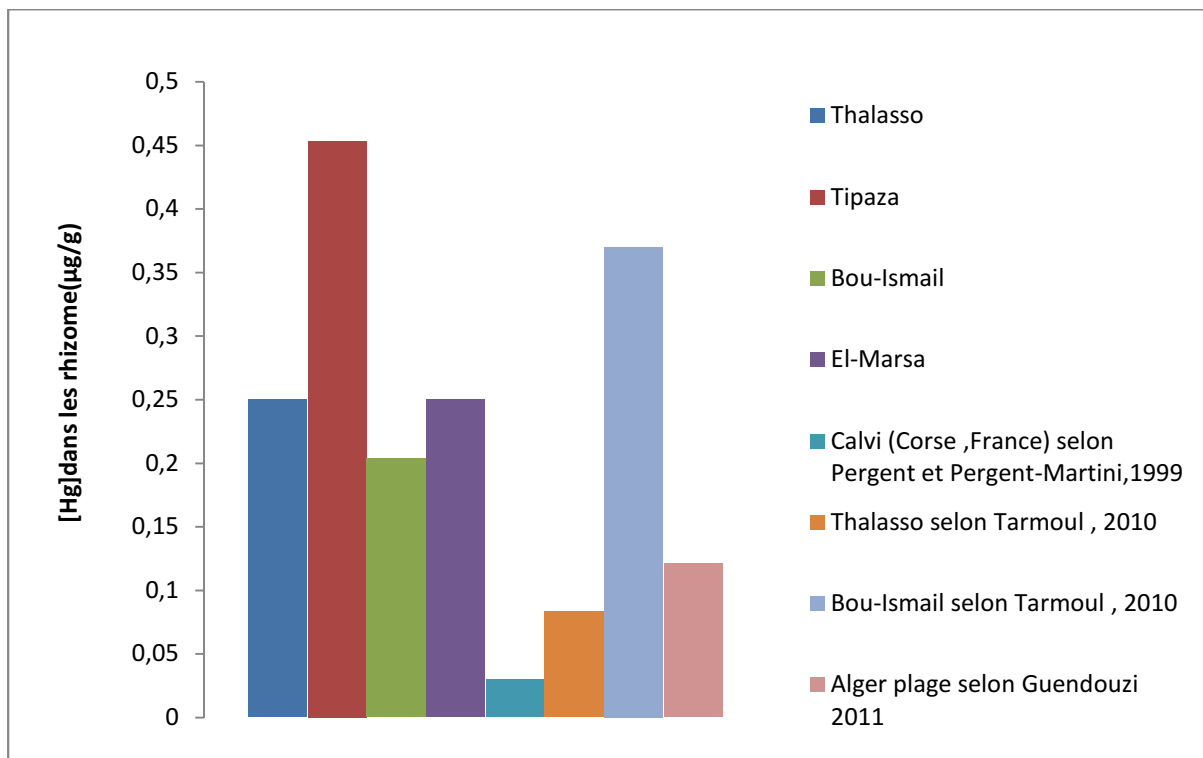


Figure 3.11: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de mercure (Hg) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les rhizomes de posidonie de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

IV.2.2. Le plomb (Pb):

Les concentrations en plomb dans les rhizomes de posidonie sont plus importantes à thalasso et Tipaza par rapport au front de mer de Bou-Ismaïl et El-Marsa.

Les valeurs trouvées sont plus importantes que celles de Calvi et Marseille et plus faibles que celles d'Alger plage et Ishia (Naples, Italie).

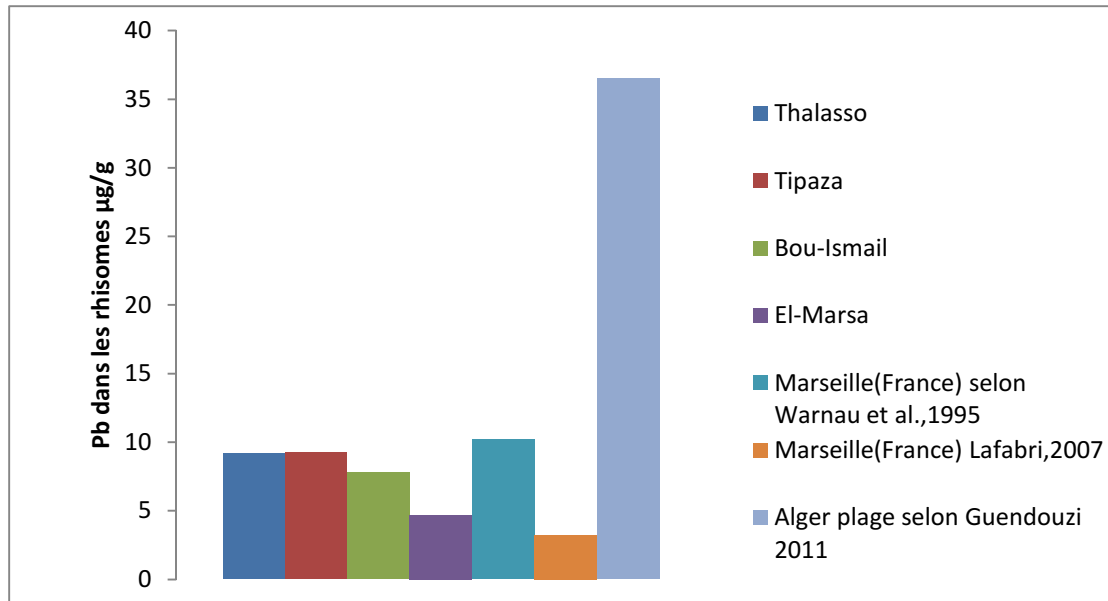


Figure 3.12: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de plomb (Pb) en µg/g P.S dans les rhizomes de posidonie de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

IV.2.3. Le Zinc (Zn) :

Les concentrations les plus élevées en Zinc dans les rhizomes de posidonie se trouvent à El Marsa

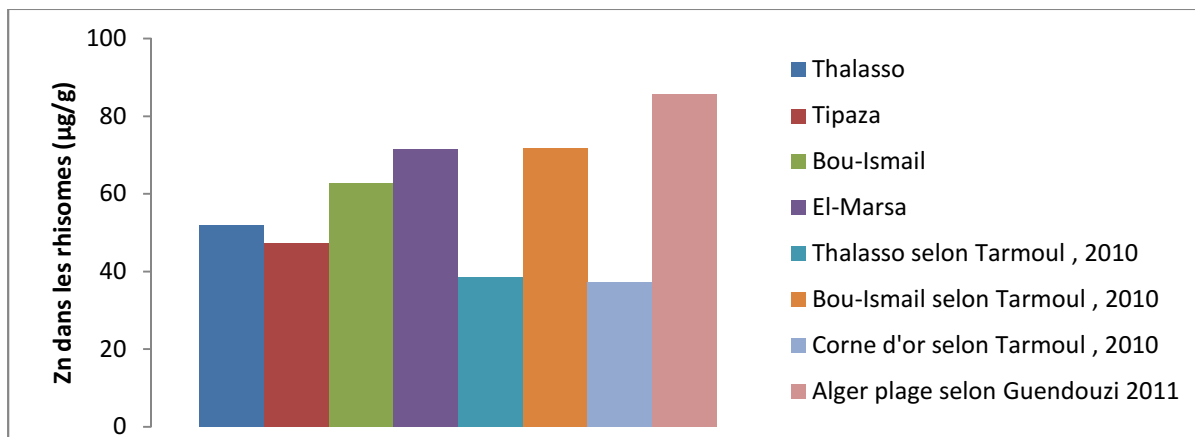


Figure 3.13.: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de zinc (Zn) en µg/g P.S dans les rhizomes de posidonie de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

IV.3. État de contamination des oursins :

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

Tableau 3.10: valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des concentrations en ETM dans les rhizomes de posidonie des zones étudiées.

Zone d'étude	Valeur statistique	Hg (µg/g)	Pb (µg/g)	Zn (µg/g)
Thalasso (Sidi Fredj)	Minimum	0,1931	4,7	38,11
	Maximum	0,2788	10,25	200,9
	Moyenne	0,2359	7,475	119,5
	Ecart type	0,060	3,92	115,1
Tipaza	Minimum	0,3538	13,58	165,3
	Maximum	0,5329	13,58	366,8
	Moyenne	0,4433	13,58	266,1
	Ecart type	0,1266	/	142,5
Front de mer (Bou-Ismaïl)	Minimum	0,1752	17,79	119,5
	Maximum	0,2181	17,79	188,1
	Moyenne	0,1966	17,79	153,8
	Ecart type	0,0303	/	48,45
El-Marsa	Minimum	0,2645	14,7	193,6
	Maximum	0,3931	20,25	478,8
	Moyenne	0,3288	17,47	336,2
	Ecart type	0,0909	1,449	201,6

Tableau 3.11: comparaison des concentrations maximales en ETM dans les gonades d'oursin *Paracentrotus lividus*, exprimées en µg/l de poids sec (p.s) dans nos zones d'études avec différentes région de la méditerranée occidentale.

ETM	Valeur maximale (µg/g)				Valeurs de référence dans la littérature (Méditerranée)		
	Thalasso	Tipaza	Bou-Ismaïl	El-Marsa	Valeurs (µg/g)	Région	Référence bibliographique
Hg	0,2788±0,06	0,5329 ± 0,12	0,2181 ± 0,03	0,3931 ± 0,09	0,05 ±0,05	Calvi (Corse,France)	Warnau et al.,1995
					0,25± 0,24	Ischia (Naples, Italie)	
					0,0406	Thalasso (sidi fredj, Algerie)	Tarmoul, 2010
					0,3304	Front de mer (Bou-Ismaïl, algerie)	
					0,13 ± 0,03	Alger plage (Algerie)	Guendouzi, 2011
Pb	10,25 ± 3,92	13,58	17,79	20,25±1,449	2,58 ± 0,63	Calvi (Corse,France)	Warnau et al. ,1998
					3,02± 1,31	Ischia (Naples, Italie)	
					2,68 ± 0,77	Marseille(France)	
					36,69 ± 3,42	Alger plage (Algerie)	Guendouzi, 2011
Zn	200,9±165,5	366,8± 142,5	188,1± 48,45	478,8± 201,6	87,09	Thalasso (sidi fredj, Algerie)	Tarmoul, 2010
					187,48	Front de mer (Bou-Ismaïl, algerie)	
					90,34	Corne d'or (Tipaza, algerie)	
					85,74± 3,45	Alger plage (Algerie)	Guendouzi, 2011

IV.3.1. Le mercure (Hg) :

Les concentrations en mercure dans les gonades d'oursins de Tipaza sont les plus élevées qui laissent supposer que les oursins en cette station accumulent aussi le mercure directement depuis la colonne d'eau.

Toutes les concentrations en mercure mesurées dans les gonades étudiées sont supérieures aux concentrations en mercure des gonades d'oursins des zones de référence non polluées : Calvi (corse, France *in Warnau et al., 1995*), les oursins des quatre zones d'étude sont contaminés par le mercure, ce qui explique l'analogie de nos résultats avec celles des zones polluée d' Ischia (Naples, Italie) et Marseille (France) selon **Warnau et al. , (1995)**

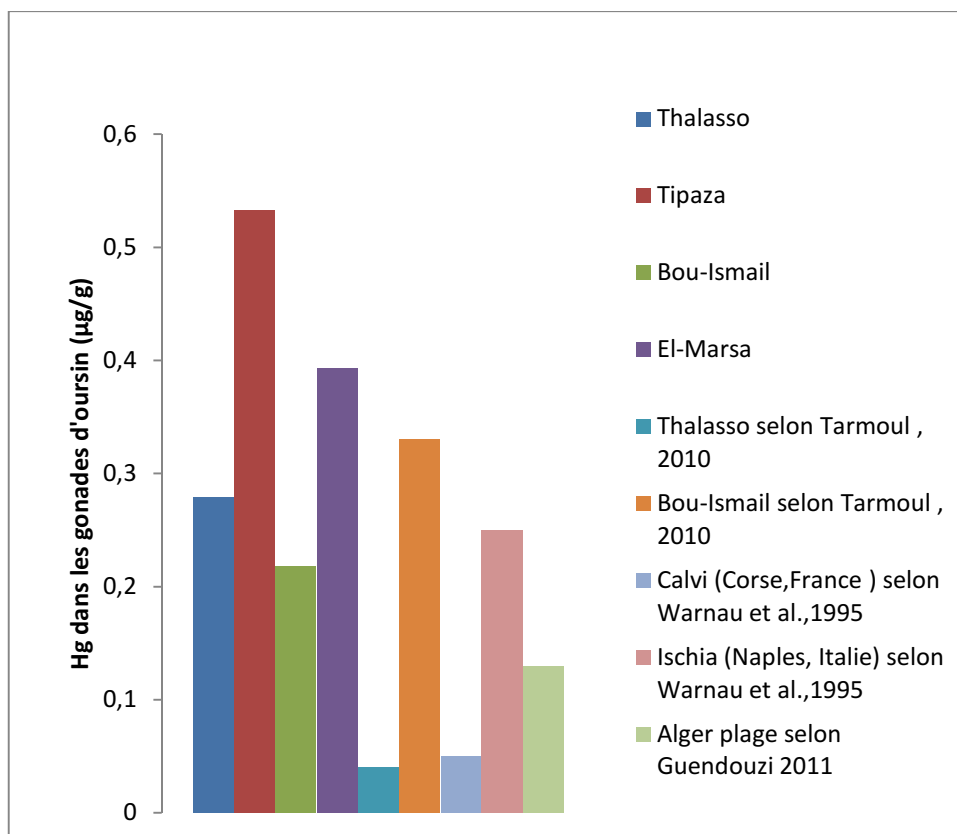


Figure 3.14: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de mercure (Hg) en µg/g P.S dans les gonades d'oursin dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

IV.3.2. Le Plomb (Pb):

Lors de notre plongée à El Marsa, l'écosystème semblait en très bon état, en couvrant une importante surface, et des rhizomes de posidonie bien enfouillés dans le sédiment, ça n'empêche que le plomb est plus concentré dans les gonades d'oursin de cette zone que les autres zones d'étude avec une moyenne de $20,25 \pm 1,449 \mu\text{g/g}$.

Une très grande variation des teneurs dans les gonades de l'oursin dans les différents sites de sorte qu'il nous est nécessaire de comparer nos résultats à d'autres études pour pouvoir apprécier une tendance de la pollution.

Toutes les concentrations en plomb mesurées dans les gonades étudiées sont supérieures aux concentrations en plomb des gonades des zones de références à l'échelle de la méditerranée occidentale, ce qui confirme que les gonades sont fortement contaminées par le plomb dans nos zones d'études.

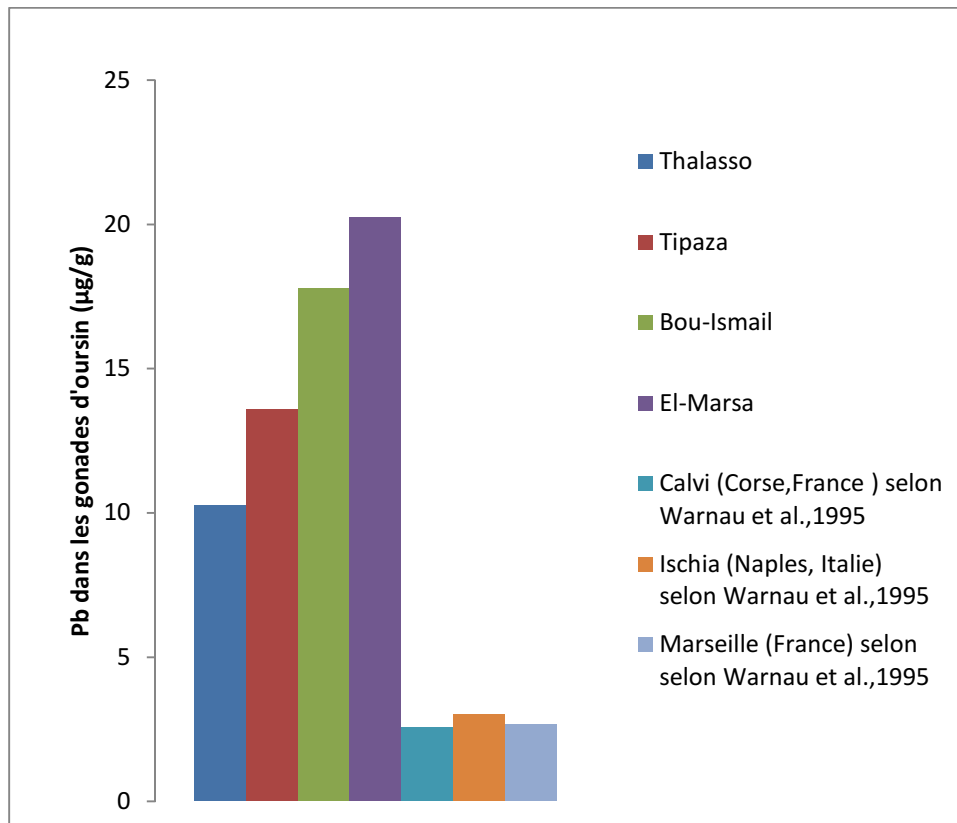


Figure 3.15: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de Plomb (Pb) en µg/g P.S dans les gonades d'oursin dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

IV.3.3. Le zinc (Zn) :

Les concentrations en Zinc dans les gonades d'El-Marsa sont les plus élevées avec une moyenne de $478,8 \pm 201,6$ µg/g,

En moyenne, le zinc est plus concentré dans les gonades d'oursins d'El-Marsa qu'aux autres zones étudiées, à Bou-Ismaïl les résultats sont analogues à ceux de **Tarmoul (2010)** (avec une augmentation due à l'anthropisation en excès dans la zone)

Toutes les concentrations en zinc mesurées dans les gonades étudiées sont supérieures aux concentrations en zinc des gonades d'oursins de la corne d'or (baie de Bou-Ismaïl, Algérie *in*

Tarmoul, 2010), donc les gonades sont contaminées en zinc par rapport à la zone de référence.

Les gonades d'El-Marsa sont fortement polluées en zinc même si l'on compare avec d'autres études concernant les zones polluées (front de mer de Bou-Ismaïl : **Tarmoul, 2010**).

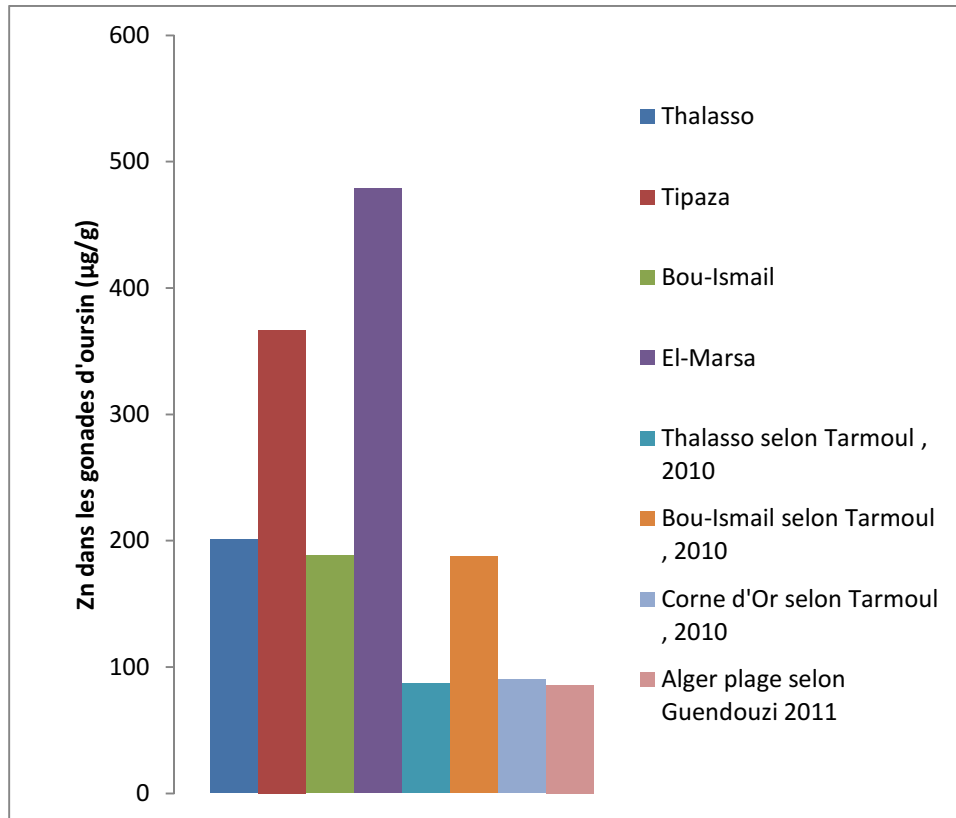


Figure 3.16: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de Zinc (Zn) en µg/g P.S dans les gonades d'oursin dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

IV.4. Bioconcentrations des ETM :

Pour évaluer l'efficacité de la bioaccumulation des ETM par *Posidonia oceanica* et *Paracentrotus lividus* (relation de bioaccumulation « posidonie /oursin » et le milieu « sédiment »).

Le *Paracentrotus lividus* a le facteur de biosédiment plus élevé pour les trois métaux que la posidonie, ce qui explique la bioamplification des ETM dans la chaîne trophique.

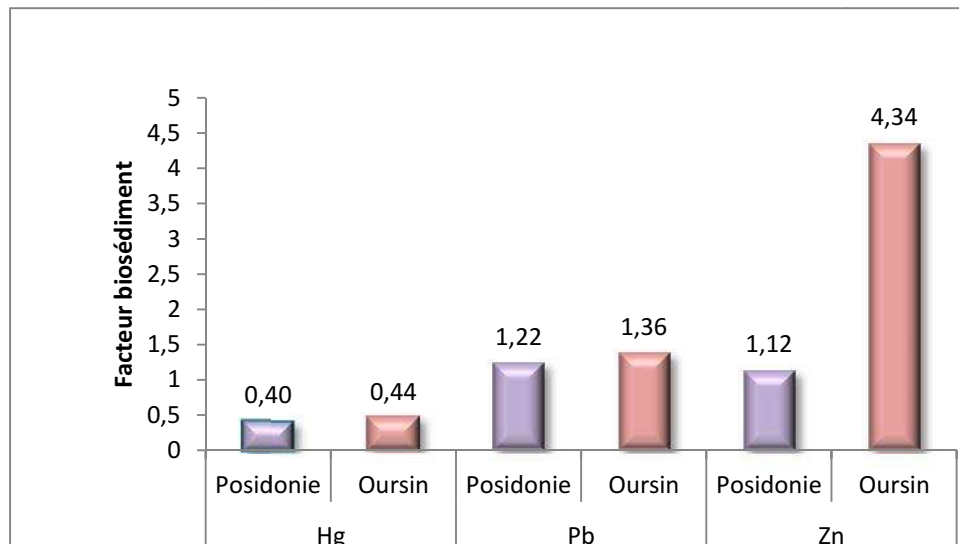


Figure 3.17 : Histogramme de facteur de biosédiment d’Hg, Pb et Zn chez la posidonie et l’oursin dans la zone de Thalasso.

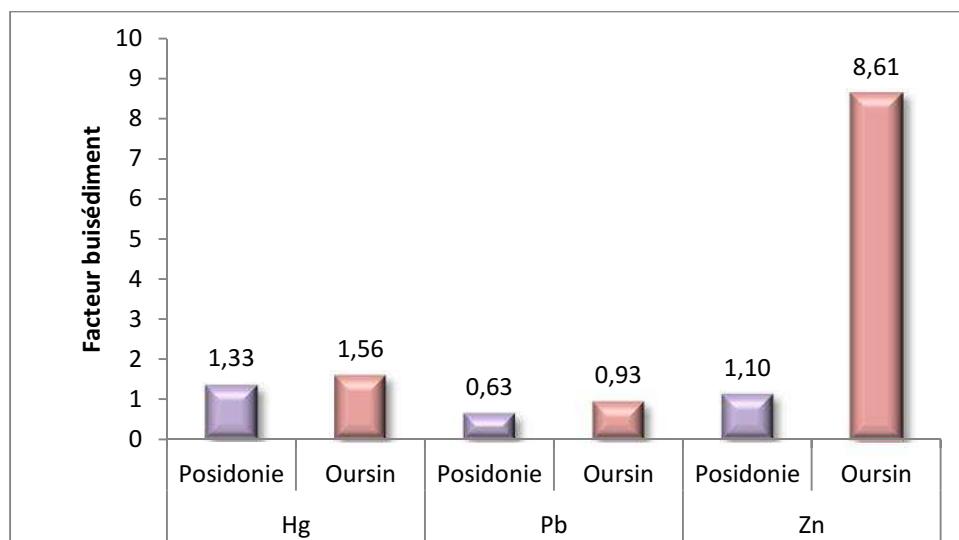


Figure 3.18 : Histogramme de facteur de biosédiment d’Hg, Pb et Zn chez la posidonie et l’oursin dans la zone de Tipaza.

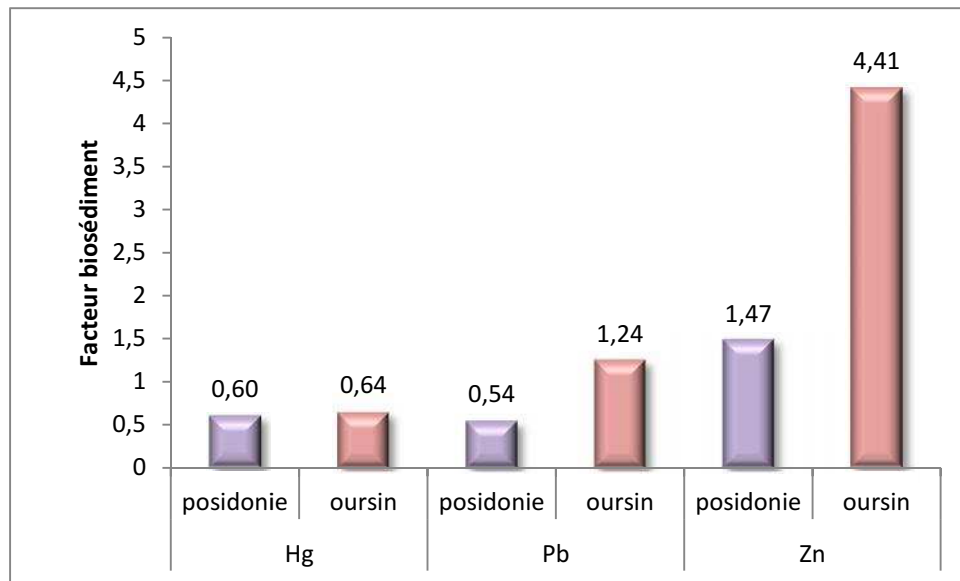


Figure 3.19 : Histogramme de facteur de biosédiment d’Hg, Pb et Zn chez la posidonie et l’oursin dans la zone de Bou-Ismaïl.

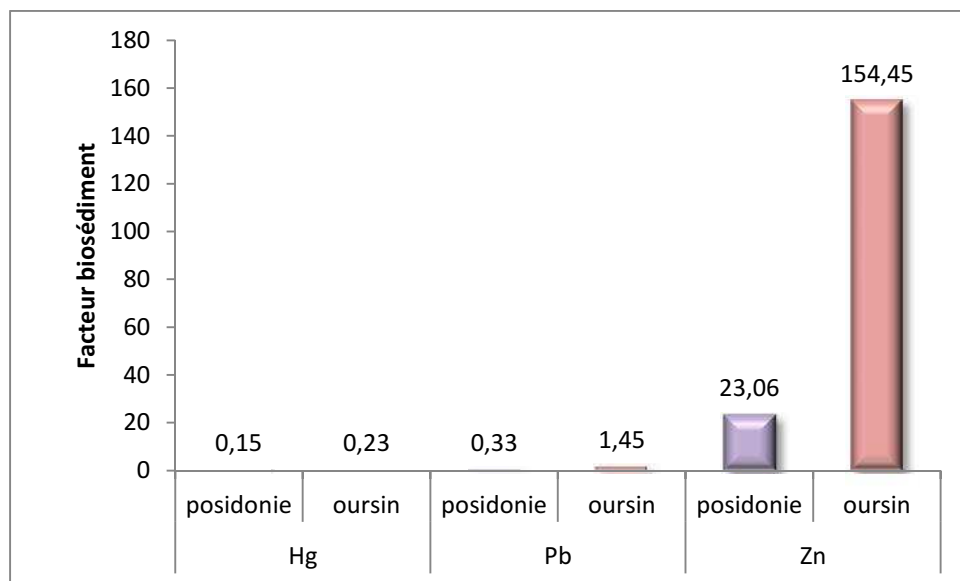


Figure 3.20 : Histogramme de facteur de biosédiment d’Hg, Pb et Zn chez la posidonie et l’oursin dans la zone d’El Marsa.

Conclusion générale

Les résultats obtenus à partir de l'analyse des sels nutritifs, matières en suspensions, et matières organiques dans les eaux de surface, ainsi que les métaux lourds (mercure, plomb zinc) dans le sédiment, posidonie, et oursin, nous permettent de conclure notre travail par quelques points dont les plus importants sont :

La pollution par les sels nutritifs n'est pas très importante dans les quatre zones étudiées, et les valeurs maximales sont situées à proximité des rejets (de Tipaza et de Bou-Ismaïl).

Les taux des matières en suspensions et matières organiques sont très remarquables au front de mer de Bou-Ismaïl, ce qui pourrait expliquer la régression de la limite supérieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* à 6 m.

D'une façon générale, les quatre zones d'étude sont contaminées par les trois métaux étudiés, avec des concentrations variables d'un compartiment à l'autre.

Comparé à d'autres résultats obtenus dans la baie de Bou-Ismaïl (**Tarmoul, 2010**), on conclue que la pollution par les métaux (en particulier le mercure) a augmenté significativement à Thalasso et front de mer de Bou-Ismaïl.

Malgré sa large répartition et les prairies qu'elle constitue, la posidonie est hautement contaminée par les trois métaux dans la plage d'El Marsa. Ceci nous pousse à dire que l'écosystème à *Posidonia oceanica* n'a pas encore réagi face à l'effet de la contamination métallique.

Un déséquilibre écologique des écosystèmes à posidonie (touffes de posidonie, abondance des mattes mortes, rhizomes déchaussés...etc.) est observé dans les trois sites étudiés à la baie de Bou-Ismaïl, ainsi que la compétition avec l'algue introduite *Caulerpa racemosa* (dans la plage de Thalassothérapie) qui préfère les eaux chaudes pour son installation et prolifération rapide.

La forte contamination de l'oursin commun, pose des problèmes assez sérieux pour la santé humaine.

Pour une bonne gestion de la qualité des eaux côtières méditerranéennes, il est nécessaire d'utiliser l'écosystème à *Posidonia oceanica* comme bioindicateur de la contamination métallique.

Perspectives et Recommandations

- Ce travail doit être complété par d'autres études pour évaluer avec précision l'état de contamination des zones étudiées ;
- Une étude lépidochronologique (l'utilisation de *Posidonia oceanica* comme traceur de contamination métallique passé) doit être rajouté pour le suivi temporel ;
- L'établissement d'un réseau de surveillance basé sur l'utilisation de la *Posidonia oceanica* comme espèce bioindicatrice est nécessaire sur tout le bassin algérien ;
- L'augmentation du nombre des ETM étudiés est indispensable pour une meilleure évaluation du niveau de contamination avec une précision des voies d'absorption et la nature chimique de l'absorba ;
- L'obligation d'une étude d'impact qui devrait accompagner toute demande de mise en place des aménagements littoraux, avec conservation de l'herbier à *Posidonia oceanica* ;
- Tous les rejets industriels, urbains, et même domestiques qui déversent directement à la mer doivent être traités impérativement. Par ailleurs, il est important de mettre en place des stations d'épurations ;
- Une recherche de l'origine de pollution et la mise en œuvre des moyens pour la réduire.

Bibliographie

ALZIEU C., ABARNOU A., BASSOULET A., BOUTUER B., 1999. Dragage et environnement marin : Etat des connaissances. Plousane : Edition Ifremer. 223p.

AMINOT A., CHAUSSEPIED M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Ed. CNEXO, 395p.

AOUIDAD Z., 1997. Contribution à l'étude de la pollution par les métaux lourds dans les sédiments superficiels et les particules en suspension dans la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'Ingénieur d'état en Aménagement du littoral et protection de l'environnement. Option : pollution marine. ISMAL. 73p.

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. eds. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 63-72.

AUGIER H., 1985. L'herbier à *Posidonia oceanica*, son importance pour le littoral méditerranéen, sa valeur comme indicateur biologique de l'état de santé de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologiques et les études d'impact. Vie marine, 7: 85-113.

AUGIER H., BOUDOURESQUE C.F., 1979. Premières observations sur l'herbier de Posidonies et le détritique côtier de l'île du Levant (Méditerranée, France), à l'aide du "sous-marin" Griffon de la Marine Nationale. Tr av. sci. Parc nation. Port-Cros, 5: 141-153.

AUGIER H., GIGLIO Y., RAMONDA G., 1987. Peintures anti-fouling et herbier à *Posidonia oceanica*. GIS Posidonie & Fac. Sci. Luminy Publ.: 1-94.

AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1984a. L'herbier de *Posidonia oceanica* et la pollution par le mercure sur le littoral des Bouches-du-Rhône et du Var (France). In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. eds. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 399-406.

AUGIER H., ROBERT P., MAFFRE R., 1980. Étude du régime thermique annuel des eaux au niveau des peuplements de Phanérogames marines de la baie de Port-Cros (îles d'Hyères, Méditerranée, France). Tr av. sci. Parc nation. Port-Cros, 6: 69-131.

BALLESTEROS E., GARCIA A., LOBO A., ROMERO J., 1984. L'alguer de *Posidonia oceanica* de les illes Medes. *Els sistemes naturals de les illes Medes*, Ros J., Olivella J., Gili J.M. eds., IEC publ., Barcelona: 739-759.

BAROLI M., COSSU A., CRISTINI A., DE FALCO G., GAZALE V., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 2001. Concentrations of trace metals (Cd, Cu, Fe, Pb) in *Posidonia oceanica* seagrass of Liscia bay, Sardinia (Italy). In "Structure and Processes in the Mediterranean Ecosystem" Faranda F.M., Guglielmo L., Spezie G. eds. Springer-Verlag publ., Proceed. Convegno Diversità e cambiamento, Ischia 10-14 novembre 1998.

BAY D., 1978. Etude *in situ* de la production primaire d'un herbier de Posidonies (*Posidoniaoceanica*(L.) Delile) de la baie de Calvi-Corse. Progr. Rép. Stn. Océanogr. Stareso, Univ. Liège, Belg., 18: 6 p non num. + 1-251.

BELL J.D., HARMELIN-VIVIEN M.L., 1982. Fish fauna of French Mediterranean *Posidoniaoceanica* seagrass meadows. 1. Community structure. *Téthys*, 10(4): 337-347.

BELLAN-SANTINI D., LACAZE J. C., POIZAT C., 1994. Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives. Muséum National d'Histoire Naturelle publ., Paris: 1-246.

BEN ALAYA H., 1972. Répartition et conditions d'installation de *Posidoniaoceanica* Delile et *Cymodoceanodosa* Ascherson dans le golfe de Tunis. Bull. Inst. Océanogr. Pêche Salammbô, 2(3): 331-416.

BENGUEDDA -RAHAL W., 1993. Contribution à l'étude de quelques polluants métalliques chez la moule perna(L) et le rouget Mullus surmuletus (L) dans la partie occidentale du golfe d'Arzew. *Thèse de Magister en Océanologie*. ISMAL (Alger). 152p.

BLANC J.J., JEUDY DE GRISSAC A., 1978. Recherches de géologie sédimentaire sur les herbiers à Posidonies du littoral de la Provence. Contrat CNEXO 76/4043, 77/4074. Centre nation. Exploit. Océans publ., Fr.: 1-185, i-vii, 42 pl. h.t.

BOUDOURESQUE C.F., 1996. Impact de l'homme et conservation du milieu marin en Méditerranée. 2ème édition. GIS Posidonie publ. (ISBN 2 905-54-21-4): 1-243.

BOUDOURESQUE C.F., 2003. The erosion of Mediterranean biodiversity. *In: Rodríguez-Prieto C., Pardini G. edits. The Mediterranean Sea : an overview of its present state and plans for future protection*. Servei de Publicacions de la Universitat de Girona: 53-112.

BOUDOURESQUE C.F., 2004. Marine biodiversity in the Mediterranean : status of species, populations and communities. *Sci. Rep. Port- Cros natl Park* 20: 97-146.

BOUDOURESQUE C.F., 2010. Fluctuations et perturbations, naturelles et anthropiques, des écosystèmes marins. Master d'océanographie-UE227. Centre d'océanologie de Marseille. 84p.

BOUDOURESQUE C.F., 2010. Structure et fonctionnement des écosystèmes benthiques marins. L'écosystème à *Posidoniaoceanica*. Master d'océanographie-UE104. Centre d'océanologie de Marseille. 94p.

BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L., 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidoniaoceanica*. edit., RAMOGE pub. : 1-202. 204p.

BOUDOURESQUE C.F., BIANCONI C.H., MEINESZ A., 1990. Live *Posidonia oceanica* in a coralligenous algal bank at Sulana, Corsica. Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. sci. Médit. 32(1): 11.

BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., 1983. L'herbier à *Posidoniaoceanica* en Méditerranée : les interactions entre la plante et le sédiment. *J. Rech. océanogr.*, 8(2-3): 99-122.

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

BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., LEDOYER M., VITIELLO P., 1994b. Les herbiers à Phanérogames marines. *In*: Bellan-Santini D., Lacaze J.C., Poizat C. eds. Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives. Muséum National d'Histoire naturelle publ., Paris, Fr.: 98-118.

BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., RIBERA M.A., BALLESTEROS E., 1995c. Spread of the green alga *Caulerpataxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean: possible consequences of a major ecological event. *Scientia marina*, 59(suppl. 1): 21-29.

BOUDOURESQUE C.F., VERLAQUE M., 2001. Ecology of *Paracentrotuslividus*. Edible sea urchins: biology and ecology, Lawrence J. édit., Elsevier publ., Amsterdam: 177-216.

BOURCIER M., 1989. Régression des herbiers à *Posidoniaoceanica*(L.) Delile, à l'Est de Marseille, sous l'action conjuguée des activités humaines et des modifications climatiques. *In*: Boudouresque, C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V.édits. *International workshop onPosidoniabeds*. GIS Posidonie publ., Fr., 2: 287-293.

BOUTRON C. F. et PATTERSON C. C., 1983. The occurrence of lead in Antarctic recent snowfirns deposited over the last two centuries and prehistoric ice. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 47: 1355-1368.

CANCEMI G., DE FALCO G., PERGENT G., 2000. Impact of a fish farming facility on a *Posidoniaoceanica* meadow. *Biol. Mar. Medit.* 7(2): 341-344.

CASSAS S., 2005. Modélisation de la bioaccumulation des métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilusgalloprovincialis*, en milieu méditerranéen. *Thèse.Doct. Océa.Biologique*. Env.Mar.Univ Sud Toulon.314p.

CASTRO H., AGUILERA P.A., MARTINEZa J.L., CARRIQUE E.L., 1999. Differentiation of clams from fishing areas an approximation to coastal quality assessment. *Environmental Monitoring and Assessment* 54, 229-237.

CAYE G., 1980. Sur la morphogénèse et le cycle végétatif de *Posidoniaoceanica*(L.) Delile. Thèse de Doctorat. Univ. Aix-Marseille 2, Fr.: 1-121.

CEBRIAN J., DUARTE C.M., 2001. Detrital stocks and dynamics of the seagrass *Posidoniaoceanica*(L.)Delile in the Spanish Mediterranean. *Aquat. Bot.* 70: 295-309.

CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., CADIOU G., BONHOMME P., COTTALORDA J.M., PATRONE J., KRUCZEK R., BERTRANDY M.C., FORET P., BRICOUT P., MARRO C., LE DIREACH L., 2003. Le Réseau de

Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur : Résultats du suivi 2002. GIS Posidonie publ., Fr.: 1-176.

CHESSA L.A., FRESI E., SOGGIU L., 1983. Preliminary data on consumers food web in a *Posidoniaoceanica*(L.) Delilebed. *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 28(3): 159-160.

CHIFFOLEAU J. F., D. AUGER E., CHARTIER P., MICHEL I., TRUQUET A., FISHT J. L., GONZALEZ et L. A. ROMANA., 2001. "Spatiotemporal changes in Cadmium contamination in the Seine estuary (France)." *Estuaries*.

CONDE POYALES F., 1989. Ficogeografía del mar de Alborán en el contexto del Mediterráneo occidental. *An. Jard. bot. Madrid* 46(1): 21-26.

DABY D., 2006. Coastal pollution and potential biomonitors of metals in Mauritius. *Water, Air and soil pollution* 174,63-91.

DANCE C., SAVY S., 1987. Predation of *Paracentrotus lividus* by *Marthasterias glacialis*: an *in situ* experiment at Port-Cros (France, Mediterranean). *Posidonia Newsletter* 1(2): 35-41.

DERMECHE S., 2010. Indices physiologiques, métaux lourds et bioessais chez l'oursin commun *Paracentrotus lividus*(Lmck ,1816) de la côte oranaise (Algérie Ouest). *Thèse. Doct. Option: Biologie et Pollution Marines*. 161p.

DJERAD C., 2010. Evaluation de l'état de la pollution par les sels nutritifs et les métaux lourds dans l'eau et le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'Ingénieur d'état. Option : Environnement marin. ENSSMAL. 82p.

DUARTE C.M., 2004. Las praderas de Fanerógamas marinas. El papel de las praderas en la dinámica costera. In: Luque A.A., Templado J. edits. *Praderas y bosques marinos de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía publ., Sevilla: 81-85.

ELKALAY K., FRANGOULIS C., SKLIRIS N., GOFFART A., GOBERT S., LEPOINT G., HECQ J.H., 2003. A model of seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass *Posidoniaoceanica* in the Bay of Calvi (Northwestern Mediterranean). *Ecol. Model.* 167: 1-18.

ENGEL D.W., 1999. Accumulation and cytosolic partitioning of metals in the American Crassostrea virginica Marine. *Environmental Research*. 47 (1999): 89-102.

FRANCOUR P., 1990. Dynamique de l'écosystème à *Posidoniaoceanica* dans le Parc national de Port-Cros. Analyse des compartiments "matte", litière, faune vagile, échinodermes et poissons. Thèse Doct. Océanol., Univ. Paris VI, Fr.: 1-373.

FRANCOUR P., 1997. Fish assemblages of *Posidoniaoceanica* beds at Port Cros (France, NW Mediterranean): Assessment of composition and long-term fluctuations by visual census. *Mar. Ecol., PSZNI* 18(2): 157-173.

FRESI E., CHESSA L.A., SCARDI M., IMPAGLIAZZO C., 1984. Feeding ecology of *Palaemonxiphias* Risso, from a *Posidonia oceanica* meadow near Alghero (Sardinia). In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 331-334.

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

GALAN C., LOPEZ-IBOR A., TEMPLADO J., 1982. Primera cita en la península ibérica de *Asterinapancerii* (Gasco, 1870) (Asteroidea, Asterinidae). *Actas Simp. ibérico Est. Bentos mar.* 3: 267-269.

GAMBI M.C., BUIA M.C., CASOLA E., SCARDI M., 1989. Estimates of water movement in *Posidonia oceanica* beds: a first approach. In: Boudouresque, C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V. edits. *International workshop on Posidonia beds*. GIS Posidonie publ., Fr., 2: 101-112.

GAMULIN-BRIDA H., 1974. Biocénoses benthiques de la mer Adriatique. *Acta Adriatica* 15(9): 1-102 + 1 carte.

GAMULIN-BRIDA H., POZAR A., SIMUNOVIC A., SPAN A., 1973. Les conséquences biologiques de la pollution des eaux marines sur les biocénoses benthiques. Groupement des biocénoses benthiques de la mer Adriatique du point de vue de pureté des eaux. *Atti Coll. internazion. Oceanogr. medit.* 5: 137-159.

GIRAUD G., 1979. Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bull. Mus. Hist. nat. Marseille*, Fr., 39: 33-39.

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

HADDOUCHE I., 2003. Étude de l'état de pollution de la baie de Bou-Ismaïl par les sels nutritifs et les métaux lourds en juillet 2002. Mémoire d'ingénieur d'état en aménagement du littoral. Option : chimie marine. ENSSMAL : p 15-28.

HARMELIN J.G., BOUCHON C., HONG J.S., 1981. Impact de la pollution sur la distribution des échinodermes des substrats durs en Provence (Méditerranée Nord-occidentale). *Téthys* 10(1): 13-36.

HARMELIN-VIVIEN M.L., 1984. Ichtyofaune des herbiers de Posidonies du Parc naturel régional de Corse. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 291-301.

HARMELIN-VIVIEN M.L., FRANCOUR P., 1992. Trawling or visual censuses Methodological bias in the assessment of fish populations in seagrass beds. *Mar. Ecol., PSZN* 13(1): 41-51.

HARMELIN-VIVIEN M.L., KAIM-MALKA R.A., LEDOYER M., JACOB-ABRAHAM S.S., 1989. Food partitioning among scorpaenid fishes in Mediterranean seagrass beds. *J. Fish Biol.* 34: 715-734.

HARTOG C. den, 1970. *The sea-grasses of the world.* North Holland publ. Co, Amsterdam, Pays-Bas: 1-275 + 63 pl. h.t.

HERBLAND A., et LE LOEUFF P., 1993. Les sels nutritifs au large de la Côte d'Ivoire. . In: Environnement et ressources Aquatiques de la Côte d'Ivoire. I- Le milieu marin, Paris ORSTOM, 123-148.

INAL A., 2011. Les métaux traces dans les sédiments de la baie de Bou-Ismaïl : Surveillance de la pollution et étude des processus géochimiques.Option: Gestion et Surveillance de l'Environnement Marin et Littoral.ENSSMAL.94p.

JEUDY DE GRISSAC A., 1984. Essais d'implantations d'espèces végétales marines: les espèces pionnières, les Posidonies. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidoniaoceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 431-436.

JEUDY DE GRISSAC A., BOUDOURESQUE C.F., 1985. Rôle des herbiers de Phanérogames marines dans les mouvements de sédiments côtiers : les herbiers à *Posidoniaoceanica*. *Colloque franco-japonais d'Océanographie*, Marseille, Fr., 1: 143-151.

JIMENEZ S., CANO R., BAYLE J., RAMOS A., SANCHEZ LIZASO J.L., 1996. Las praderas de *Posidoniaoceanica*(L.) Delile como zona de protección de juveniles de especies de interés comercial. *Real Soc. esp. Hist. nat.*, tomo extraordinario: 375-378.

KANTIN R., PERGENT-MARTINI G., 2007. Gestion des écosystèmes littoraux méditerranéens (rapport final). Ifremer, pp : 1-189.

LAFABRIE C., 2007. Utilisation de *Posidoniaoceanica* (L.) Dedile comme bioindicateur de la contamination métallique.Thèse de Doctorat. Université de corse, France. 158p.

LALAMI-TALEB R., 1970. Facteurs de répartition verticale du phytoplancton au large d'Alger. Thèse de Doctorat. 3ème cycle en biologie. Université d'Alger: p168.

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

LE DIREACH L., FRANCOUR P., 2001. Recrutement des poissons dans les herbiers de Posidonie de Port-Cros. GIS Posidonie & Parc national de Port-Cros, GIS publ., Fr.: 1-40.

LEJEUNE P., 1985. Le comportement social des Labridés méditerranéens. *Cah.Ethol.appl.* 5(2): I-xii + 1-208.

LESOUÉF A., BELAMIE R. et MONTIEL A., 1979. Un indicateur de pollution à mémoire. L'analyse des métaux dans les sédiments de rivière. *J.Fr. Hydro*, 10(3) :165-172.

LOURGUIOUI H., 2006. Etude hydrologique du barrage de Boukerdane (wilaya de Tipaza). Mémoire de magister en «environnement et écosystèmes littoraux». Option :aquaculture. ISMAL :p 15-17.

MARCHAND M. et KANTIN R., 1997. Les métaux traces en milieu aquatique. *Océanis*23(4):595-629.

MATEO-MINGUEZ M.A., 1995. El compartimentodetrítico en ecosistemas de Fanerógamas marinas mediterráneas. Tesis Doctoral, Univ. Barcelona, Esp.: 1-190.

MAZZELLA L., BUIA M.C., GAMBI M.C., LORENTI M., RUSSO G., SCIPIONE M.B., ZUPO V., 1992. Plant-animal trophic relationships in the *Posidoniaoceanica*ecosystem of the Mediterranean Sea: a review. In: Jangoux M., Mazzella L. *et al.* edits. *Plant animal interactionsin marine benthos*. Systematic Association special volume 46, Clarendon Press publ.: 165-187.

MAZZELLA L., SCIPIONE M.B., GAMBI M.C., FRESI E., BUIA M.C., RUSSO G.F., DE MAIO R., LORENTI M., RANDO A., 1986. *Le prateriesommersedelMediterraneo*. Stazionezoologica di Napoli publ.: 1-63.

McROY C.P., McMILLAN C., 1977. Production ecology and physiology of seagrasses. In: McRoy C.P., Helfferich C. edits. *Seagrass ecosystem: a scientific perspective*. Marcel Dekker publ., New York: 53-87.

MEINESZ A., LAURENT R., 1978. Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidoniaoceanica* dans les Alpes-Maritimes. Campagne Poséidon 1976. *Bot. mar.* 21(8): 513-526.

MIQUEL M., 2001. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques(Dir.). Rapport Sénat n°261: 360.

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

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

OTT J., MAURER L., 1977. Strategies of energy transfer from marine Macrophytes to consumer levels: the *Posidoniaoceanica*example. In: Keegan B.F., O'Céidigh P., Boaden P.J.S. edits. *Biology of benthicorganisms*. UK: 493-502.

OUDOT C., 1983. La distribution des sels nutritifs (NO₃, - NO₂, - NH₄ – PO₄, - Si O₃) dans l'Océan Atlantique intertropical oriental (région du Golfe de Guinée). *Océanogr. trop.* 18 (2) : 223-248 (1983).

***PÉRÈS J.M., 1984.** La régression des herbiers à *Posidoniaoceanica* In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidoniaoceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 445-454.

PÉRÈS J.M., PICARD J., 1975. Causes de la raréfaction et de la disparition des herbiers de *Posidoniaoceanica* sur les côtes françaises de la Méditerranée. *Aquat. Bot.* 1(2): 133-139.

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

PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1999. Mercury levels and fluxes in *Posidoniaoceanica* meadows, *Environmental Pollution* 106 (1999) pp : 33-37.

PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidoniaoceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : état des connaissances. *Mésogée* 54, 3-29.

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

PERGENT-MARTINI C., AGREIL M., FERRAT L., PASQUALINI V., PERGENT G. 2005. Contrat de Plan Etat-Région / Appel à Proposition 2003 / GILCO Gestion intégrée du littoral de Corse : Contamination du littoral – Etat de l'art. Université de Corse et Ifremer, Avril 2005, EqEL pub. Corte, France, 1-82.

PERGENT-MARTINI C., RICO-RAIMONDINO V., PERGENT G., 1994. Primary production of *Posidoniaoceanica* in the Mediterranean basin. *Mar. Biol.* 120: 9-15.

PIOVETTI L., SERVE L., COMBAUT G., GADEL F., 1984. Analyse des substances phénoliques des restes de *Posidoniaoceanica* (L.) Delile provenant de sédiments holocènes et de dépôts actuels. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International*

POR F.D., 1978. Lessepsian migrations. The influx of Red Sea biota into the Mediterranean by way of the Suez canal. Springer Verlag publ., Berlin: x + 1-228.

RAIS M., GUEDDARI M., 1992. Géochimie des métaux lourds dans les sédiments superficiels de la frange littorale Nord-Ouest du golf de Tunis. Résultats du workshop sur la circulation des eaux et pollution des côtes méditerranéenne des pays du Maghreb tenu à rabat, Maroc du 9-11 nov. 1992, pp : 171-179.

RAMOS-ESPLÁ A.A., MARTINEZ-PEREZ L., ARANDA A., GUILLEN J.E., SANCHEZ-JEREZ P., SANCHEZ-LIZASO J.L., 1993. Protección de la pradera de *Posidoniaoceanica* (L.) Delile mediante arrecifes artificiales disuasorios frente a la pesca de arrastre ilegal; el caso de El Campello (SE ibérico). *Publ. Espec. Inst. Esp. Oceanogr* 11: 431-439.

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

ROMEO M., GNASSIA-BARELLI M., JUHEL T., MEINESZ A., 1995. Memorization of heavymetals by scales of the seagrass *Posidonia oceanica*, collected in the NW Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* 120(1-3), 211-218.

ROMERO J., 1999. Elsherbassarssubmarins de la Mediterrània. *Butlletí de la Secció de Ciènces naturals del Museu de Mataró, L'Atzavara* 8: 5-8.

ROMERO J., 2004b. Posidònia: els prats del fons del mar. La mirada del biòleg a un ecosistema mediterrani. Escol del Mar, Centre d'Estudis Marins de Badalona publ., Spain: 1-159.

RUIZ-FERNANDEZ J.M., 2000. Respuesta de la Fanerógama marina *Posidonia oceanica* (L.) Delile a perturbaciones antrópicas. Mem. Doct. Biol., Univ. Murcia, Spain: 1-212.

SAHNOUN Z., 2009. Etude préliminaire des indices physiologiques (Indice de Réplétion, Indice Gonadique) et dosage des métaux lourds chez l'oursin commun *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) pêché sur le littoral mostaganémois. *Thèse de Magister. Option : Biologie et Pollution Marines*. 104p.

SAVY S., 1987. Les prédateurs de *Paracentrotus lividus* (Echinodermata). In: Boudouresque C.F. edit. *Colloque international sur Paracentrotus lividus et les oursins comestibles*. GIS Posidonie publ., Fr.: 413-423.

SDAGE, 2003. Connaissance et gestion de l'érosion du littoral. Guide technique n°9. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Fr.: 1-53.

SHORT F.T., WOLF J., JONES G.E., 1989. Sustaining eelgrass to manage a healthy estuary. In: *Proc. Sixth Symp. Coastal and Ocean Management / ASCE*. July 11-14, 1989, Charleston, SC: 3689-3706.

SKALAR ANALYTICAL, 1998. Manuel San Plus Analyser : SA 1050 (Random Access Auto Sampler). Breda (Netherlands), 23p.

SOLIS-WEISS V., ALEFFI F., BETTOSO N., ROSSIN P., 2004. Gli indicatori biologici nel benthos del Golfo di Trieste. *Biol. mar. Medit.* 11(2): 351-354.

SOUALILI D., DUBOIS P., PERNET P., GUILLOU M., 2008. Assesment of seawater pollution by heavymetals in the neighbourhood of algiers : use of the seaurchin, *Paracentrotus lividus*, as a bioindicator. - *ICES Journal Of Marine Science*, 65 : 132-139.

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

TEMPLADO J., 1984. Las praderas de *Posidonia oceanica* en el sureste español y sus biocénosis. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 159-172.

TEMPLADO-GONZALEZ J., 1982. Moluscos de las formaciones de Fanerogamas marinas en las costas de Cabo de Palos (Murcia). Tesis doctoral, Universidad Complutense Madrid, Spain: 1-351.

TRAER K., 1979. The consumption of *Posidonia oceanica* Delile by Echinoids at the isle of Ischia. In: *Proc. Eur. Colloquium on Echinoderms*, Brussels, 3-8 Sept. 1979: 241-244.

UNEP/IAEA, 1985a. Determination of total chromium in marine sediments by flameless atomic absorption spectrophotometry. (Draft) Reference Methods for Marine Pollution Studies, N°31, UNEP.

UNEP/IAEA, 1985b. Determination of total chromium in marine sediments by flameless atomic absorption spectrophotometry. (Draft) Reference Methods for Marine Pollution Studies, N°33, UNEP.

UNEP/IAEA, 1986. Determination of total chromium in marine sediments by flameless atomic absorption spectrophotometry. (Draft) Reference Methods for Marine Pollution Studies, N°38, UNEP.

USERO J., MORILLO J., GRACIA I., 2005. Heavy metal concentrations in molluscs from the Atlantic coast of southern Spain. *Chemosphere* 59, 1175-1181.

WARNAU M., LEDENT G., TEMARA A., BOUQUEGNEAU J.M., JANGOUX M., et DUBOIS P., 1995. Heavy metals in *Posidonia oceanica* and *Pracentrotus lividus* from seagrass beds of the north-western Mediterranean. *The science of the Total Environment* 171(1995) pp :95-99.

ZALOKAR M., 1942. Les associations "sous-marines" de la côte adriatique au-dessous de Velebit. *Bull. Soc. bot. Genève* 33: 171-195.

ZEGHDOUDI E., 2006. Modélisation bioéconomique des pêcheries méditerranéennes – Application aux petits pélagiques de la baie de Bou-Ismaïl-(Algérie). Master of science en economía y gestión de la actividad pesquera. Barcelona. 59p.
Workshop on Posidonia oceanica beds, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 137-144.

***Matière organique :**

<http://dictionary.sensagent.com/mati%C3%A8re+organique/fr-fr/> mai 2012

***Pollution marine selon GESAMP :**

<http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/dossiers/pollutionchimique/index.htm> avri
l 2012

***Matière en suspension :**

<http://www.scifa.univ-metz.fr/cours/dazy/Seance-5.pdf> juillet 2012

***Bioaccumulation, biomagnification (BEAUCHAMP2003) :**

<http://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/pol-litt/pol-litt.htm> mai 2012

Annexes

Annexe 1

Sources principales des contaminants métalliques étudiés (d'après **Adriano (2001)**; **Boucheseiche et al, (2002)** et **Meybeck et al, (2007) in Inal Ahmed, 2011**).

Élément métallique	Origines anthropiques
Mercure (Hg)	Piles, batteries, tubes fluorescents, industrie chimique du chlore, combustibles fossiles, incinération des déchets
Plomb (Pb)	Batteries, pigments, imprimerie, métallurgie, canalisations, raffinage
Zinc (Zn)	Galvanisation, imprimerie, teintures et pigments, insecticides, usure des pneumatiques, bâtiments et toitures

Annexe 2

Les principales industries dans la région de Bou-Ismaïl (Djerad, 2010).

Industrie textiles	Cuir et peaux	Papeteries	Plastiques, caoutchouc et verre
Ain Benian 28 Douaouda 02 Fouka 04 Bou-Ismaïl 08 Bouharoun 03	Staouali 01 Bou-Ismaïl 02 Ain Benian 01	Fouka 01 Zeralda 01	Ain Benian 03 Staouali 03 Bou-Ismaïl 01 Fouka 02

A ces sources de pollution potentielle, il convient d'ajouter les rejets domestiques des zones urbanisées, des activités de Thalassothérapie de Sidi Fredj et des zones portuaires (Port de Bouharoun, Khemisti, Tipaza, Sidi Fredj, El Djamila).

Annexe 3

Zones et stations retenues et leurs localisations

Zones et dates des prélèvements		Localisation des stations		Profondeur des prélèvements	Matrices prélevée
ZONE 1 : la plage de la Thalassothérapie	28/04/2012	A	φ : 36°45'37.15"N λ : 2°50'19.87"E	2 ± 0 ,5 m	Posidonie, oursins et sédiment
		B	φ : 36°45'34.67"N λ : 2°50'13.31"E		
		Z1S1	φ : 36°45'42.01"N λ : 2°50'17.51"E	1 ± 0,5 m	l'eau de mer
		Z1S2	φ : 36°45'35.31"N λ : 2°50'26.02"E		
		Z1S3	φ : 36°45'35.16"N λ : 2°50'20.97"E		
ZONE 2 : la plage de Tipaza (prés du port)	31/05/2012	C	φ : 36°35'49.60"N λ : 2°27'5.95"E	5 ± 1 m	Posidonie, oursins et sédiment
		D	φ : 36°35'46.73"N λ : 2°27'10.82"E		
		Z2S1	φ : 36°35'38.56"N λ : 2°27'8.49"E	1 ± 0,5 m	l'eau de mer
		Z2S2	φ : 36°35'42.01"N λ : 2°27'15.53"E		
		Z2S3	φ : 36°35'45.34"N λ : 2°27'21.82"E		
ZONE 3 : Front de mer (Bou-Ismaïl)	05/06/2012	E	φ : 36°39'13.16"N λ : 2°41'43.37"E	6 ± 1 m	Posidonie, oursin et sédiment
		F	φ : 36°39'17.06"N λ : 2°42'0.49"E		
		Z3S1	φ : 36°39'11.64"N λ : 2°41'59.78"E	1 ± 0,5 m	l'eau de mer
		Z3S2	φ : 36°39'11.71"N λ : 2°41'52.47"E		
		Z3S3	φ : 36°39'14.26"N λ : 2°41'48.65"E		
ZONE 4: el -Marsa (ex-Jean -Bart)	01/05/2012	A	φ : 36°49'51.99"N λ : 3°14'30.16"E	5 ± 0,5 m	Posidonie, oursin, sédiment
		B	φ : 36°49'54.90"N λ : 3°15'26.61"E		
		Z4S1	φ : 36°48'56.60"N λ : 3°14'40.23"E	1 ± 0,5 m	l'eau de mer
		Z4S2	φ : 36°49'27.90"N λ : 3°14'23.42"E		
		Z4S3	φ : 36°49'52.59"N λ : 3°14'11.66"E		

Annexe 4

Dosage de l'ammonium (SKALAR, 1998)

1-Réactifs :

1-1 solution tampon :

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Tartrate de potassium et de sodium $C_4H_4O_6KNa.4H_2O$33g.
- Citrate de sodium $C_6H_5O_7Na_3.2H_2O$24g.
- Acide sulfurique H_2SO_4 (1N).....X ml.
- Eau distillée H_2O1000ml.
- Brij 35 (30%).....0.5ml.

*préparation :

Dissoudre le Tartrate de potassium et de sodium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajouter le Citrate de sodium et dissoudre. Ajuster le PH à 5 avec la solution d'Acide sulfurique. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le Brij 35 et mélanger.

N.B : la solution est stable pendant une semaine. Conserver à $4^\circ C$ quand la solution n'est pas utilisée.

1-2 solution du phénol :

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Phénol C_6H_5OH83g.
- Hydroxyde de sodium $NaOH$40g.
- Eau distillée H_2O1000ml.

*préparation :

Dissoudre le phénol dans ± 50 ml d'eau distillée. Ajouter l'hydroxyde de sodium. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée et mélanger.

N.B : la solution est stable pendant une semaine.

1-3 solution d'hypochlorite de sodium :

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Solution d'hypochlorite de sodium $NaClO$ (13% de chlore actif).....200ml.
- Eau distillée H_2O800ml.

***préparation :**

Diluer la solution d'hypochlorite de sodium dans ± 700 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

1-4 solution de nitroprussiate de sodium :

***Les produits chimiques nécessaires sont :**

- Nitroprussiate de sodium $\text{Na}_2(\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$0.5g.
- Eau distillé H_2O1000ml.

***préparation :**

Dissoudre la solution d'hypochlorite de sodium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

N.B : conserver dans une bouteille à couleur sombre. La solution est stable pendant une semaine. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

1-5 liquide de rinçage :

Eau fraîchement distillée H_2O .

2-préparation des solutions étalons :

2-1 solution mère de 100ppm N :

***Les produits chimiques nécessaires sont :**

- Chlorure d'ammonium NH_4Cl0.3819g.
- Eau distillée H_2O1000ml.

***préparation :**

Dissoudre le chlorure d'ammonium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

N.B : *la solution est stable pendant 1 mois. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

*les concentrations des solutions étalons sont transformées en $\mu\text{mol/l}$ de NH_4^+ .

2-2 solutions fille de 10ppm N :

Diluer 10ml de la solution mère à 100ppm N dans 100ml d'eau distillée.

N.B : préparer la solution fille à 10ppm N chaque semaine et les standards chaque jour.

Annexe 5

Dosage des nitrites + nitrates(SKALAR, 1998)

1-Réactifs :

1-1 solution tampon :

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Chlorure d'ammonium NH_4Cl50g.
- Solution d'ammonium NH_4OH (25%).....±1ml.
- Hydroxyde de sodium NaOH5g.
- Eau distillée H_2O1000ml.
- Brij 35 (30%).....3ml.

*préparation :

Dissoudre le Chlorure d'ammonium dans 800 ml d'eau distillée. Ajuster le PH à 8.2 avec la solution d'ammonium. Ajouter l'hydroxyde de sodium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le Brij 35 et mélanger.

N.B : la solution est stable pendant une semaine. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

1-2 réactif colorant :

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Acide o-phosphorique H_3PO_4 (85%).....150ml.
- Sulfanilamide $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$10g.
- -Naphtyléthylène diamine dihydrochloride $\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2$0.5g.
- Eau distillée.....850ml.

*préparation :

Diluer l'acide o-phosphorique dans ±700ml d'eau distillée. Ajouter le sulfanilamide et le α-Naphtyléthylène diamine dihydrochloride et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée et mélanger.

N.B : la solution est stable pendant 2 semaines. Conserver dans une bouteille à couleur sombre.

1-3 liquide de rinçage :

Eau fraîchement distillée H_2O (régénéré chaque semaine).

2-préparation des solutions étalons :

2-1 solution mère de 100ppm N :

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Nitrate de sodium NaNO_30.6068g.
- Eau distillée H_2O1000ml.

*préparation :

Dissoudre le nitrate de sodium dans $\pm 800\text{ml}$ d'eau distillée. Ajuster à 1litre avec l'eau distillée et mélanger.

N.B : *la solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

*les concentrations des solutions étalons sont transformées en $\mu\text{mol/l}$ de N-NO_3^- ou de N-NO_2^- puis en $\mu\text{mol/l}$ de NO_3^- ou de NO_2^- .

2-2 solutions fille de 10ppm N :

Diluer 10ml de la solution mère à 100ppm N dans 100ml d'eau distillée.

N.B : préparer la solution fille à 10ppm N chaque semaine et les standards chaque jour.

3-préparation de la colonne réductrice :

3-1 solution d'acide hydrochlorique (4N) :

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Acide hydrochlorique HCl (32%).....400ml.
- Eau distillée H_2O600ml.

*préparation :

Diluer l'acide hydrochlorique dans 600ml d'eau distillée.

3-2 cadmium :

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Granules de cadmium tailles 0.3-1.0 mm tamisé.....2.5g.

*procédure de remplissage :

1- Les granules de cadmium sont mélangés avec $\pm 30\text{ml}$ de la solution d'acide hydrochlorique(4N) ;

2- Agiter pendant 1 minute ;

- 3- Ajouter environ 50ml de solution de sulfate de cuivre et agiter pendant 5min ;
- 4- Laver la saleté entre les granules avec l'eau distillée ;
- 5- Sécher les granules de cadmium ;
- 6- Ajouter, à l'aide d'un entonnoir, les granules dans une colonne sèche, en secouant de temps en temps pour empaqueter la colonne des deux côtés ;
- 7- Remplir jusqu'à ± 5 mm du sommet ;
- 8- Placer un petit morceau de tube en polyéthylène, dans la colonne pour éviter que les granules ne sortent de la colonne ;
- 9- Remplir la colonne à l'aide d'une seringue contenant la solution tampon ;
- 10- Placer la colonne dans le système.

N.B :* éviter que l'air rentre à la colonne.

*les granules de cadmium activés peuvent être stockés sec dans une bouteille bien fermée.

Annexe 6

Dosage des phosphates (SKALAR, 1998).

1-Réactifs :

1-1 solution de molybdate d'ammonium :

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Tartrate de potassium et d'antimoine $K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 0.5H_2O$230mg.
- Acidesulfurique H_2SO_4 (97%).....69.4 ml.
- Molybdate d'ammonium $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$6g.
- Eau distillée H_2O1000ml.
- FFD6.....2ml.

*préparation :

Dissoudre le tartrate de potassium et d'antimoine dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajouter soigneusement l'acide sulfurique en mélangeant constamment. Ajouter le molybdate d'ammonium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

N.B : ne pas employer des cuillères en métal pour le molybdate d'ammonium. La sensibilité peut être augmentée de 50% en employant 35ml 'acide sulfurique concentré au lieu de 69.4ml. Avec 35ml l'interférence des silicates est 10% pour 300 ppb Si et 10% pour 10 ppb P.

1-2 solution d'acide ascorbique :

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Acideascorbique $C_6H_8O_6$11g.
- Acétone C_3H_6O60ml.
- Eau distillée H_2O1000ml.
- FFD6.....2ml.

*préparation :

Dissoudre l'acide ascorbique dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajouter l'acétone. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

N.B : la solution est stable pendant 5 jours. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

1-3 liquide de rinçage :

Eau fraîchement distillée H₂O (régénéré chaque semaine).

2-Préparation des solutions étalons :

2-1 solution mère de 100ppm P:

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Dihydrogène o-phosphate de potassium KH₂PO₄.....0.4394g.
- Eau distillée H₂O.....1000ml.

*préparation :

Dissoudre le Dihydrogène o-phosphate de potassium dans ±800ml d'eau distillée. Ajuster à 1litre avec l'eau distillée et mélanger.

N.B : *la solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

*les concentrations des solutions étalons sont transformées en µmol/l de PO₄³⁻.

2-2 solutions fille de 10ppm P :

Diluer 10ml de la solution mère à 100ppm P dans 100ml d'eau distillée.

N.B : préparer la solution fille à 10ppm P chaque semaine et les standards chaque jour.

Annexe 7

Dosage du silicium dissous (SKALAR, 1998).

1-Réactifs :

1-1 solution d'acide sulfurique :

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Acide sulfurique H_2SO_4 (97%).....10 ml.
- Eau distillée H_2O990ml.
- FFD6.....2ml.

*préparation :

Diluer l'acide sulfurique dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

N.B : la solution est stable pendant une semaine. Conserver à $4^\circ C$ quand la solution n'est pas utilisée.

1-2 solution de molybdate d'ammonium :

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Molybdate d'ammonium $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$20g.
- Eau distillée H_2O1000ml.
- FFD6.....2ml.

*préparation :

Dissoudre le molybdate d'ammonium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

N.B : conserver dans une bouteille de polyéthylène. La solution est stable pendant un jour. Ne pas utiliser des cuillères en métal pour le molybdate d'ammonium.

1-3 solution d'acide oxalique :

*Les produits chimiques nécessaires sont :

- Acide oxalique $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$44g.
- Eau distillée H_2O1000ml.

***préparation :**

Dissoudre l'acide oxalique dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée et mélanger.

N.B : conserver dans une bouteille de polyéthylène. La solution est stable pendant 1 mois.

Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

1-4 solution d'acide ascorbique :

***Les produits chimiques nécessaires sont :**

- Acide ascorbique $C_6H_8O_6$40g.
- Eau distillée H_2O1000ml.

***préparation :**

Dissoudre l'acide ascorbique dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée et mélanger.

N.B : la solution est stable pendant une semaine. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

1-5 liquide de rinçage :

Eau fraîchement distillée H_2O .

N.B : changer l'eau quotidiennement. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

2-préparation des solutions étalons :

2-1 solution mère de 100ppm Si :

***Les produits chimiques nécessaires sont :**

- Métasilicates de sodium $Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$1.0119g.
- Eau distillée H_2O1000ml.

***préparation :**

Dissoudre le métasilicate dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée et mélanger.

N.B : *la solution est stable pendant 1 mois. Conserver dans une bouteille de polyéthylène.

*les concentrations des solutions étalons sont transformées en $\mu\text{mol/l}$ de SiO_4^- .

2-2 solutions fille de 10ppm P :

Diluer 10ml de la solution mère à 100ppm Si dans 100ml d'eau distillée.

N.B : *préparer la solution fille à 10ppm Si chaque semaine et les standards chaque jour.

* Conserver dans une bouteille de polyéthylène.

Annexe 8

Gammes-étalons pour le dosage des sels nutritifs

Gamme-étalons de l'ammonium

Standard	Concentration (μmol/l)	Hauteur de pic (unité digitale)
ST1	0,5330	655
ST2	1,0425	1282
ST3	1,4006	1722
ST4	2,0451	2514
ST5	0,3366	414
ST6	2,2514	2768

Gamme-étalons des nitrates

Standard	Concentration (μmol/l)	Hauteur de pic (unité digitale)
ST1	0,2506	29
ST2	0,4408	51
ST3	0,5877	68
ST4	0,7260	84
ST5	1,1841	137
ST6	1,2360	143

Gamme-étalons des nitrites Gamme-étalons des ortho-phosphates

Standard	Concentration (μmol/l)	Hauteur de pic (unité digitale)	Standard	Concentration (μmol/l)	Hauteur de pic (unité digitale)
ST1	0,2075	36	ST1	0,1437	97
ST2	0,3919	68	ST2	0,3628	246
ST3	0,5937	103	ST3	0,5789	392
ST4	0,7089	123	ST4	0,7995	541
ST5	1,1354	197	ST5	1,0392	703
ST6	1,2046	209	ST6	1,3381	906

Gamme-étalons de la silice

Standard	Concentration (μmol/l)	Hauteur de pic (unité digitale)
ST1	0,5585	59
ST2	1,2213	129
ST3	1,4573	154
ST4	1,9209	202
ST5	2,4225	255
ST6	5,0774	535

Annexe 9

Nettoyage du matériel pour la détermination des métaux traces

Réactifs

- HNO_3 (69% pour analyse, ISO, Merck) ;
- Détergent spécial de laboratoire (Micro) ;
- Eau Milli-Q déionisée ($>18 \text{ M}\Omega \text{ cm}$, Millipore).

Procédure

- Laisser tremper le matériel toute une nuit dans une solution de savon (Micro 2% dans de l'eau du robinet) dans un bac en plastique ;
- Rincer abondamment d'abord avec de l'eau du robinet, puis avec de l'eau Milli-Q ;
- Laisser tremper le matériel dans une solution d'acide nitrique 10% (v/v) pendant au moins 6 jours à température ambiante ;
- Rincer abondamment avec de l'eau Milli-Q (au moins 4 fois) ;
- Mettre le matériel à sécher sous une hotte à flux laminaire ;
- Stocker le matériel dans des sacs en polyéthylène fermés hermétiquement, pour prévenir le risque de contamination.

Annexe 10

Gammes-étalons pour le dosage des métaux lourds :

**Gamme-étalons du Mercure
pour les 3 matrices.**

Standards	[Hg] (µg/l)	Absorbance
Blanc	0	0,0000
Stand. n° 1	5	0,0249
Stand. n° 2	10	0,0526
Stand. n° 3	15	0,0966
Stand. n° 4	25	0,1663
Stand. n° 5	50	0,3434

**Gamme-étalons du Plomb
pour les 3 matrices.**

Standards	[Pb] (mg/l)	Absorbance
Blanc	0	0,0000
Stand. n° 1	0,5	0,0023
Stand. n° 2	1	0,0047
Stand. n° 3	2	0,0095
Stand. n° 4	5	0,0236
Stand. n° 5	7	0,0325

**Gamme-étalons du Zinc
pour les 3 matrices.**

Standards	[Zn] (mg/l)	Absorbance
Blanc	0	0,0000
Stand. n° 1	0,3	0,0372
Stand. n° 2	0,5	0,0741
Stand. n° 3	1	0,1308
Stand. n° 4	1,5	0,1818
Stand. n° 5	2	0,2507

Annexe 11

Résultats d'analyse des sels nutritifs dans les quatre zones d'étude
(mai 2012).

Stations	Nitrite [NO ₂ ⁻] µmol/l	Nitrate [NO ₃ ⁻] µmol/l	Ammonium [NH ₄ ⁺] µmol/l	Ortho-phosphate [PO ₄ ³⁻] µmol/l	Silicium dissout [SiO ₂] µmol/l
Z1S1	0,00989839	0,03716867	0,27369686	0,23936177	0,33084169
Z1S2	0,01583743	0,02240456	0,20604146	0,22285406	0,48078749
Z1S3	0,00989839	0,02540191	0,09225737	0,24761562	0,33084169
Z2S1	0,10884504	0,79535015	2,1984278	0,08593845	7,2754
Z2S2	0,27510529	0,21987511	1,25624512	0,63925661	3,7097
Z2S3	0,05231656	0,22359595	2,4878678	0,26792739	2,04605
Z3S1	0,21369984	0,90191751	1,82585063	0,67339921	52,80185
Z3S2	0,93238751	0,16727342	1,16839804	0,05683492	3,71775
Z3S3	0,02948348	0,07755728	2,14787776	0,06185878	0,37505
Z4S1	0,01385775	0,05968454	0,07073065	0,22285406	0,41263031
Z4S2	0,00791871	0,04797343	0,11378409	0,22698098	0,33084169
Z4S3	0,00989839	0,0283436	0,1414613	0,35078879	0,48078749

Annexe 12

Les concentrations de MES (mg/l) dans les eaux de surface des différentes zones d'étude.

Stations	Z1S1	Z1S2	Z1S3
MES (mg/l)	213,53	212,3	136,14
stations	Z2S1	Z2S2	Z2S3
MES (mg/l)	143,26	108,03	87,5
stations	Z3S1	Z3S2	Z3S3
MES (mg/l)	446,39	804,23	101,66
stations	Z4S1	Z4S2	Z4S3
MES (mg/l)	246,48	182,07	138,16

Les concentrations de MO (%) dans les eaux de surface des différentes zones d'étude.

Stations	Z1S1	Z1S2	Z1S3
MO %	7.55	9	3
stations	Z2S1	Z2S2	Z2S3
MO %	7.5	6.05	5.42
stations	Z3S1	Z3S2	Z3S3
MO %	8.33	40	5.94
stations	Z4S1	Z4S2	Z4S3
MO	6	4.5	2.55