

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للعلوم البحر و تهيئة الساحل
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer
et de l'Aménagement du Littoral



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

Option : Environnement

Thème :

**Contribution à l'étude de l'impact
de la pollution chimique
sur l'herbier à *Posidonia oceanica*
dans la baie d'El Djamila**

Présenté par : BOUDAA LYDIA & AYAT YAMINA

Soutenu le 15 Septembre 2013, devant le jury composé de :

| | |
|----------------|--------------|
| Mme. AISSOU C. | Présidente |
| Mme. GHALMI R. | Promotrice |
| Mme. HENDA A. | Examinatrice |
| Mme. MAHDID.S | Examinatrice |

Promotion 20012/2013

Remerciement

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

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

Nous remercions également M^{me} Aïssou C, M^{me} Henda A, et M^{me} Mahdïd S, qui nous ont fait l'honneur de bien vouloir constituer notre jury de thèse.

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

Nous présentons nos remerciements au club de plongé El Mordjane de Aïn El Beniane.

Nous tenons à remercier aussi le laboratoire de la police scientifique de châteaux neuf.

Nos vifs remerciements vont aussi à toutes les personnes et les amis qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

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

BOUDAA Lydia

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes Parents, a Mes frères Yacine et

Abdelhamid et ma sœur Asma, et toute

ma famille.

A ma binôme et amie Lydia, ainsi que mes

amis.

AYAT Yamina

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure I.1: classification de la pollution | 04 |
| Figure I.2: herbier a <i>Posidonia oceanica</i> | 05 |
| Figure I.3: les différents éléments constitutifs de <i>Posidonia oceanica</i> | 06 |
| Figure I.4 : fruit de <i>Posidonia oceanica</i> (« olives de mer »)..... | 07 |
| Figure I.5 : banquette de posidonie..... | 08 |
| Figure I.6 : feuilles mortes de <i>P.oceanica</i> | 08 |
| Figure I.7 : matre morte trouvée sur la plage de Sidi Fredj..... | 08 |
| Figure I.8 : répartition de la posidonie en méditerrané..... | 08 |
| Figure I.9 : <i>Posidonia oceanica</i> au grand ilot EL Aouana secteur de Taza (23 Avril 2010)..... | 08 |
| Figure I.10 : figure représentant les différentes espèces associées a l'écosystème a posidonie..... | 9 |
| Figure I.11 : chaine trophique de la posidonie..... | 10 |
| Figure II.1: Représentation des 3 zones d'étude (Baie d'El Djamila, plage de la Thalasso Thérapie, plage de la presque île de Sidi Fredj)..... | 18 |
| Figure II.2: Transit sédimentaire dans la région d'El Djamila (Google earth 2011)..... | 20 |
| Figure II.3: Baie d'El Djamila (Google earth 2008)..... | 23 |
| Figure II.4: Port d'El Djamila (Google earth 2008)..... | 23 |
| Figure II.5: Port de Sidi Fredj (Google Earth 2008)..... | 23 |
| Figure II.6: Débouche de l'Oued Béni Messous dans la baie d'El Djamila (Google earth 2008).... | 24 |
| Figure II.8: Localisation de la Plage Ouest de la presque île de Sidi Fredj (Google earth 2008).... | 25 |
| Figure II.9: Photos de la plage Ouest de la presque île de Sidi Fredj..... | 26 |
| Figure II.11: Plage de Thalasso Thérapie (Google earth 2008)..... | 26 |
| Figure II.12: Photos de la plage de Thalasso (Google)..... | 26 |

| | |
|---|-----------|
| <u>Figure III.1:</u> Histogramme des teneurs en MES (mg/l) dans les trois zones d'étude | 42 |
| <u>Figure III.2:</u> Histogramme des concentrations en nitrates dans les trois zones d'étude | 43 |
| <u>Figure III.3:</u> Histogramme des concentrations en nitrites dans les trois zones d'étude | 43 |
| <u>Figure III.4:</u> Histogramme des concentrations en orthophosphates dans les trois zones d'étude..... | 44 |
| <u>Figure III.5:</u> Histogramme des concentrations en silicates dans les trois zones d'étude..... | 45 |
| <u>Figure III.6:</u> Histogramme des concentrations en azote ammoniacale dans les trois zones d'étude . | 45 |
| <u>Figure III.7:</u> 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 | 48 |
| <u>Figure III.8:</u> 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 études antérieures..... | 49 |
| <u>Figure III.9:</u> 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..... | 50 |
| <u>Figure III.10:</u> 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..... | 54 |
| <u>Figure III.11:</u> 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..... | 55 |
| <u>Figure III.12:</u> 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..... | 56 |
| <u>Figure III.13:</u> 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..... | 58 |
| <u>Figure III.14:</u> 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..... | 59 |
| <u>Figure III.15:</u> 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..... | 59 |
| <u>Figure III.16:</u> Histogramme du facteur de biosédiment du Hg, Pb et Zn chez la Posidonie et l'ours commun de la zone d'El Djamila | 60 |

Figure III.17: Histogramme du facteur de biosédiment du Hg, Pb et Zn chez la Posidonie et l'oursin commun de la zone de la plage Ouest (Sidi Fredj)..... **60**

Figure III.18: Histogramme du facteur de biosédiment du Hg, Pb et Zn chez la Posidonie et l'oursin commun de la zone de Thalasso thérapie..... **61**

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| <u>Tableau I.1 :</u> classification de la magnioliophyte marine <i>Posidonia oceanica</i> (Kuo et Den Hartog, 2001)..... | 06 |
| <u>Tableau I.2 :</u> teneur critique des sols en métaux lourds pour la croissance des végétaux, des animaux et la contamination humaine (Singh, 1994 in Pagatto, 1999)..... | 17 |
| <u>Tableau II.1 :</u> Moyenne mensuelles des températures et la précipitation de l'air dans la région d'Alger (ONM 1993 à 2003)..... | 22 |
| <u>Tableau II.2:</u> Nombre d'habitants par commune (Office national de statistiques d'Alger, 2004)... | 24 |
| <u>Tableau II.3:</u> Choix et localisation des stations..... | 28 |
| <u>Tableau II.4:</u> Valeurs guides pour les métaux lourds ($\mu\text{g/g}$) par différents pays (ABRCM, 1980)... | 38 |
| <u>Tableau II.5:</u> valeurs de référence des teneurs métalliques dans les sédiments en (mg/kg)..... | 38 |
| <u>Tableau II.6:</u> Valeurs de l'indice de contamination (Alzieu et al., 1999)..... | 39 |
| <u>Tableau II.7:</u> Classification des herbiers 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)..... | 39 |
| <u>Tableau III.1:</u> Les résultats des paramètres physico-chimique | 40 |
| <u>Tableau III.2:</u> Les résultats des paramètres physico-chimiques..... | 41 |
| <u>Tableau III.3:</u> valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des sels nutritifs dans les eaux de surface des trois zones étudiées..... | 42 |
| <u>Tableau III.4:</u> Valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des concentrations en ETM dans les sédiments superficiels marins des zones étudiées..... | 46 |
| <u>Tableau III.5:</u> comparaison des statistiques de concentrations maximales en ETM dans le sédiment artificiel, exprimées en ($\mu\text{g/g}$) de poids sec(P.S) dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentale..... | 47 |
| <u>Tableau III.6:</u> valeurs de référence des teneurs métalliques dans les sédiments en (mg/kg)..... | 50 |
| <u>Tableau III.7:</u> Valeurs guides pour les métaux lourds ($\mu\text{g/g}$) par différents pays(ABRCM, 1980)..... | 50 |
| <u>Tableau III.8:</u> Indice de contamination en mercure, plomb, et zinc des sédiments dans les zones d'étude..... | 51 |

| | |
|--|-----------|
| <u>Tableau III.9:</u> Valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des concentrations en ETM dans les rhizomes de <i>Posidonia oceanica</i> des zones étudiées..... | 52 |
| <u>Tableau III.10:</u> comparaison des statistiques de concentrations maximales en ETM dans les rhizomes de posidonie, exprimées en (µg/g) de poids sec(P.S) dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales..... | 53 |
| <u>Tableau III.11:</u> Classification des herbiers de <i>Posidonia oceanica</i> en fonction de l'état de traces de contamination métallique par le mercure µg/g P.S. (Pergent-Martini et al., 2005)..... | 55 |
| <u>Tableau III.12:</u> Valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des concentrations en ETM dans les gonades de l'oursin commun <i>Paracentrotus lividus</i> des zones étudiées | 56 |
| <u>Tableau III.14:</u> Comparaison des concentrations maximales en ETM dans les gonades de l'oursin commun <i>Paracentrotus lividus</i> , exprimées en µg/g de poids sec (p .s) dans nos zones d'études avec différentes région de la méditerranée occidentale..... | 57 |

Sommaire

| | |
|---------------------------|-----------|
| Introduction | 01 |
|---------------------------|-----------|

Chapitre I: Généralités

| | |
|--|----|
| I. Pollution marine..... | 03 |
| I.1. Définition..... | 03 |
| I.1.1. Un polluant | 03 |
| I.1.2. Peut agir comme un polluant..... | 03 |
| I.2. Les différents types de polluant..... | 03 |
| I.3. La pollution chimique..... | 04 |
| II. L'écosystème a posidonie..... | 05 |
| II.1. Généralités sur l'herbier <i>Posidonia oceanica</i> | 05 |
| II.1.1. Présentation de la posidonie..... | 05 |
| II.2. Description..... | 06 |
| ➤ Caractéristiques physiques..... | 06 |
| ➤ Une croissance et une reproduction particulières..... | 07 |
| II.3. Répartition géographique..... | 08 |
| ➤ En Algérie..... | 08 |
| II.4. Exigence écologiques..... | 09 |
| II.5. Rôles de l'écosystème à posidonie..... | 09 |
| II.5.1. Rôle dans les équilibres écologiques du système littoral..... | 09 |
| II.5.1.1. Pôle de la biodiversité | 09 |
| II.5.1.2. Production primaire..... | 10 |
| II.5.1.3. Production d'oxygène..... | 11 |
| II.5.2. Rôle dans les équilibres physiques du système littoral..... | 11 |
| II.5.2.1. Stabilisation des fonds meubles..... | 11 |
| II.5.2.2. Atténuation de la puissance des courants et de la houle..... | 11 |
| II.5.2.3. Protection des plages..... | 11 |

| | |
|---|----|
| II.5.3.Rôle économique..... | 12 |
| II.5.3.1. une véritable frayère..... | 12 |
| II.5.3.2.Rôle de bio indicateur..... | 12 |
| II.6.Les menaces qui pèsent sur l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i> | 12 |
| II.6.1. Les aménagements du littoral..... | 12 |
| II.6.2. L'augmentation de la turbidité de l'eau..... | 13 |
| II.6.3. Le rejet des eaux usées..... | 13 |
| II.6.4. L'eutrophisation (blooms phytoplanctoniques)..... | 13 |
| II.6.5. Les espèces introduites..... | 13 |
| II.6.6. Les ancrages de bateaux..... | 13 |
| II.6.7. Le passage des chaluts..... | 13 |
| II.6.8. L'aquaculture..... | 13 |
| III. les paramètres indiquant l'état de santé de l'herbier à Posidonie..... | 14 |
| III.1.Les sels nutritifs..... | 14 |
| III.2.Différentes formes des sels nutritifs..... | 14 |
| ➤ Nitrites (NO ₂ ⁻) et nitrates (NO ₃ ⁻)..... | 14 |
| ➤ Ortho phosphates..... | 14 |
| ➤ Silicates..... | 14 |
| III.3.La matière en suspension MES..... | 15 |
| III.4. La matière organique..... | 16 |
| III.5.Les métaux lourds..... | 16 |
| ➤ Toxicité des métaux lourds..... | 17 |
| ➤ Le plomb (²¹⁰ Pb)..... | 17 |
| ➤ Le cadmium..... | 18 |

Chapitre II: Matériels & Méthodes

| | |
|-----------------------------------|----|
| I. Zones d'étude..... | 18 |
| I.1. Baie d'El Djamila..... | 18 |
| I.2.Facteurs physiques..... | 19 |
| I.2.1. Morphologie côtière..... | 19 |
| I.2.2. Morphologie littorale..... | 19 |

| | |
|---|----|
| ➤ Le phénomène d’amaigrissement..... | 19 |
| ➤ Le phénomène d’engraissement..... | 19 |
| I.2.3. Topographie sous marine..... | 19 |
| I.2.4. Sédimentologie..... | 20 |
| I.2.5. Réseau hydrographique..... | 21 |
| I.2.6. Hydrodynamisme côtière..... | 21 |
| I.2.7. Facteurs climatologiques..... | 21 |
| A. Température et précipitation..... | 21 |
| ➤ La température..... | 22 |
| ➤ La pluviométrie..... | 22 |
| 1. Une période hivernale..... | 22 |
| 2. Une période estivale..... | 22 |
| B. Les vents..... | 22 |
| 1. Une période hivernale..... | 22 |
| 2. Une période estivale..... | 22 |
| II. Les sources de pollution dans la baie d’el Djamilia..... | 23 |
| II.1. Les caractéristiques des eaux usées de l’oued Béni-Messous..... | 24 |
| III. Choix des stations de prélèvement..... | 25 |
| III.1. Plage Ouest de la presque île de Sidi Fredj..... | 25 |
| III.1.1 Caractéristiques du site..... | 26 |
| III.2. Plage de la Thalassothérapie..... | 26 |
| III.2.1. La plage de la thalassothérapie (sidi-Fredj)..... | 26 |
| IV. Prélèvements, échantillonnages et stockages..... | 27 |
| ❖ Bioaccumulation..... | 27 |
| ❖ Bioamplification..... | 27 |
| IV.1. Les sites de prélèvement dans les trois zones d’études..... | 28 |
| V. Les travaux en mer..... | 29 |
| V.1. Prélèvements de posidonies..... | 29 |
| V.2. Prélèvements d’oursins..... | 29 |
| V.3. Prélèvements de sédiments..... | 29 |

| | |
|---|----|
| V.4.Prélèvements d'eau | 30 |
| V.5. Les mesures in situ des paramètres physicochimiques..... | 30 |
| V.6.Paramètres descriptifs de l'herbier..... | 30 |
| VI. Travaux effectués au laboratoire..... | 30 |
| VI.1.La matière en suspension (MES)..... | 31 |
| VI.1.1.Matériel utilisé..... | 31 |
| VI.1.2.Principe de la méthode..... | 31 |
| VI.1.3.Mode opératoire..... | 31 |
| VI.2.La matière organique (M.O)..... | 32 |
| VI.2.1.Principe..... | 32 |
| VI.2.2.Mode opératoire..... | 32 |
| VI.3.Dosage des sels nutritifs..... | 32 |
| VI.3.1.Principe de dosage des sels nutritifs dans l'eau..... | 32 |
| VI.3.2.Analyse des sels nutritifs..... | 33 |
| ▪ Dosage de l'azote ammoniacal (NH ₄ ⁺)..... | 33 |
| ▪ Dosage des nitrites (NO ₂ ⁻)..... | 33 |
| ▪ Dosage des nitrates (NO ₃ ⁻)..... | 33 |
| ▪ Dosage des orthophosphates (PO ₄ ³⁻)..... | 34 |
| ▪ Dosage du silicium dissous (SiO ₂)..... | 34 |
| VI.3.3.Etalonnage..... | 34 |
| VI.4.Les métaux lourds..... | 34 |
| VI.4.1.Conditionnement du matériel utilisé..... | 34 |
| VI.4.2.Conservation du sédiment..... | 34 |
| VI.4.3.Prétraitement du sédiment pour l'analyse des métaux lourds..... | 35 |
| VI.4.4.Conservation et lyophilisation..... | 35 |
| VI.4.5.Broyage..... | 35 |
| VI.4.6.Minéralisation..... | 35 |
| VI.4.7.Principe de la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA)..... | 36 |
| VI.4.8.La loi d'absorbance en absorption atomique..... | 36 |
| VI.4.9.Etalonnage..... | 37 |

| | |
|---|----|
| VII. Les valeurs guides..... | 38 |
| VIII. Indice de contamination (IC)..... | 38 |
| IX. Bioconcentrations métallique..... | 38 |
| X. Relation entre le mercure et l'état de l'herbier de posidonie..... | 39 |

Chapitre III: Résultats & Discussions

| | |
|--|----|
| I. Résultats et Discussion..... | 40 |
| I.1. Les mesures in situ des paramètres physico-chimiques..... | 40 |
| I.2. La Matière organique..... | 41 |
| I.3. La matière en suspension..... | 41 |
| I.4. Les sels nutritifs..... | 42 |
| I.4.1.Les nitrates (NO_3^-)..... | 43 |
| I.4.2.Les nitrites (NO_2^-)..... | 43 |
| I.4.3.Les ortho-phosphates..... | 44 |
| I.4.4.Les silicates..... | 45 |
| I.4.5.L'Azote ammoniacale (NH_4^+)..... | 45 |
| I.5. Les éléments en trace métallique (ETM)..... | 46 |
| I.5.1.Résultats des analyses..... | 46 |
| I.5.1.1.Compartiment Sédiment..... | 46 |
| A. Interprétation des résultats..... | 48 |
| •Le mercure (Hg)..... | 48 |
| •Le plomb (Pb)..... | 48 |
| •Le zinc (Zn)..... | 49 |
| B. Détermination de l'indice de contamination IC..... | 50 |
| I.5.1.2.Matrice biologique..... | 52 |
| A. Compartiment Posidonie..... | 52 |
| •Le mercure (Hg)..... | 54 |
| A.1.Etat de l'herbier de posidonie..... | 55 |
| •Le plomb (Pb)..... | 55 |
| •Le Zinc | 56 |

| | |
|--|----|
| B. Compartiment Oursin (<i>Paracentrotus lividus</i>)..... | 56 |
| • Le mercure (Hg)..... | 58 |
| • Le Plomb (Pb)..... | 58 |
| • Le zinc (Zn)..... | 59 |
| C. Bioconcentrations des ETM..... | 60 |
| I.6. Discussion et observations générales | 62 |

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Conclusion Générale..... | 64 |
|---------------------------------|-----------|

| | |
|--|-----------|
| Perspectives et Recommandations | 65 |
|--|-----------|

Bibliographie

Annexes

Introduction

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

Le déclin des herbiers a été signalé quasiment partout dans le monde et, bien qu'il puisse avoir une origine naturelle, les activités humaines en sont souvent la cause (En effet, de par leur localisation géographique (petits fonds), les herbiers sont directement soumis aux impacts engendrés par les activités humaines. Ces pressions anthropiques sont nombreuses et impactent gravement la structure et le fonctionnement de ces écosystèmes, de manière directe ou indirecte, au travers de modifications environnementales et notamment des conditions de lumière, des teneurs en nutriments et de la dynamique sédimentaire. **Boudouresque et al., 2006**).

En Méditerranée, l'herbier à *Posidonia oceanica* constitue un puissant intégrateur de la qualité globale des eaux marines (**Pergent-Martini et al., 2005**).

Très largement distribué sur tout le littoral, particulièrement « réceptif » à la pollution (**Augier et al., 1984 ; Bourcier, 1989**) et aux agressions liées aux activités humaines (**Meinesz & Laurent, 1978 ; Boudouresque & Meinesz, 1982 ; Ardizzone & Pelusi, 1984 ; Tunesi & Boudouresque, 2006**), solidaire du fond, il rend compte, par sa présence et sa vitalité (ou sa régression matérialisée par des « mattes mortes »), de la qualité des eaux qui dérivent au-dessus de lui.

L'empreinte de la qualité des eaux sur les herbiers à *Posidonia oceanica* est permanente ; elle ne dépend pas du sens du vent ou des courants au moment de l'observation. Ainsi, de nombreux paramètres sont à même d'être enregistrés par l'herbier (**Pergent, 2006**).

Toutefois, si plusieurs de ces descripteurs sont à ce jour bien appréhendés (normalisation des mesures, grilles de qualité) et fournissent des informations fiables et reproductibles, pour d'autres, en revanche, le décryptage se poursuit (**Pergent et al., 1995**).

Un autre descripteur particulièrement intéressant à prendre en compte, même si sa standardisation est encore en cours, est la concentration en contaminants (**Pergent-Martini & Pergent, 2000**). En effet, comme de nombreuses magnoliophytes, *Posidonia oceanica* présente à la fois Un fort pouvoir de concentration en éléments traces, proportionnel aux teneurs présentes dans le milieu (**Augier, 1985 ; Capiomont et al., 2000 ; Pergent-Martini & Pergent, 2000 ; Baroli et al., 2001**), et une bonne résistance à la contamination métallique (l'espèce persiste au voisinage de sources importantes).

Aussi, *Posidonia oceanica* est souvent considérée comme un bio-indicateur de contamination métallique depuis de nombreuses années (**Pergent-Martini & Pergent, 2000 ; Campanella et al., 2001 ; Ferrat et al., 2003**).

En considérant toutes ces connaissances et en prenant compte de la potentialité de l'herbier à Posidonie, et l'obligation de sa surveillance et de sa protection ; en effet *Posidonia oceanica* et les herbiers qu'elle constitue sont devenus, au cours des dernières décennies, un objectif majeur de protection et de gestion du milieu marin en Méditerranée ; dans le cadre de notre recherche nous nous sommes intéressées à la baie d'El Djamila qui est souvent considérée comme faisant partie de la Baie de Bou Ismail et qui connaît de fortes activités anthropiques surtout en saison estivale.

Afin d'effectuer un état des lieux de l'herbier de posidonie dans la baie d'El-Djamila, et pour mieux comprendre le devenir des ces herbiers nous avons essayé de connaître les agents qui influent sur le développement et la régression de la posidonie, leur origines et Comment les mesurer, Et comment diminuer l'effet de ses agents sur le long terme.

Pour mener à terme notre recherche nous avons supposé que les principaux agents responsables de la régression de l'herbier à *Posidonia oceanica* seraient des polluants chimiques d'origine anthropique.

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

Le troisième chapitre est consacré aux différents résultats et interprétations des études de la pollution par les métaux lourds , les sels nutritifs, ainsi que l'étude des paramètres physico-chimiques, de la matière organique et de la matière en suspension.

Chapitre I :

Généralités

I. La pollution marine

I.1.Définition :

La notion de « pollution marine » englobe celle de la pollution de l'eau, mais aussi celle des sédiments marins, et plus généralement toutes les atteintes aux écosystèmes marins causées par des rejets de substances nuisibles par leurs impacts, quelles que soient leur nature ou quantité.

La pollution marine fait l'objet d'une définition, reconnue par l'ensemble de la communauté scientifique internationale (**GESAMP**) « groupe mixte d'experts chargés d'étudier les aspects scientifiques de la pollution des mers », 1991, 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.1.1. Un polluant :

Un polluant est par définition, un agent physique, chimique ou biologique qui dégrade le milieu dans lequel il se trouve. C'est une substance introduite ou présente dans l'eau, susceptible d'en changer l'équilibre ou d'en altérer la qualité (**Manfredi et Daniele, 1988**).

I.1.2. Peut agir comme un polluant:

Toute modification d'un processus physique qui conduit à accroître les flux d'énergie ou les niveaux de radiation dans l'environnement, ex Espèce allochtone introduite dans un écosystème éloigné de son aire d'origine.

I.2. Les différents types de pollution :

Il existe deux principaux critères utilisés pour classer les polluants en milieu marin (**Galaf et Ghannam, 2003**) (**Figure1**).

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

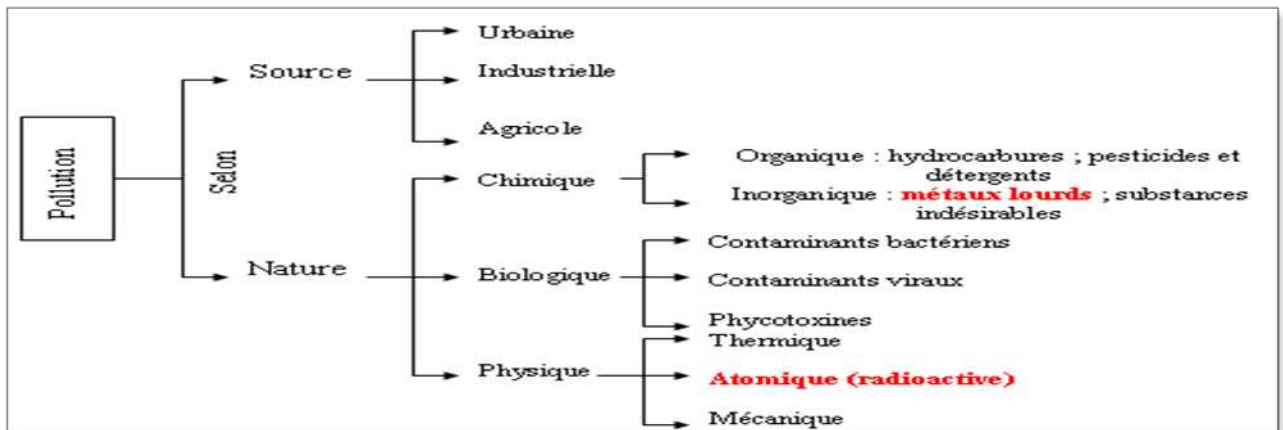


Figure 1 : classification de la pollution

I.3. La pollution chimique :

La pollution chimique est une des modalités possibles de la perturbation anthropique des milieux marins qui comprend aussi la pollution bactériologique, la pollution thermique, les effets liés à des apports de macro déchets, de matières sédimentaires ou l'introduction d'espèces allochtones.

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.

Concernant les substances chimiques, le mot pollution est nécessairement associé à l'observation d'effets néfastes sur la faune et la flore marine. En leur absence, il convient de parler plutôt de contamination chimique des milieux aquatiques, désignant la simple présence de substances dans le milieu. (Marchand & Kantin, 1995, 1996, 1997).

Ce type de pollution est engendré par des rejets de produits chimiques d'origine industrielle et domestique, ces polluants sont de deux catégories :

- Les micropolluants chimiques organiques : hydrocarbures, pesticides, détergents et autres, ces polluants sont appelés les polluants organiques permanents (POPs).
- Les micropolluants chimiques inorganiques : ils sont représentés essentiellement par les métaux lourds et des substances à concentration excessives.

Le danger de ces polluants dépend de leur nature biochimique. Certains sont hydrosolubles, facilement dilués par conséquent leur action est minime. D'autres sont disponibles avec un

pouvoir de se concentrer dans les lipides et par conséquent ils vont emprunter la chaîne alimentaire (Galaf., 2003).

L'observation de la qualité du milieu marin, l'évaluation des niveaux de contamination chimique, et de leurs variations spatiales et temporelles nécessitent la mise en œuvre de programmes de surveillance, tels que le RNO (Réseau National d'Observation), et l'existence d'outils analytiques performants et fiables. (Marchand & Brunot, 1997).

II. L'écosystème à Posidonie

II.1 Généralités sur l'herbier *Posidonia oceanica* :

II.1.1. Présentation de la posidonie :

La Posidonie *Posidonia oceanica* (L.) Delile, est une plante à fleurs sous-marine endémique de la Méditerranée.

Cette espèce est une plante à fleurs (magnoliophytes marines) présente sur une grande partie du littoral. Elle occupe environ 20 à 50 % de la surface des fonds marins et forme de vastes herbiers entre la surface et moins de 45 mètres de profondeur. Elle a été décrite par Linné en 1735 comme étant l'espèce dans son « systema Naturae » l'appelant *Zostera oceanica*. En 1813 Delile la renomme, *Posidonia oceanica*, d'où son nom complet *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile selon la nomenclature binomiale (Tableau 1)



Figure 2: Herbiers de *Posidonia oceanica*

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

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

II.2.Description :

➤ Caractéristiques physiques :

La plante est constituée d'un rhizome sur lequel se développent un ou plusieurs faisceaux de fines feuilles. Chaque feuille, d'une longueur de 20 à 80 cm, est composée d'une gaine basale et d'un limbe. Ce dernier est caduc et se détache à l'automne. La gaine basale, quant à elle, reste fixée au rhizome, devenant alors une écaille peu putrescible.

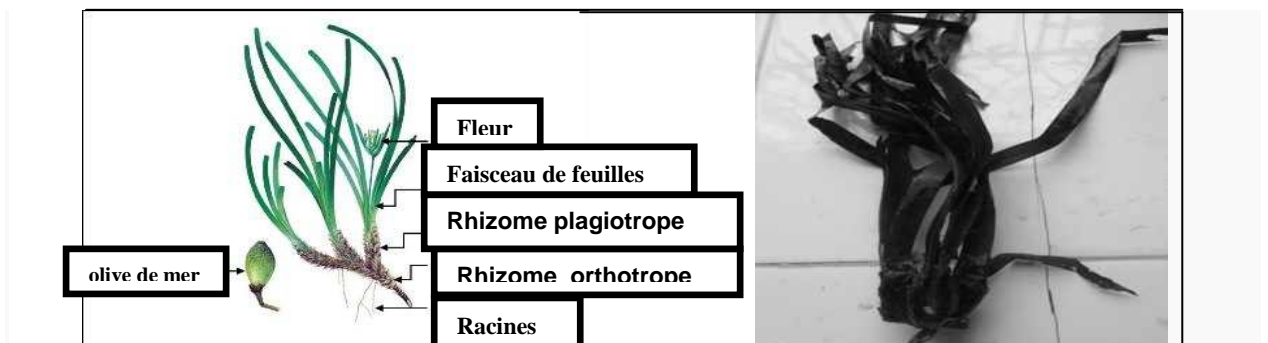


Figure 3 : Les différents éléments constitutifs de *Posidonia oceanica*.

Posidonia oceanica se développe en "gerbes" plus ou moins continues : ce sont les herbiers. Ces derniers revêtent des aspects visuels très différents.



Figure 5 : Banquette de posidonie



Figure 6 : feuilles mortes de *p.oceanica*



Figure 7 : matte morte trouvée sur la plage de Sidi- Fredj

II.3.Répartition géographique :



Figure 8: repartition de la posidonie en méditerranée.

Posidonia oceanica (**Figure 8**) est une espèce endémique de la Méditerranée ; elle est présente dans presque tout le bassin méditerranéen (**Boudouresque, 2006**). A l'ouest, elle disparaît un peu avant le détroit de Gibraltar (**Conde Poyales, 1989**). A l'est, elle est absente des côtes d'Égypte (à l'Est du delta du Nil), de Palestine, d'Israël, du Liban (**Por, 1978**) et de la Syrie.

Elle ne pénètre pas en mer Noire. Enfin, elle est rare ou absente dans l'extrême nord de l'Adriatique (**Zalokar, 1942 ; Gamulin-Brida, 1974**) et le long des côtes languedociennes (**Boudouresque & Meinesz, 1982**).

L'herbier occupe une surface de 20 à 50 % des fonds entre 0 et 50 m. En considérant que l'herbier occupe une surface restreinte de 1 à 2 % des fonds de la Méditerranée, il est estimé à 3,5 ou 3,7 millions d'hectares (**Rico-Raimondino, 1995 ; Pasqualini, 1997**).

➤ En Algérie :



Figure 9 : *Posidonia oceanica* au grand îlot El Aouana secteur marin de Taza (23 Avril 2010)

Particulièrement concentrée au niveau des caps, *P. oceanica* est la phanérogame marine la plus répandue sur les côtes algériennes, elle s'étend entre 0,5m et 30m de profondeur formant de vastes herbiers dont les surfaces occupées demeurent modestes en raison de l'étroitesse du plateau continental algérien (**Boumaza, 2003**).

II.4.Exigence écologiques :

P.oceanica craint la dessalure, il leur faut généralement une salinité comprise entre 36 et 39 PSU, donc *P.oceanica* est sténohaline, ne pouvant survivre en dessous de 33‰ (Ben Alaya, 1972). L'espèce résiste aux salinités élevées, tel que 41‰ qui constitue sa limite supérieure de tolérance (Ben Alaya, 1972).

Sur substrat dur ou meuble, ces herbiers constituent l'un des principaux climax. Ils tolèrent des variabilités d'amplitude en ce qui concerne la température (9,0 et 29,2°C) (Augier *et al.*, 1980 ; Robert, 1988). Par contre *P. oceanica* craint un hydrodynamisme trop intense car il a fragilisé donc en mode battu, l'herbier ne s'approche pas à plus de 1 ou 2 m de la surface. (Augier et Boudouresque, 1979).

Comme l'ensemble des magnoliophytes, *Posidonia oceanica* est très sensible à la disponibilité en lumière et ne peut survivre en dessous de 10 à 16% de l'irradiance de surface (Alcoverro *et al.*, 2001 ; Ruiz & Romero, 2001). La lumière constitue l'un des facteurs les plus importants pour la répartition et la densité des herbiers à *Posidonia oceanica* (Elkalay *et al.*, 2003).

II.5.Rôles de l'écosystème à posidonie :

II.5.1.Rôle dans les équilibres écologiques du système littoral :

II.5.1.1. Pôle de la biodiversité :

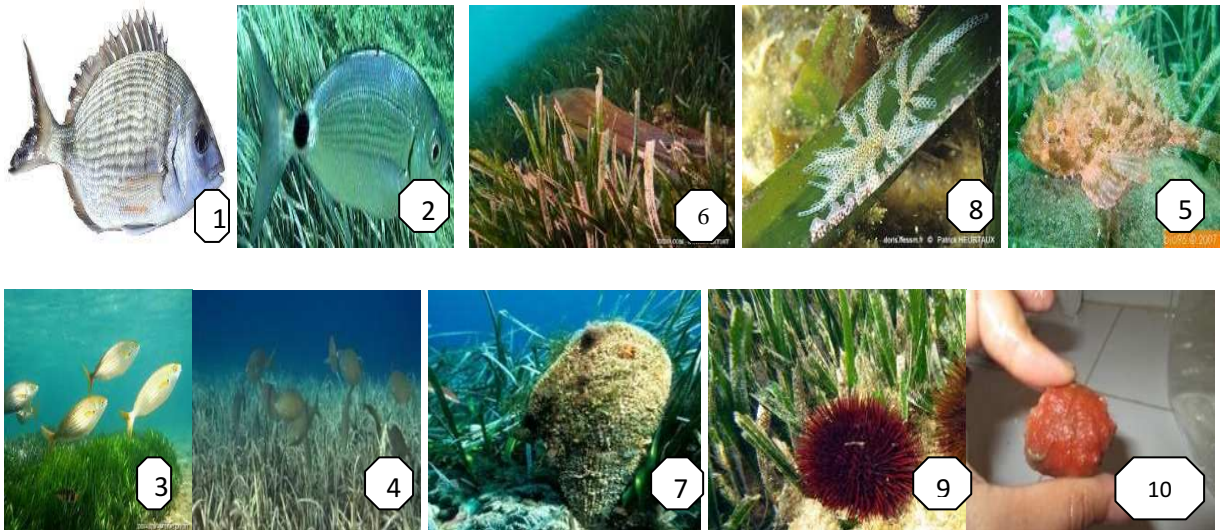


Figure 10 : figure représentant les différentes espèces associées à l'écosystème à Posidonie

L'herbier de posidonie est l'écosystème le plus productif de la planète (*in* Duarte et Chiscano, 1999 ; Templado, 2004).

La matte héberge une faune particulièrement riche et variée (Bellan-Santini *et al.*, 1986 ; Francour, 1990 ; Somaschini *et al.*, 1994).

L'herbier constitue un univers à lui tout seul (écosystème) le réseau compact de racines et de tiges (la matre) abrite une foule d'animaux juvéniles ou/et adultes. Sars(1), oblades(2), saupes(3), castagnoles(4), chapons et autres rascasses(5), poulpes(6), grande nacre(7), bryozoaires (électre)(8), oursins brun(9), ascidies(10)...



C'est un maillon important de la chaîne alimentaire puisque les oursins et les saupes (poissons herbivores) en font leur écosystème. Le sublet qui est présent uniquement en Méditerranée y vit.



Figure 11 : Chaîne trophique de la posidonie

II.5.1.2. Production primaire :

Les quantités de matière I^{aire} (feuilles, épiphytes des feuilles) sont la base de la chaîne trophique au sein de l'écosystème qui en assimile une très faible part.

Des quantités importantes sont en partie stockées dans la matre ou dégradées par les détritivores, en partie exportées vers d'autres écosystèmes, et en partie contribuent à l'enrichissement des fonds marins par l'exportation des feuilles mortes. Cette production I^{aire} est comprise entre 5 et 10 t/ha/an uniquement pour les feuilles (**Pergent et al., 1994**).

II.5.1.3. Production d'oxygène :

Poumon de la Méditerranée grâce aux quantités importantes d'oxygène produites, suite à la photosynthèse et à la forte densité des faisceaux de feuilles. A 10 m de profondeur, 1m² d'herbier dégage environ 14 l d'oxygène/ jour (**Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Bell et Harmelin-Vivien, 1982 ; Bellan-Santini *et al.*, 1994 ; Francour, 1997 ; Boudouresque, 2004**).

II.5.2.Rôle dans les équilibres physiques du système littoral :

II.5.2.1. Stabilisation des fonds meubles :

L'herbier à *Posidonia oceanica* retient le sédiment dans son lacis de rhizomes et favorise le piégeage des particules. (**Gacia et Duarte, 2001 ; Sdage, 2003**), ce qui permet une bonne transparence des eaux au niveau de l'herbier (**Grissac et Boudouresque, 1985**).

II.5.2.2. Atténuation de la puissance des courants et de la houle :

L'herbier de posidonie constitue une barrière végétale naturelle, qui permet de freiner et d'amortir la force des houles et des courants, contribuant au ralentissement de l'érosion des plages (**Jeudy de Grissac et Boudouresque, 1985**).

II.5.2.3. Protection des plages :

A la fin de l'été et en automne on observe une formation de banquettes de feuilles mortes de *Posidonia oceanica* qui protègent les plages de l'érosion lors des tempêtes hivernales (**Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Jeudy de Grissac et Audoly, 1985 ; Chessa *et al.*, 2000; Sdag, 20e03**).

Ces banquettes sont une sorte de protection du littoral puisque le retrait de ce dernier peut s'accompagner d'un recul du trait de côte (**Pasqualini, 1997**).

II.5.3.Rôle économique :

II.5.3.1. une véritable frayère :

L'herbier se caractérise par un développement d'espèces particulières d'intérêt commercial remarquable en leur fournissant une frayère et une nurserie de premier ordre (**Le Direach et Francour, 2001**).

Cet écosystème est à l'origine d'une exportation significative de richesse biologique (en termes d'espèces et de nourriture) vers d'autres biotopes plus recherchés (**Pergent, 2006**).

La valeur économique de l'herbier à *Posidonie* est la plus élevée (10 fois supérieure aux forêts tropicales et 3 fois plus que les récifs coralliens) (**Costanza et al., 1997**).

II.5.3.2. Rôle de bio indicateur :

Rend compte par sa présence et sa vitalité de la qualité des eaux (empreinte de la qualité)

Indicateur biologique global de la qualité du milieu marin par sa position sur le littoral qui l'expose aux activités humaines, et par sa sensibilité aux perturbations qui en découlent (**Pergent et al., 1995**).

Indicatrice de la turbidité moyenne des eaux car elle détermine la limite inférieure de l'herbier, puisque en présence de forte turbidité l'incidence du rayonnement solaire diminue en profondeur, alors la photosynthèse est ainsi limitée, tandis que l'extension bathymétrique maximale (limite inférieure) de l'herbier remonte (**Boudouresque et Meinesz, 1982**).

Le type de limite peut nous renseigner sur l'évolution temporelle de la transparence des eaux (**Boudouresque et Meinesz, 1982**).

Indication de la concentration en polluants stables (**Pergent-Martini et Pergent, 2000**).

Ceci grâce aux bio essais réalisés sur la posidonie, pour des expériences de contamination artificielle (**Ferrat et al., 2002**).

Capacité de mémorisation des teneurs anciennes alliée à la datation par lépidochronologie (**Pergent-Martini, 1999**).

II.6. Les menaces qui pèsent sur l'écosystème à *Posidonia oceanica* :

II.6.1. Les aménagements du littoral :

Recouvrement et destruction irrémédiable des herbiers de *Posidonie* là où ils se développaient depuis plusieurs millénaires. Modification des apports de sédiments et risque de déchaussement ou d'ensevelissement des rhizomes provoquant l'écroulement de l'herbier (en d'autres termes une régression des limites inférieure et supérieure) (**Meinesz et al., 1985**).

II.6.2. L'augmentation de la turbidité de l'eau :

Etouffement des herbiers en raison de la mise en suspension des particules fines rejetées en mer qui réduisent la quantité de lumière incidente et perturbent ainsi la photosynthèse. Ce qui entraîne une régression des herbiers, et donc une moins bonne oxygénation du milieu (**Tunusi et Boudouresque, 2006**).

II.6.3. Le rejet des eaux usées :

Risque de diminution de la transparence de l'eau nuisant au bon fonctionnement de la photosynthèse de la plante (**Pergent-Martini, 1994**).

II.6.4. L'eutrophisation (blooms phytoplanctoniques) :

Surcharge en épiphytes sur les feuilles, ayant pour conséquence une diminution de la photosynthèse avec chute accélérée des feuilles (**Meinesz et al., 1986**).

II.6.5. Les espèces introduites :

En particulier sur leur fondes, dont le développement maximum se produit en automne, masquant la lumière parvenant aux Posidonies. Il s'ensuit une compétition pour l'espace et la lumière entre les deux végétaux avec des risques d'entraîner un appauvrissement de la diversité (**Boudouresque, 2006**).

II.6.6. Les ancrages de bateaux :

Altération notable de l'herbier de posidonie surtout lorsqu'ils sont concentrés sur certains secteurs (**Boudouresque et al., 1988**).

II.6.7. Le passage des chaluts :

Altération notable de l'herbier de posidonie surtout dans certains secteurs où elle est concentrée (**Porcher, 1984 ; Boudouresque et al., 1988**).

II.6.8. L'aquaculture :

Les fermes aquacoles en particulier les fermes piscicoles perturbent la stabilité écologique du milieu littoral, par les rejets importants d'éléments organiques (**Tunusi et Boudouresque, 2006**).

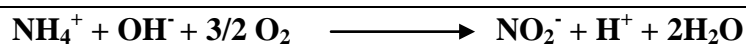
III. les paramètres indiquant l'état de santé de l'herbier à**Posidonie:****III.1. Les sels nutritifs:****Définition :**

Les sels nutritifs appelés aussi nutriments sont des éléments chimiques indispensables à la synthèse autotrophe de la matière organique. Ces sels représentent l'ensemble de l'azote (15%), du phosphore (3%) et du silicium (**Aubert *et al.*, 1972**). Le phytoplancton a besoin de ces sels nutritifs qu'il trouve dans le milieu marin pour sa croissance, son développement et la formation de son squelette. Les faibles concentrations d'éléments nutritifs dans le milieu marin, minimisent la photosynthèse tandis que les excès provoquent une eutrophisation du milieu, qui se traduit par une importante croissance de certaines espèces phytoplanctoniques. On trouve très souvent une augmentation considérable des concentrations en sels nutritifs près des estuaires et les milieux portuaires (**Aminot., 1983**).

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

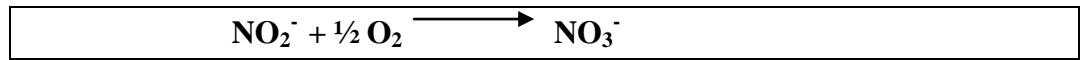
III.2. Différentes formes des sels nutritifs :➤ **Nitrites (NO₂⁻) et nitrates (NO₃⁻) :**

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



Ils sont issus aussi de la réduction des nitrates dans les milieux anoxiques ou pauvres en oxygène et aussi des excréctions des organismes. Puisque les nitrites sont des formes intermédiaires relativement fugaces entre l'ammonium et les nitrates, leur concentration dans l'eau de mer varie de 0 à quelques micromoles par litre. Dans des cas rares, leurs teneurs peuvent atteindre 10 à 20 μmoles/l (phénomène de dénitrification). Les zones de remontée d'eau profonde où la production primaire est forte, sont enrichies en nitrites provenant de l'excrétion directe ou de la décomposition des composés azotés rejetés par les organismes (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Les nitrates résultent de l'oxydation des nitrites par des bactéries (nitrobacter) appelée nitrification qui s'effectue selon la réaction suivante :



L'ion nitrate qui est thermodynamiquement stable est l'élément le plus utilisée lors de la photosynthèse, (**Copin-Montégut, 1996**) et la plus répandue dans l'océan (environ 65% du stock de l'azote). Etant une substance nutritive, sa concentration varie très largement. Les teneurs les plus élevées se situent au niveau des eaux intermédiaires.

➤ **Ortho phosphates :**

Les orthophosphates sont la forme minérale majoritaire du phosphore (**Aminot et Chaussepied, 1983**). Dans l'eau de mer, ils sont présents essentiellement sous les deux formes PO_4^{3-} (10%), HPO_4^{2-} (87%); H_2PO_4^- représentant moins de 1% (**Riley et Chester, 1971 ; Jacques et Tréguer, 1986**)

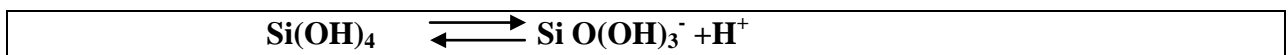
Ces différentes formes sont issues de la dissociation de l'acide orthophosphorique selon les équilibres suivants :



➤ **Silicates :**

Le silicium est un élément nutritif puisqu'il est utilisé par certaines espèces planctoniques (diatomées, radiolaires,...) pour l'élaboration de leur squelette siliceux (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Le silicium est présent, en solution dans l'eau de mer sous forme de d'acide silicique Si(OH)_4 qui est un acide faible se dissociant de la façon suivante :



III.3.La matière en suspension MES :

Les matières en suspension dans l'eau de mer sont des matières minérales ou organiques de dimensions très variables, elles englobent aussi le plancton et les particules sédimentaires.

Les MES comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à 0.45 μm et elles peuvent être un indice de pollution.

Leur principal effet est de troubler l'eau, diminuant le rayonnement lumineux indispensable pour une bonne croissance des végétaux au fond des cours d'eau (la photosynthèse).

Des teneurs élevées en matières en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique et créer des déséquilibres entre diverses espèces. Elles peuvent aussi interférer sur la qualité d'une eau par des phénomènes d'adsorption notamment de certains éléments toxiques, et de ce fait, être une voie de pénétration d'éléments toxiques plus ou moins concentrés dans l'organisme.

Selon leur nature, elles sont également une source nutritive non négligeable pour la faune (**Rodier et al. 2005**).

III.4. La matière organique :

La matière organique est un facteur édaphique dont l'excès peut entraîner une forte consommation d'oxygène, elle est issue selon son origine externe flore continentale, des déchets domestique, fumées des usines par la pluie et ruissellement ; ou d'origine interne de la décomposition de la matière organique planctonique et benthique.

III.5. Les métaux lourds:

Bien que le terme « *métaux lourds* » soit abondamment utilisé, et ce même dans la littérature scientifique, il n'a pas de réelle définition scientifique ou juridique unanimement reconnue (**Deschamps et al., 2006**).

Parmi les éléments les plus couramment désignés par le terme métal lourd on trouve : le vanadium, le chrome, le cobalt, le nickel, le cuivre, le zinc, l'arsenic, le sélénium, le plomb, le cadmium, le mercure...etc.

D'autre part le terme « *métaux traces* » est aussi souvent utilisé pour décrire ces même éléments, car ils se retrouvent souvent en très faible quantité dans les eaux et les solides (**Ramade, 2002**), certains de ces éléments à l'état de traces, sont essentiels pour les organismes vivants tel le Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Cr, V, Mo, Se et Sn, mais l'augmentation de leur concentration peut aboutir à des phénomènes de toxicité, alors que d'autres ne produisent que des effets néfastes tel le Pb, Hg et Cd (**Bonnet, 2000**).

La toxicité des métaux lourds vis-à-vis des organismes vivants dépend de leur nature, leur concentration, leur mode d'action, leur spéciation et leur biodisponibilité (**Bonnet, 2000**).

Les métaux lourds : Plomb (Pb), Zinc (Zn,) et le Mercure (Hg) sont les contaminants étudiés dans le cadre de ce travail. Ce sont trois métaux fréquemment rencontrés dans les sédiments pollués, ils ont été sélectionnés parmi les autres pour leur différence de mobilité dans les sols, et leur comportement chimique relativement connu.

Toxicité des métaux lourds :

Du fait de leur toxicité, les métaux lourds peuvent constituer des éléments perturbateurs pour les écosystèmes (**Alloway, 1995**). Ils peuvent aussi constituer un réel problème de santé publique (**Baize, 1997 in Lassabatere, 2002**), et cela à partir d'un certain seuil de contamination (**Tableau 2**).

Tableau 2 : teneur critique des sols en métaux lourds pour la croissance des végétaux, des animaux et la contamination humaine.

(**Singh, 1994 in Pagatto, 1999**).

| <i>Métal</i> | <i>Plomb</i> | <i>Zinc</i> | <i>Cuivre</i> | <i>Cadmium</i> |
|------------------------|--------------|-------------|---------------|----------------|
| <i>Teneur critique</i> | 200 | 400 | 100 | 8 |

(mg/kg de matière sèche)

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

Chapitre II :

Matériel
&
Méthodes

I. Zones d'étude :

I.1. Baie d'El Djamila :

Situation géographique :

La baie d'El Djamila est une baie relativement fermée à une trentaine de kilomètre à l'Ouest d'Alger et ayant presque 6 km de côte. Elle représente le quart oriental de la baie de Bou Ismail.

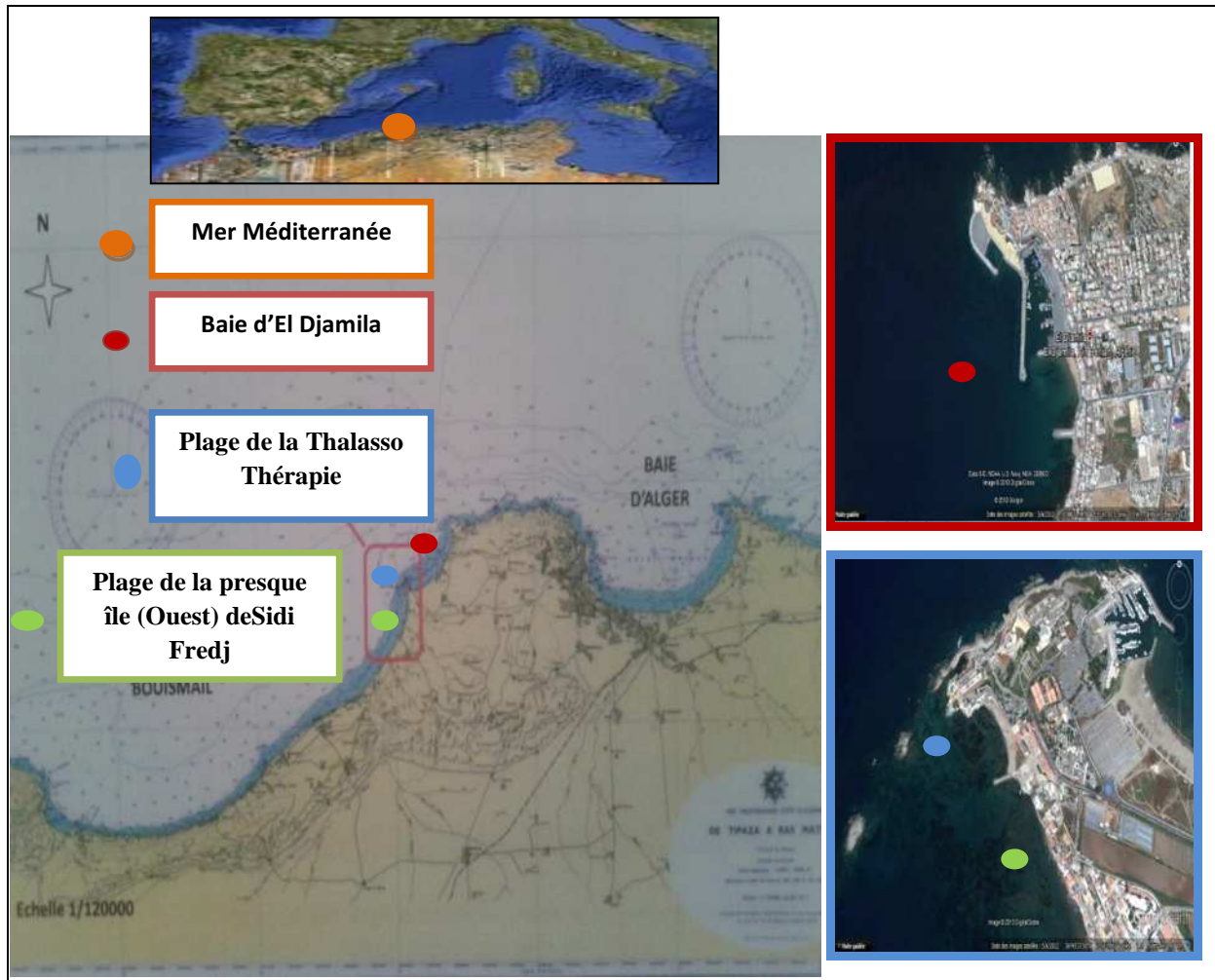


Figure II.1 : Représentation des 3 zones d'étude (**Baie d'El Djamila, plage de la Thalasso Thérapie, plage de la presque île de Sidi Fredj**)

Il s'agit d'une côte sableuse basse dont le rivage est orienté Sud Ouest-Nord Est, limitée du côté Est par le Ras Acrata, du côté Ouest par la presque île de Sidi Fredj. Ses coordonnées géographiques sont :

2°53'42.792''Est et 36°48'5.796''N ; Ras Acrata.

2°50'54.744''Est et 36°45'43.092''N ; Port de Sidi-Fredj.

I.2 Facteurs physiques :

I.2.1. Morphologie côtière :

Une grande partie du linéaire côtier est caractérisée par des accumulations sableuses d'origine marine et éolienne.

Le côté Ouest de la baie, entre l'embouchure de l'Oued Béni Messous et le port de Sidi-Fredj, est bordé par un cordon dunaire. Ces dunes sont limitées par des plages plus au moins large.

L'Oued Béni Messous qui limite la baie est situé à environ 5km à l'Est de Sidi Fredj. Il prend source dans le grand Chéraga, traverse les communes de Bouzaréah, Delly Ibrahim et Ain El Bénian et débouche au niveau d'une plage appelée « Les Dunes ».

A l'Est de cette embouchure le littoral est taillé en falaises, par endroits, qui dominent la mer.

I.2.2. Morphologie littorale :

La baie d'El Djamila a des plages dont la lithologie est très variée. Il s'agit d'une zone suffisamment ouverte qui reçoit fréquemment d'importantes houles Ouest induisant l'amaigrissement de certaines parties de ses plages.

- **Le phénomène d'amaigrissement :** les plages les plus exposées à l'action hydrodynamique de la houle sont les plages de Sahel et Club des pins vu qu'elles reçoivent de fortes houles Nord Ouest en hiver.
- **Le phénomène d'engraissement :** les sables transportés par la dérive littorale Nord Est et entraînés vers le Sud Ouest forment une zone d'accumulation de l'ombre de la jetée Sud du port de Sidi Fredj qui est relativement protégé des houles Ouest pendant la saison hivernale.

I.2.3. Topographie sous marine :

La baie d'El Djamila se caractérise par une topographie sous marine à pente douce régulière d'Ouest en Est, suite à la dérive littorale et aux transferts côtiers de sédiment, le régime de sédimentation est uniforme et très instable dans l'espace et dans le temps (**Bakir, 1987**).

Parmi les perturbations morphologiques du fond marin qui existent :

- La présence de deux fosses dans la partie Est de la baie entre les profondeurs 15 à 19m et 18 à 22m.
- La présence des petits hauts fonds reflétant l'existence des dunes hydrauliques entre 14 et 15m profondeur.

I.2.4. Sédimentologie :

On se référant à l'étude sédimentologique effectuée par le **LEM(Laboratoire d'Etude Maritime) en 1995**, la dynamique sédimentaire dans la région d'El Djamila (**Figure II.2**) est animée essentiellement par :

- La dérive littorale due aux houles de l'Ouest.
- Le courant de retour provoqué par les houles Ouest-Nord-Ouest d'incidence frontale.
- Les houles Ouest-Nord-Ouest qui engendrent un courant de retour. Les houles vont reprendre les sédiments déposés latéralement et les dépose vers le large.
- Les houles de direction Ouest-Nord-Ouest sont les houles qui ont le plus d'impact sur le site.
- La dérive littorale due aux houles de l'Ouest transporte les sédiments vers l'Est.

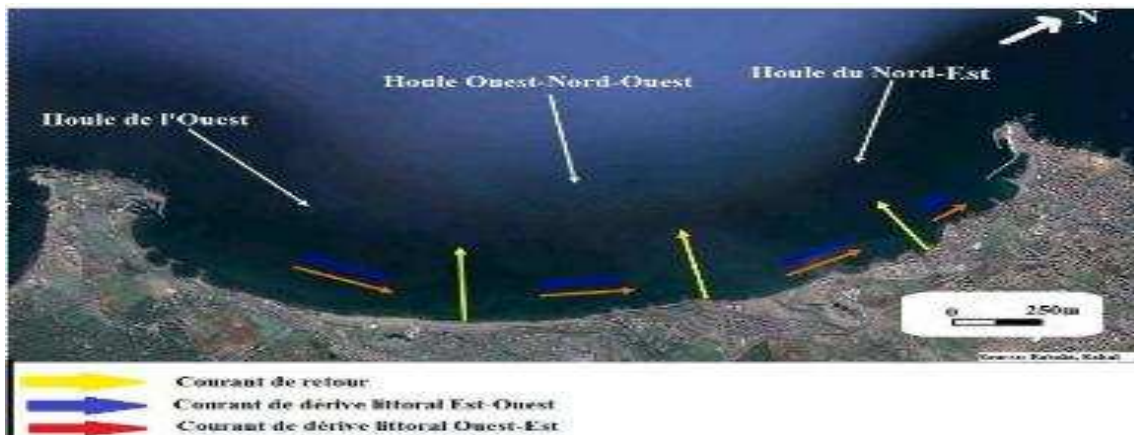


Figure II.2 Transit sédimentaire dans la région d'El Djamila (**Google Earth 2011**)

On note la dominance du sable grossier surtout au voisinage du port. Ces sédiments sont bien classés au niveau de la côte et à l'Est du port. Une dynamique importante est provoquée par l'intensité des houles de l'Ouest (Nord- Ouest et Ouest-Nord-Ouest).

Dans le port, le sédiment est constitué principalement de sables très fin ou de vase (**Bellahsene, 2005**).

I.2.5. Réseau hydrographique :

L'oued Béni Messous:

Se situe à 15km à l'Ouest d'Alger entre El Djamila et Club des pins, alimente la baie d'El Djamila. Il prend source dans le grand Chéraga : il traverse les communes de Chéraga au Nord, Bouzaréah au niveau d'une agglomération appelée « la tribu » au Nord Est, Dely Brahim à l'Est et Ain Benian à l'Ouest et débouche au niveau d'une plage appelée « les dunes » à environ 2km à l'Ouest du port d'El Djamila sur une distance de 11,5 km, regroupe l'Oued Defla et l'oued Baïnem.

Son bassin versant est réduit, il est souvent sec, ses eaux sont essentiellement des eaux usées domestiques et industrielles, avec un débit volumique de $0,245\text{m}^3/\text{s}$ sauf lors des fortes pluies ou il peut raviner une quantité non considérable de sédiment (Aouidad, 1997).

I.2.6. Hydrodynamisme côtière :

L'hydrodynamisme est important dans cette zone. La présence de certains affleurements rocheux d'une part et la forme caractéristique de la baie fait que l'hydrodynamisme s'accroît au niveau du Cap de Sidi Fredj et le massif de Chenoua où le plateau continental est étroit. Ceci entraîne un transfert permanent de sédiments vers la partie Est de la baie.

Au niveau de la côte et à l'Est du port d'El Djamila, la dynamique sédimentaire est importante, provoquée par l'intensité des houles de l'Ouest, Nord Ouest et Ouest Nord Ouest et on note une dominance des sables grossiers. Ces houles provoquent le démantèlement de la falaise de Ras Acrata et des platiers Rocheux.

I.2.7. Facteurs climatologiques :

A. Température et précipitation :

Ces observations climatiques ont été réalisées par la station de Dar El Beida (ONM : Office National De Météorologie) sur une dizaine d'années (1993 à 2003). Elles sont présentées dans les tableaux ci-après :

Tableau II.1: Moyenne mensuelles des températures et la précipitation de l'air dans la région d'Alger (ONM 1993 à 2003).

| Mois | P (mm) | T°C |
|------|--------|-------|
| Jan | 84,82 | 11,5 |
| Fév | 75,92 | 12,2 |
| Mar | 37,06 | 13,4 |
| Avr | 61,36 | 14,86 |
| Mai | 32,09 | 19,01 |
| Jui | 6,47 | 22,76 |
| Jui | 1,73 | 25,24 |
| Août | 14,9 | 26,39 |
| Sep | 31,31 | 23,35 |
| Oct | 43,37 | 19,77 |
| Nov | 87,7 | 15,17 |
| Déc | 103,81 | 12,21 |

L'étude de ses données conduit à conclure ce qui suit :

- **La température** est soumise à l'influence de la mer qui adoucit le climat. La plus haute température est enregistrée en mois d'Août : 26,39°C, est la plus basse en mois de Janvier : 11,15°C.
- **La pluviométrie** est considérable du mois d'Octobre au mois de Mai. On

remarque deux périodes bien contrastées :

1. **Une période hivernale** : les températures sont basses, les précipitations sont relativement importantes et parfois violentes.
2. **Une période estivale** : les précipitations se font très rares et les températures augmentent considérablement jusqu'à 29°C.

L'alternance des phases climatiques sèches et humides peut modifier le comportement lithologique des roches, les rend plus instables et donc facilement soumises à l'érosion.

B. Les vents :

Dans la baie d'El Djamila, la répartition des vents est parfaitement liée au régime annuel des houles. Les données recueillies par le SSMO (Summary Of Synoptic Meteorological Observation) au large d'Alger confirment l'existence de deux périodes distinctes des vents dans cette zone (*in Bellahsen et Messaoudi, 2005*).

1. **Une période hivernale** : (Octobre à Mars) : les vents dominant sont de direction Ouest et ont une fréquence de 60 à 88% et ceux de direction Nord Ouest enregistrent des fréquences de 90 à 99%.
2. **Une période estivale** (Avril à Septembre) : avec des vents dominants de direction Est et Nord Est. Ceux du secteur Nord Est ont des fréquences de 45 à 75%.

II. Les sources de pollution dans la baie d'el Djamila :

La Baie d'El Djamila se situe entre deux ports de plaisance : elle est bornée à l'Est par le port d'El Djamila, et à l'Ouest par le port de plaisance de Sidi Fredj (**Figure II.3**).



Figure II.3: Baie d'El Djamila (Google earth 2008)



Figure II.4: Port d'El Djamila (Google earth 2008)



Figure II.5: Port de Sidi Fredj (Google earth 2008)

Les ports étant des lieux forts convoités par les activités nautiques et portuaires, ils font subir à la Baie d'El Djamila une pollution importante due aux rejets émis par les plaisanciers (eaux polluées, hydrocarbures, déchets solides...), les bateaux des ports entraînent à leur tour une dégradation des herbiers à posidonie par les encrages, et les passages des chaluts.

Les travaux de dragages dans ces deux ports entraînent une augmentation non négligeable de la turbidité et une modification chimique des substrats ce qui induit aussi le recul de la limite supérieure de l'herbier vers le large ainsi que sa détérioration.

La baie d'El Djamila est alimentée par l'oued Béni Messous et oued Boukara, ils prennent source dans le massif de Bouzareah. Cependant c'est l'Oued Béni Messous qui a les effets les plus ressentis sur la zone.

Les apports terrigènes sont essentiellement issus de l'Oued de Béni Messous, néanmoins les exploitations d'agrégats au niveau de cet oued déstabilisent le régime d'alimentation.

(Alliouane, 2006).

En se basant sur les derniers recensements faites par l'office national de statistiques d'Alger concernant les quatre communes concernées par l'oued Béni-Messous le nombre d'habitant est (**Tableau II.2**):

Tableau II.2: Nombre d'habitants par commune.
(Office national de statistiques d'Alger, 2004).

| Régions | Nombre d'habitants |
|--------------|--------------------|
| Béni-Messous | 19407 |
| Chéraga | 66991 |
| Dély Brahim | 34361 |
| Bouzareah | 75797 |



Figure II.6: Débouche de l'Oued Béni Messous dans la baie d'El Djamilia (Google earth 2008)

II.1. Les caractéristiques des eaux usées de l'oued Béni-Messous :

Selon la direction de l'hydraulique et de l'économie de l'eau de la wilaya d'Alger (Dheewa, 2004), les caractéristiques des eaux usées de l'oued Béni-Messous sont :

Débit moyen des eaux usées urbaines **8336 m³ / j**

Débit des eaux industrielles **940 m³/j**

Débit moyen total des eaux **9276 m³/j**

Débit moyen horaire des eaux **387 m³ /h**

Débit de pointe des eaux usées **773 m³/j**

DBO₅ (charge journalière) **5439 Kg / j**

DCO (charge journalière) **8640 Kg / j**

Phosphore **174 Kg / j**

Azote **1571 Kg / j**

III. Choix des stations de prélèvement :

Afin de représenter au mieux la zone étudiée, nous avons choisi les trois stations représentées dans ce qui suit, notre choix s'est fait de façon à réunir certains critères essentiels à notre étude et qui sont :

- ♦ Présence de l'herbier à Posidonie avec une densité appréciable
 - ♦ Accessibilité de la zone
 - ♦ Présence de l'oursin *Paracentrotus lividus* (en cohabitation avec l'herbier)
 - ♦ Substrat meuble pour le prélèvement du sédiment (fond sableux)
 - ♦ Présence éventuelle d'une source de pollution anthropique
- Nous avons effectué nos prélèvements durant le mois de juin pour trois raisons : Maximum de reproduction du *Paracentrotus lividus*, hydrodynamisme réduit, éviter l'enfouissement de la posidonie sous le sable entassé lors des tempêtes (Herbier apparent).
- 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 (régression).

III.1. Plage Ouest de la presque île de Sidi Fredj :

La presque île de Sidi Fredj est constituée d'un éperon d'environ 1km de long. A l'Est, la pointe du Marabout est doublée vers le large par un chapelet d'îlots alors que vers l'ouest ; les îles du grand rocher et du rocher du milieu prolongent la pointe de saint janvier (**De Giovanni, 1973**)



Figure II.8: Localisation de la Plage Ouest de la presque île de Sidi Fredj (Google earth 2008)



Figure II.9: Photos de la plage Ouest de la presque île de Sidi Fredj

III.1.1Caractéristiques du site :

- Proximité du laboratoire de l'ENSSMAL (stockage rapide des échantillons)
- L'accessibilité des sites de prélèvement
- Limite supérieure de l'herbier à Posidonie à une faible profondeur par endroit (1m50)
- Quelques touffes de la Posidonie peuvent atteindre 16 à 18m de profondeur (à l'ouest des deux îlots)
- Présence de points de rejets d'eau usée provenant des égouts des agglomérations de la région de Sidi Fredj, et présence de déchets solides sur la plage laissés par les estivants.
- Présence de *Caulerpa racemosa* (espèce invasive).

III.2. Plage de la Thalassothérapie :



Figure II.11: Plage de Thalasso Thérapie
(Google earth 2008)



Figure II.12: Photo de la plage de Thalasso
(Google)

III.2.1. La plage de la thalassothérapie (sidi-Fredj):

Ce site est caractérisé par :

- L'Accessibilité et la proximité du Laboratoire (risque moindre de détérioration des échantillons).
- Faible profondeur (possibilité de travailler sans bouteille)
- Présence confirmée avec cartographie de l'herbier (**Legall, 1969**) actualisé par (**Degiovani, 1973**), (**Gheriouche et Zelmatt, 1996**), et enfin (**Lamouti, 2006**);
- Herbier clairsemé

- 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).

IV. Prélèvements, échantillonnages et stockages:

L'étude de l'impact de la pollution chimique sur l'écosystème à posidonie nécessite de considérer tout un ensemble de matrices composant cet écosystème complexe, afin de mettre en évidence les conditions dans lesquelles l'herbier se trouve, grâce à des mesures in situ et aux propriétés de **bioaccumulation** et de **bioamplification**.

- ❖ **Bioaccumulation** : accumulation progressive d'un polluant dans un même organisme suite à des expositions répétées (**Beauchamp J., 2003**)
- ❖ **Bioamplification** : accumulation progressive de polluant au sein de la chaîne trophique (**Beauchamp J., 2003**)

IV.1. Les sites de prélèvement dans les trois zones d'études :

Tableau II.3: Choix et localisation des stations

| Zones | Localisation des stations | | Indications supplémentaires |
|----------------------------------|---|--|--|
| Zone 1 | Z1S1 | $\varphi : 36^{\circ}47'56.13''N$ | Au large de l'ancienne plage d'el Djamila, près du port ,accessible par embarcation, Prélèvement de : S, E, P, O |
| | | $\lambda : 2^{\circ}53'39.91''E$ | |
| | Z1S2 | $\varphi : 36^{\circ}47'48.04''N$ | Accessible par embarcation, au large loin des sources de pollution, Prélèvement de : S, E, P, O |
| $\lambda : 2^{\circ}53'47.77''E$ | | | |
| Z1S3 | $\varphi : 36^{\circ}47'33.24''N$ $\lambda : 2^{\circ}53'34.78''E$ | Près de la côte, accessible à la nage, à proximité du point de rejet d'eau usée Prélèvement de : S, E, P, O | |
| Zone 2 | Z2S4 | $\varphi : 36^{\circ}45'37.71''N$ | Parallèle du quai, comparable aux études antérieures, accessible à la nage, Prélèvement de : S, E, P, O |
| | | $\lambda : 2^{\circ}50'23.08''E$ | |
| | Z2S5 | $\varphi : 36^{\circ}45'39.10''N$ | Près du complexe de Thalasso thérapie, accessible à la nage, à proximité du point de rejet d'eau usée, Prélèvement de : S, E, P, O |
| $\lambda : 2^{\circ}50'26.59''E$ | | | |
| Z2S6 | $\varphi : 36^{\circ}45'38.16''N$ $\lambda : 2^{\circ}50'24.77''E$ | En face du quai, petite profondeur prélèvement d'eau pour la mesure des sels nutritifs | |
| Zone 3 | Z3S7 | $\varphi : 36^{\circ}45'37.71''N$ | Parallèle du quai, comparable aux études antérieures, accessible à la nage, Prélèvement de : S, E, P, O |
| | | $\lambda : 2^{\circ}50'23.08''E$ | |
| | Z3S8 | $\varphi : 36^{\circ}45'39.10''N$ | au milieu de la plage, en face du laboratoire de Sidi Fredj, petite profondeur, prélèvement de : S, E, P, O |
| | | $\lambda : 2^{\circ}50'26.59''E$ | |
| | Z3S9 | $\varphi : 36^{\circ}45'38.16''N$ | Près de la côte, accessible à la nage, à proximité du point de rejet d'eau usée Prélèvement de : S, E, P, O |
| $\lambda : 2^{\circ}50'24.77''E$ | | | |



S : Sédiment / E : Eau / P : Posidonie / O : Oursin

V. Les travaux en mer :

Les prélèvements des échantillons ont été effectués entre le 10/06/2013 et le 15/06/2013 dans les trois zones d'étude en plongé autonome, et pour certains prélèvements à l'aide d'une embarcation.

Les conditions climatiques étaient favorables, la mer était calme, journée ensoleillée avec un très faible vent.

Au niveau de chaque station nous avons effectué des prélèvements des échantillons et une mesure in situ des paramètres physicochimiques:

V.1. Prélèvements de posidonies :

Au moyen de la plongé autonome nous avons récolté sur la limite supérieure de l'herbier environ 15 rhizomes orthotropes de posidonie, cette quantité est nécessaire pour la caractérisation des stations étudiées ; les échantillons sont mis directement dans des sacs en plastique et conservés dans une glacière au frais, ensuite les rhizomes sont nettoyés et dépourvus de feuilles et mis aux congélateurs. Pour les préparer à l'étape suivante

(Kantin et Pergent-Martini, 2007).

V.2. Prélèvements d'oursins :

Nous avons récolté l'oursin commun *Paracentrotus lividus* directement sur l'herbier de posidonie, nous nous sommes intéressés aux oursins femelles donc nous avons sélectionné les oursins de grande taille (sup 6cm) soupçonnés d'être des femelles, le nombre prélevé était de 15 afin d'avoir une quantité de gonades suffisante, ensuite mis dans des boîtes en plastique et conservés dans une glacière.

Au laboratoire, à l'aide d'une pince à dissection nous avons soigneusement ouverts les oursins femelles et récupéré les gonades que nous avons mis dans des piluliers en verre stérilisé et conservés au congélateur.

V.3. Prélèvements de sédiments :

A l'aide d'une boîte de conserve nettoyée nous avons prélevé du sédiment au même endroit du prélèvement de la posidonie, versé ensuite dans un sac en plastique en essayant de conserver la fraction fine, conservé ensuite dans une glacière et congelé. **(Kantin et Pergent-Martini, 2007).**

V.4. Prélèvements d'eau :

Nous avons préalablement conditionné les flacons de prélèvement pour minimiser les risques de contamination en les rinçant à l'eau du robinet puis à l'eau acidulée (HCl à 5%) puis à l'eau bi-distillée et enfin fermer hermétiquement les flacons.

Nous avons prélevé de l'eau de mer pour le dosage des sels nutritifs, et la mesure de la matière en suspension, dans chaque zone d'étude nous avons effectué respectivement trois prélèvements à environ 20cm au-dessous de la surface de l'eau à l'aide des flacons de 250 ml en Polyéthylène, nous avons choisi les stations de façon à avoir une idée plus au moins globale sur la zone étudiée, les stations choisies et leur localisations sont mentionnées dans (Tableau II.3).

V.5. Les mesures in situ des paramètres physicochimiques :

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

V.6. Paramètres descriptifs de l'herbier :

De nombreux paramètres nous permettent de décrire l'herbier à Posidonie certains de ces paramètres font l'objet de suivis standardisés (**Boudouresque *et al.*, 2006**). Sur terrain, on s'intéresse aux paramètres relatifs aux populations de posidonies : recouvrement et densité. Des observations sur le substrat, la faune et la flore avoisinantes sont également réalisées. Il s'agira alors d'une part, d'indiquer la nature du sédiment et d'autre part de noter la présence d'espèces protégées, remarquables et bio-indicatrices caractérisant le milieu.

VI. Travaux effectués au laboratoire :

Nous avons effectué l'ensemble de nos analyses au sein du laboratoire de l'ENSSMAL de Sidi Fredj, et le laboratoire de la police scientifique de Château Neuf pour la lecture des métaux lourds.

VI.1.La matière en suspension (MES) :**VI.1.1.Principe de la méthode :**

Elle consiste à filtrer un volume d'eau sur un filtre (millipore) de 0,70 µm de porosité pour déterminer le poids de la matière retenue par une pesée différentielle (**Rodier, 2009**), (**Aminot, 1983**). Cela en retenant les particules de taille supérieure à 0.45µm. La membrane est séchée et pesée avant et après filtration. La différence de poids permet de connaître la masse sèche totale de matières en suspension dans le volume filtré correspondant (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

VI.1.2.Matériel utilisé :

- Filtres Watman de type GF/F (0,45µm),
- Dispositif de filtration sous vide de marque Sartorius,
- Balance de précision de marque Pionner TM (au 1/10000 g). (**Annexe II**)
- Etuve de marque Nemmert. (**Annexe II**)
- Pince, éprouvette graduée et des portes filtres avec couvercle,
- Dessiccateur. (**Annexe II**)

VI.1.3.Mode opératoire :

-Calciner les filtres GF/F au four à 450°C pendant 1h dans du papier aluminium ou creuset en porcelaine pour éliminer toute trace de la matière organique.

-Peser les filtres vides (P1).

-Filtrer un volume représentatif (supérieur a 100 ml) d'échantillon dans une rampe de filtration ou système de filtration monoposte.

-Placer les filtres dans leurs boîtes numérotées et les laisser sécher dans une étuve entre 50 et 70°C pendant au moins 2h avec le couvercle des boîtes entre-ouvert.

- Laisser les filtres refroidissent dans un dessiccateur jusqu'au moment de la pesée.

-Peser les filtres dans une balance de précision (P2).

$$\text{MES (mg/l)} = [(P_2 - P_1) / V] \cdot 10^3$$

- P₁ = poids du filtre avant filtration (mg).
- P₂ = poids du filtre après filtration (mg).
- V = volume filtré (l)

VI.2.La matière organique (M.O) :

Le dosage de la matière organique s'est effectué par la méthode perte au feu.

VI.2.1.Principe :

Cette méthode décrite par (Rodier, 1984) et (Castel *et al.*, 1990) consiste au séchage des échantillons à l'étuve à 70°C pendant 24 heures, puis incinération de ces derniers dans un four à moufle à 600° C pendant 2 heures, afin de brûler toute la matière organique.

VI.2.2.Mode opératoire :

- Congélation du sédiment immédiatement après son prélèvement.
- Décongélation du sédiment
- Remplissage des creusets, numérotés ; de sédiment.
- Séchage à l'étuve pendant une nuit à 70°C.
- Pesée les creusets remplis de sédiment sur une balance, (Type Mettler P1200N avec une précision de 0.1 mg), soit P1 le poids initial.
- Incinération du sédiment dans le four à moufle pendant 2 heures à 600°C. (**Annexe II**)
- Pesée à nouveau, soit P2 le nouveau poids.

La différence des deux poids obtenus précédemment P1 et P2 nous donne le poids de la matière organique brûlée.

VI.3.Dosage des sels nutritifs :**VI.3.1.Principe de dosage des sels nutritifs dans l'eau :**

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (ammonium, nitrites, nitrates, orthophosphates 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 (λ).

$$A = D.O = \text{Log} (I_0 / I) = E.L.C$$

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 :

Avec :

I₀ et **I** : sont respectivement l'intensité lumineuse incidente et émergente du milieu absorbant.

λ: 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.

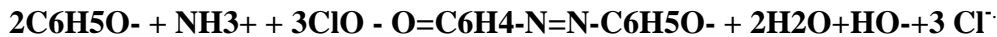
D.O : densité optique de la solution.

VI.3.2. Analyse des sels nutritifs :

- **Dosage de l'azote ammoniacal (NH₄⁺) :**

La méthode de dosage de l'ammonium est basée sur le protocole de (**Koroleff, 1969**) qui est simple et qui offre une bonne précision.

C'est une application à l'eau de mer de la réaction de Berthelot ainsi schématisée :



En milieu légèrement basique. L'ammoniac forme une monochloramine avec l'hypochlorite. Cette dernière réagit avec le phénol en présence d'un excès d'hypochlorite pour former le bleu d'indophénol absorbant à 630 nm. La réaction est accélérée par le nitroprossiate ou plus exactement un dérivé formé en milieu basique (**Patton, 1977**).

- **Dosage des nitrites (NO₂⁻) :**

Les nitrites (NO₂⁻) forment un diazoïque par action avec la sulfanilamide en milieu acide pH<2. Ce composé formera ensuite en présence de N-naphtylethylénediamine un composé azoïque de couleur rose absorbant la lumière à 540 nm (**Benschneider et Robinson, 1952**).

- **Dosage des nitrates (NO₃⁻) :**

La méthode est basée sur la réduction des nitrates (NO₃⁻) en nitrites (NO₂⁻) par le passage de l'échantillon à travers une colonne réductrice de cadmium traité au cuivre (**Wood et Armstrong, 1967**). Puis déduire la concentration des nitrites déterminés directement (sans passage de l'échantillon sur la colonne réductrice) pour trouver les concentrations des nitrates (**Rodier, 1996**).

▪ **Dosage des orthophosphates (PO_4^{3-}) :**

En présence d'antimoine oxytartrate de potassium à une température de 40° C (bain-marie), les ions orthophosphates (PO_4^{3-}) réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe antimoine phosphomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique (**Murphy et Riley, 1962**). Cette forme réduite de coloration bleue a un maximum d'absorption à 880 nm.

▪ **Dosage du silicium dissous (SiO_2) :**

Dans l'eau de mer, le silicium dissous se trouve à 95 % sous forme d'acide orthosilicique (Si(OH)_4) (**Aminot et Chaussepied, 1983**). Cette forme réagit avec le molybdate d'ammonium en milieu acide pour former un complexe silicomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique en un composé coloré en bleu absorbant à 810 nm.

VI.3.3.Etalonnage:

Cette opération nécessite la préparation d'une solution mère par laquelle on prépare une solution fille pour chaque élément à analyser (**Annexe I**).

Les droites d'étalonnage sont établies automatiquement par le logiciel en utilisant les concentrations connues des solutions étalons et leurs hauteurs de pic correspondantes (**Annexe I**).

VI.4.Les métaux lourds:

VI.4.1.Conditionnement du matériel utilisé:

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

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

VI.4.2.Conservation du sédiment:

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

VI.4.3. Prétraitement du sédiment pour l'analyse des métaux lourds :

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

VI.4.4. Conservation et lyophilisation :

Avant la lyophilisation, les échantillons recueillis sont directement conservés à une basse température (-18°C), afin d'éviter toute perte d'éléments volatiles. La lyophilisation est un procédé de déshydratation par sublimation, c'est-à-dire que l'eau contenue dans le sédiment va passer de l'état solide à l'état gazeux sans passer par l'état liquide, car ce dernier peut modifier les propriétés chimiques initiales du sédiment. Les sédiments congelés ont été placés dans un lyophilisateur pendant 6 heures, à une température de -58°C et à une pression de 0.1 mbar. **UNEP/IAEA (2001)**

VI.4.5. Broyage :

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

VI.4.6. Minéralisation :**Pour le Zinc et le Plomb :**

Elle est réalisée en deux étapes : minéralisation à blanc qui consiste à nettoyer les godets pour avoir des résultats fiables, dans chaque godet on met 8 ml d'eau régale (1 volume HNO₃ 65% + 3 volumes HCL 35%) et on les ferme de façon étanche puis on les pose sur plaque chauffante à 120°C pendant 2h30.

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

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

Les échantillons minéralisés sont transvasés dans des tubes coniques de 50 ml, chaque fois les godets sont rincés avec l'eau distillée au moins 3 fois pour récupérer le reste de

l'échantillon. On ajuste jusqu'au trait de jauge (50 ml) avec l'eau distillée. Ensuite on fait la lecture à l'aide d'une spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA). (**Annexe II**).

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

Pour le mercure :

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

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

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

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

-Mettre dans un tube conique 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.

VI.4.7.Principe de la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) :

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

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

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

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

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

VI.4.8.La loi d'absorbance en absorption atomique :

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

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

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

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

I₀ : intensité initiale de la source lumineuse 0

VI.4.9. Etalonnage :

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

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

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

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

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

C_x: concentration du métal en µg/l

C'_x : concentration du métal en µg/g

M : masse du sédiment minéralisé en g

V : volume de la solution finale après dilution en ml

VII. Les valeurs guides :

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

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

Tableau II.4: Valeurs guides pour les métaux lourds ($\mu\text{g/g}$) par différents pays
(ABRCM, 1980)

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

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 II.5: valeurs de référence des teneurs métalliques dans les sédiments en (mg/kg).

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

VIII. Indice de contamination (IC) :

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

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

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

Tableau II.6 : Valeurs de l'indice de contamination (Alzieu *et al.*, 1999)

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

IX. Bioconcentrations métallique:

On définit le facteur biosédiment par le rapport entre la concentration du 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*.

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

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

Tableau II.7: Classification des herbiers de *Posidonia oceanica* en fonction de l'état de traces de contamination métallique par le mercure $\mu\text{g/g}$ 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 |

Chapitre III :

Résultats
&
Discussions

I. Résultats et Discussion:

Nous présentons dans ce chapitre les résultats obtenus par des mesures in situ des paramètres physico-chimiques et l'analyse des paramètres indicateurs de pollution ; ceci sous forme de textes et de tableaux et d'histogrammes.

I.1. Les mesures in situ des paramètres physico-chimiques:

Le tableau ci-dessous représente les résultats des paramètres mesurés in situ sous forme de valeurs (valeurs extrêmes, moyennes, écart type) :

Tableau III.1: Les résultats des paramètres physico-chimique

| | température (°C) | salinité (PSU) | pH |
|--|---------------------|-------------------|-------|
| Zone 1 : El Djamila | | | |
| valeur min | 14,3 | 34,2 | 7,56 |
| valeur max | 17,8 | 35,8 | 8,02 |
| moyenne | 16.6 | 35,16 | 7.98 |
| Ecart type | 0,85 | 0,63 | 0,15 |
| Zone2 : plage de la Thalasso thérapie | | | |
| valeur min | 17,2 | 35,9 | 7,36 |
| valeur max | 17.4 | 35.6 | 7.32 |
| moyenne | 17.25 | 35,5 | 7,33 |
| Ecart type | 0.21 | 0,49 | 0.11 |
| Zone 3 : plage Ouest | | | |
| valeur min | 16.2 | 35,03 | 7.23 |
| valeur max | 18.13 | 35,7 | 7.38 |
| moyenne | 16.93 | 35,36 | 7.30 |
| Ecart type | 1,364 | 0,473 | 0,106 |

D'après ces résultats on retrouve que:

- ☞ En méditerranée, la salinité est voisine de 38 à 39 PSU au large ; mais près des côtes, elle varie entre 36 et 37 PSU (**Aminiot, 1983**).
- ☞ La salinité est moins importante à proximité de l'embouche de l'Oued Béni Messous (apport terrigène) , et les apports des égouts en eau douce , ceci comparé à la station 1 et 2 se trouvant près du port.
Dans les deux autres zones d'étude la salinité ne varie que très peu autours de 35 PSU.
- ☞ D'après ce tableau, on remarque que les températures moyennes présentent de grandes variations. Cependant, elles restent toutes inférieures aux normes algériennes et européennes (inférieures à 30°C), (**Jora, 2006**).
- ☞ La zone d'El Djamila connaît une variation plus importante des températures comparait aux deux autres zones ; ceci dû à la distance importante entre les stations et aux différences de températures des eaux du port, des eaux du rivage et des eaux du large.
- ☞ les valeurs du pH sont plus faibles à celle de l'eau de mer qui est de 8,2 à 8,3. (**Gaujous, 1995**), ceci constaté dans les trois zones étudiées, Ces valeurs sont dues à la

dégradation de la matière organique qui cause l'acidification de ces eaux.

I.2. La Matière organique:

| | creusés vides | creusés avec sédiment avant calcination | Poids 1 du sédiment avant calcination | creusés avec sédiment après calcination | Poids 2 du sédiment après calcination |
|--------------------|---------------|---|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Plage Ouest | 26,9985 | 73,5127 | 46,5142 | 62,5086 | 35,5101 |
| Thalasso | 26,8927 | 71,2591 | 44,3664 | 58,0023 | 31,1096 |
| El Djamila | 26,6771 | 83,3377 | 56,6606 | 74,7947 | 48,1176 |

Tableau III.2: Les résultats des paramètres physico-chimiques.

| | M.O % |
|-------------|--------------|
| Plage Ouest | 23,6575067 |
| Thalasso | 29,8802698 |
| El Djamila | 15,0774965 |

- ☞ les teneurs en matière organique dans les eaux de la zone d'El Djamila sont faibles et très rapprochés qui ne dépassent pas 15%, ceci nous mène à dire que l'acheminement des matières de l'oued Béni Messous n'a aucune influence sur le dépôt de la matière organique. Aussi que la zone d'El Djamila connaît un hydrodynamisme constant ce qui est dû à sa position géographique.
- ☞ Les teneurs en matière organique sont élevées dans les eaux de Thalasso thérapie avec un maximum de 31%, ceci est dû à l'impact des rejets sur cette zone (rejet des cartons qui sont à la base de cellulose).

I.3. La matière en suspension:

Les résultats de l'analyse de la matière en suspension sont représentés par la **Figure III.1**.

Les teneurs en MES sont très importantes dans les eaux de la zone d'El Djamila avec une moyenne de 323 mg/l, ceci pourrait être due à l'hydrodynamisme avec une remise en suspension des sédiments par les courants (**Slawyk, 1980 in Haddouche, 2003**).

Le maximum est enregistré au niveau de la station 1 et 2 qui se situent à proximité du port d'El Djamila avec une teneurs de 511 mg/l, où nous avons constaté des opérations de dragage lors de notre sortie sur le terrain et où nous avons observé une immense nappe jaunâtre causée par ces travaux qui constituent une source importante de matière en suspension.

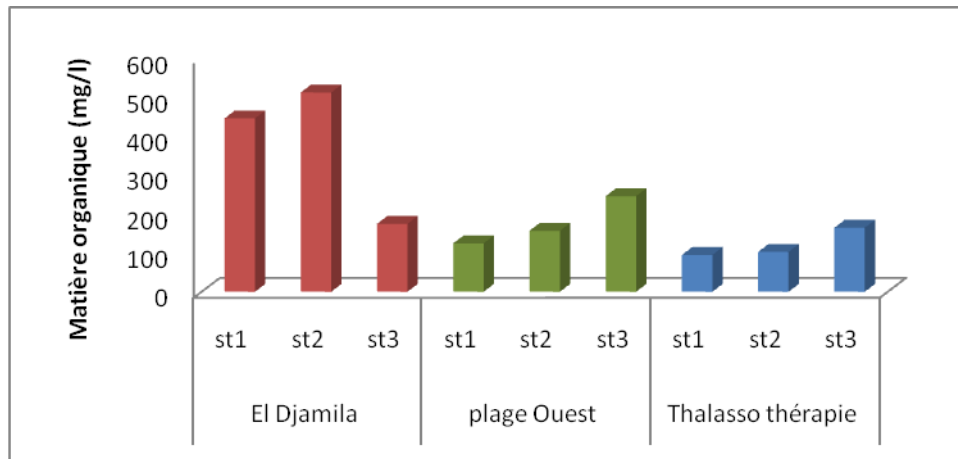


Figure III.1: Histogramme des teneurs en MES (mg/l) dans les trois zones d'étude.

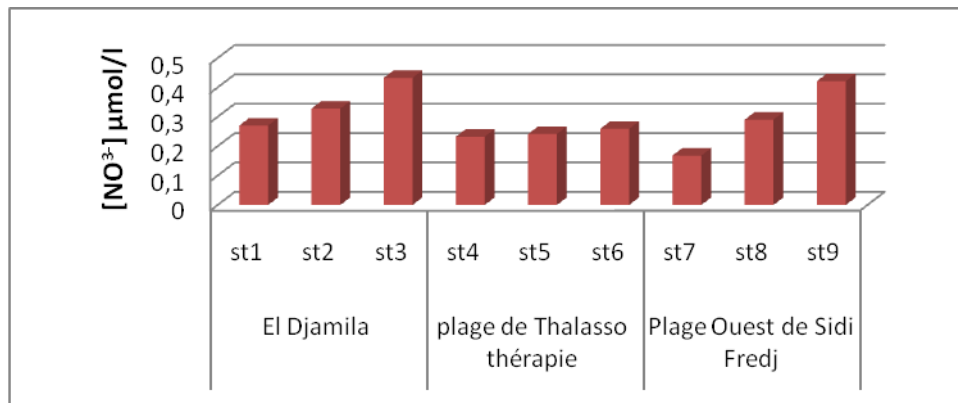
I.4. Les sels nutritifs:

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

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

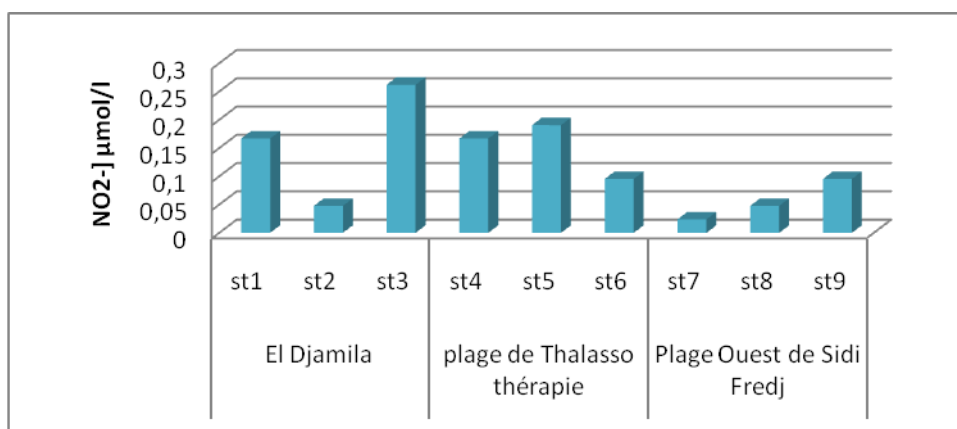
Tableau III.3: valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des sels nutritifs dans les eaux de surface des trois zones étudiées.

| Zone1 | El Djamila | | | | | |
|--------|---------------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| | valeur | nitrate | phosphate | silicates | ammonium | Nitrite |
| | maximum | 0,43259259 | 1,0969697 | 15,166667 | 1,2478632 | 0,047619 |
| | minimum | 0,22814815 | 0,3606061 | 3,1666667 | 1,1452991 | 0,261905 |
| | moyenne | 0,27703704 | 0,6851515 | 7,6666667 | 1,1794872 | 0,15873 |
| | écart type | 0,525404 | 0,0946212 | 6,5383484 | 0,0592154 | 0,1073631 |
| Zone 2 | Thalasso thérapie | | | | | |
| | valeur | nitrate | phosphate | silicates | ammonium | Nitrite |
| | maximum | 0,24148148 | 0,8787879 | 4,6 | 1,2222222 | 0,095238 |
| | minimum | 0,22592593 | 0,5151515 | 3,5 | 1,0940171 | 0,190476 |
| | moyenne | 0,23333333 | 0,78727273 | 3,8333333 | 1,1452991 | 0,150794 |
| | écart type | 0,0780419 | 0,4665092 | 0,2886751 | 0,0678398 | 0,0495635 |
| Zone 3 | Plage Ouest de Sidi Fredj | | | | | |
| | valeur | nitrate | phosphate | silicates | ammonium | Nitrite |
| | maximum | 0,32148148 | 0,8151515 | 4,0833333 | 1,0940171 | 0,0238095 |
| | minimum | 0,16814815 | 0,469697 | 3,6666667 | 0,991453 | 0,095238 |
| | moyenne | 0,26 | 0,5454545 | 3,9444444 | 1,042735 | 0,039683 |
| | écart type | 0,8105274 | 0,0946212 | 0,2405626 | 0,0512821 | 0,0599193 |

I.3.1. Les nitrates (NO_3^-):**Figure III.2:** Histogramme des concentrations en nitrates dans les trois zones d'étude.

Dans les deux zones d'étude (Thalasso thérapie, et la plage ouest de Sidi Fredj) les concentrations sont relativement faibles avec des concentrations qui fluctuent entre 0,168 et 0,32 $\mu\text{mol/l}$, ce qui peut être due à certaines pollutions bactériennes qui transforment les nitrates en nitrites ou au processus de dénitrification biologique où les nitrates constituent une source d'oxygène pour le développement bactérien (**Rodier et al., 1996**).

Nous avons enregistré deux maximums de concentration : 0,432 $\mu\text{mol/l}$ dans la station 3 et 0,421 $\mu\text{mol/l}$ dans la station 9. Cette augmentation démontre que le phytoplancton assimile l'ammonium disponible en quantité suffisante pour qu'il soit préféré aux nitrates dans l'activité photosynthétique (**Lefnaoui & Ouali, 2008**). Ou aussi due à l'apport d'eaux usées riches en nitrates. (Oued Béni Messous à El Djamila et les eaux domestiques rejetées dans la plage Ouest de Sidi Fredj).

I.3.2. Les nitrites (NO_2^-):**Figure III.3:** Histogramme des concentrations en nitrites dans les trois zones d'étude.

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

Dans la zone 3 (plage Ouest de Sidi Fredj) les teneurs des nitrites sont les plus faibles, elles fluctuent entre 0,02 et 0,09 $\mu\text{mol/l}$, comparés à la zone 1 et 2.

On a observé un maximum de concentration dans la station 3 de la zone d'El Djamila avec une teneur de 0,261 $\mu\text{mol/l}$, ces résultats reflètent les apports terrigènes qui se déversent dans la Baie à proximité de la plage de la fontaine et qui augmente localement les teneurs en nitrites.

Au niveau de la plage de Thalasso thérapie au niveau de la station 5 on observe une augmentation relative de la concentration en nitrites expliquée par la présence de l'épi qui crée une zone calme provoquant l'accumulation des polluants chimiques et organiques apportés par les rejets. La dégradation de la matière organique est la cause principale de ces concentrations élevées.

I.3.3. Les ortho-phosphates:

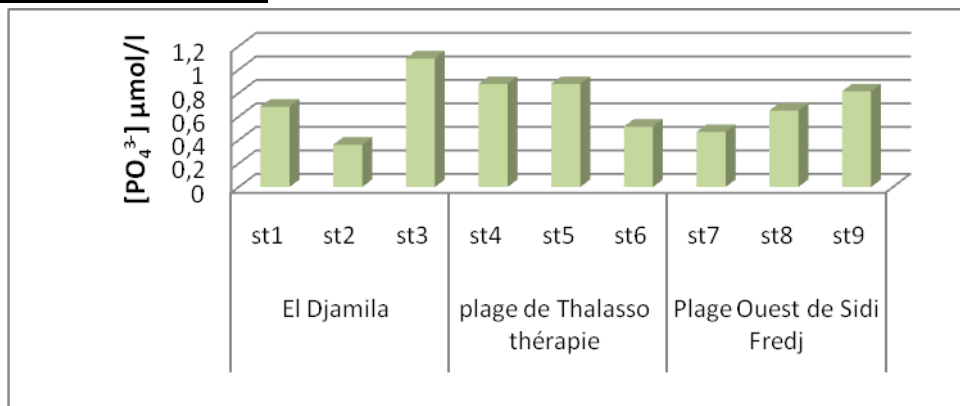


Figure III.4: Histogramme des concentrations en orthophosphates dans les trois zones d'étude.

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

(Aminot et Chaussepied 1983).

Excepté la station 3 de la zone 1 toutes les autres stations dans les trois zones d'étude présentent des teneurs en ortho phosphates inférieures à 1 $\mu\text{mol/l}$.

Ces faibles concentrations se traduisent par la consommation du phosphore par le phytoplancton et/ou probablement que les phosphates sont retenues directement par le sédiment. La majeure partie des phosphores (surtout qui sont tricalciques insolubles) restent dans le sol, le maximum enregistré dans la station 3 dans la zone d'El Djamila peut être le résultat des polluants introduits dans le milieu par les rejets urbains et l'Oued Béni Messous.

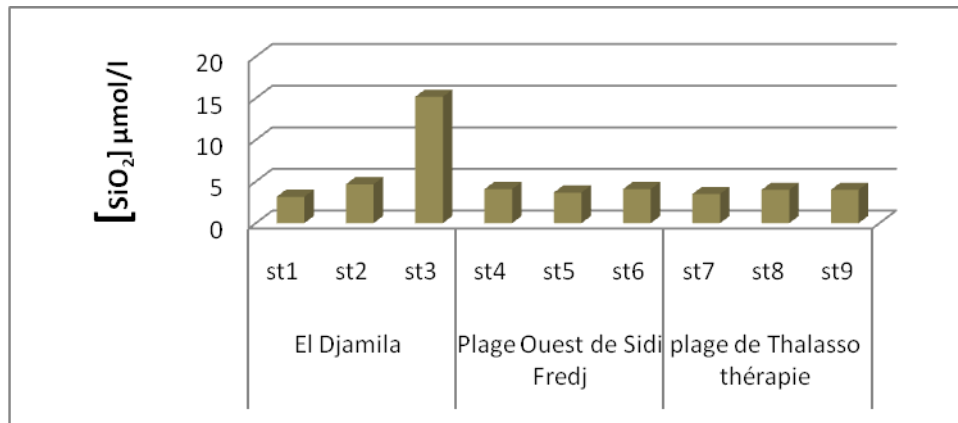
I.3.4. Les silicates:

Figure III.5: Histogramme des concentrations en silicates dans les trois zones d'étude.

D'après nos résultats obtenus les concentrations en silicium varient entre 3,1 µmol/l (station 1 El Djamila) et 4,6 µmol/l (station 2 El Djamila), ces valeurs sont relativement faibles comparé à la station 3 dans la zone d'El Djamila qui présente un pic important de 15,16 µmol/l causé par les rejets industriels et urbains qui se déversent dans la baie.

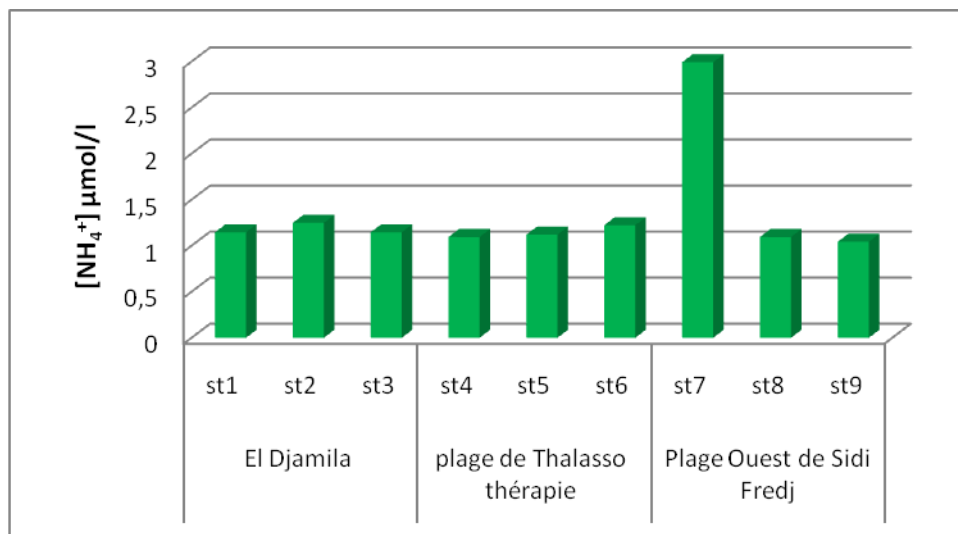
I.3.5.L'Azote ammoniacale (NH₄⁺):

Figure III.6: Histogramme des concentrations en azote ammoniacale dans les trois zones d'étude.

On observe un pic dans la station 7 de la plage ouest de Sidi Fredj probablement du à la présence de l'épi qui provoque l'accumulation locale des polluants organiques et qui explique cette valeurs élevée de 2,82 24 µmol/l .

Les teneurs en azote ammoniacale sont faibles dans toutes les stations dans les trois zones d'étude, les concentrations varient entre 1,04 et 1,24 µmol/l , ces faibles teneurs sont peut-être dues au fait que les organismes autotrophes le réabsorbent rapidement, et qu'une fraction plus ou moins importante est oxydée en milieu aérobie pour donner des nitrites puis des nitrates (nitrification) (Levêque, 1996 in Lourguioui, 2006).

I.5. Les éléments en trace métallique (ETM) :

I.5.1. Résultats des analyses :

L'analyse des métaux lourds s'est portée sur l'élément majeur susceptible d'engendrer des perturbations sur les biocénoses marines, le mercure, le plomb, et le cuivre; éléments permettant de renseigner sur l'état des lieux et l'origine éventuelle de la Pollution dont les résultats (**Annexe IV**) sont présentés ci-après avec discussion.

I.5.1.1. Compartiment Sédiment:

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 III.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 (µg/g) | Pb (µg/g) | Zn (µg/g) |
|---|--------------------|---------------|--------------|---------------|
| Zone 1 : El Djamila | Minimum | 0,22 | 10,2 | 298,21 |
| | Maximum | 0,38 | 38,05 | 426,41 |
| | Moyenne | 0,3133 | 25,8766 | 373,69 |
| | Ecart type | 0,0832 | 14,2516 | 67,0620 |
| Zone 2 : plage Ouest | Minimum | 0,1584 | 15,11 | 43,15 |
| | Maximum | 0,1716 | 16,84 | 55,64 |
| | Moyenne | 0,165 | 15,975 | 49,395 |
| | Ecart type | 0,0093 | 1,2232 | 8,8317 |
| Zone 3 : plage de Thalasso Thérapie | Minimum | 0,3805 | 6,98 | 31,78 |
| | Maximum | 0,7105 | 8,02 | 64,56 |
| | Moyenne | 0,5455 | 7,66 | 52,7733 |
| | Ecart type | 0,2333 | 0,5892 | 18,2264 |

Tableau III.5: comparaison des statistiques de concentrations maximales en ETM dans le sédiment superficiel, 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) | | |
|-------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------|---|--|------------------------------|
| | El Djamila | Plage Ouest | Thalasso Thérapie | Valeurs ($\mu\text{g/g}$) | Région | Référence bibliographique |
| Hg | 0,381± 0,22 | 0,171±0,1584 | 0,71± 0,38 | 0,621± 0,15 | Thalasso | Boughella,Boudjemaal 2012 |
| | | | | 0,3395± 0,05 | Tipaza | |
| | | | | 0,339± 0,03 | Bou ismail | |
| | | | | 0,18 | Thalasso (sidi fredj, Algerie) | Termoul,2010 |
| | | | | 0,16±8,07 | El Djamila | Bellahsene, Messaoudi 2005 |
| | | | | 0,16 ± 0,002 | Alger plage (Algerie) | Guendouzi, 2011 |
| Pb | 38,05 ± 10,2 | 16,84±15,11 | 8,02±6,98 | 6,22 ±59,77 | El Djamila | Bellahsene, Messaoudi 2005 |
| | | | | 14,34 | Bou-Ismaïl | Boughella,Boudjemaal 2012 |
| | | | | 12,37 ± 4,07 | Sidi Fredj | Soualili et al., 2008 |
| Zn | 426,4±298,2 | 55,64 ±43,15 | 64,56 ± 31,78 | 5,00 - 6,00 | Frange littorale nord-ouest de golf de Tunis (Tunisie) | Rais et Gueddari, 1992 |
| | | | | [0,409–6,725] | Grèce | Galanopoulou et al (2009) |
| | | | | 58,04 | Thalasso (sidi fredj, Algerie) | Tarmoul, 2010 |
| | | | | 7,68±557,72 | El Djamila | - Bellahsene, Messaoudi 2005 |
| | | | | 21,83 | Corne d'or (Tipaza, algerie) | Termoul,2010 |
| 47,11± 4,27 | Alger plage (Algerie) | Guendouzi, 2011 | | | | |

A. Interprétation des résultats:

Dans la partie qui suit nous allons comparer les résultats trouvés dans notre zone cible d'El Djamila avec les résultats des deux autres zones de comparaison : Plage Ouest (Sidi Fredj) et la plage de la Thalasso thérapie, ainsi qu'avec des résultats des études antérieures dans les mêmes zones d'étude (**Figure III.7**).

➤ Le mercure (Hg) :

D'après ces résultats, la zone qui connaît la plus grande contamination en Mercure et celle de la Thalasso thérapie avec des concentrations de **$0,71 \pm 0,38 \mu\text{g/g}$** , suivie d'El Djamila et en dernier la plage Ouest de Sidi Fredj.

Les concentrations trouvées dans les sédiments sont supérieures à celles trouvées dans les autres études en particulier celles de (**Tarmoul, 2010**), et de (**Boughella et Boudjemal, 2012**) en ce qui concerne la zone de Thalasso thérapie et de la Plage Ouest de Sidi Fredj, et ce qui montre l'évolution de la pollution dans ces deux zones. Ce fait peut-être expliqué par le déversement continu des produits chimiques du centre de la Thalasso thérapie et les rejets industriels au niveau de la plage Ouest.

Dans la zone d'El Djamila les concentrations en Mercure varient entre **$0,381 \pm 0,22 \mu\text{g/g}$** Avec une moyenne de $0,31 \mu\text{g/g}$, le minimum est observé au niveau des stations 2 et 3 (au large de la côte, et près de l'embouchure de l'oued Béni Messous), et le maximum est observé au niveau du port d'El Djamila où ce métal est utilisé comme fongicide dans les peintures.

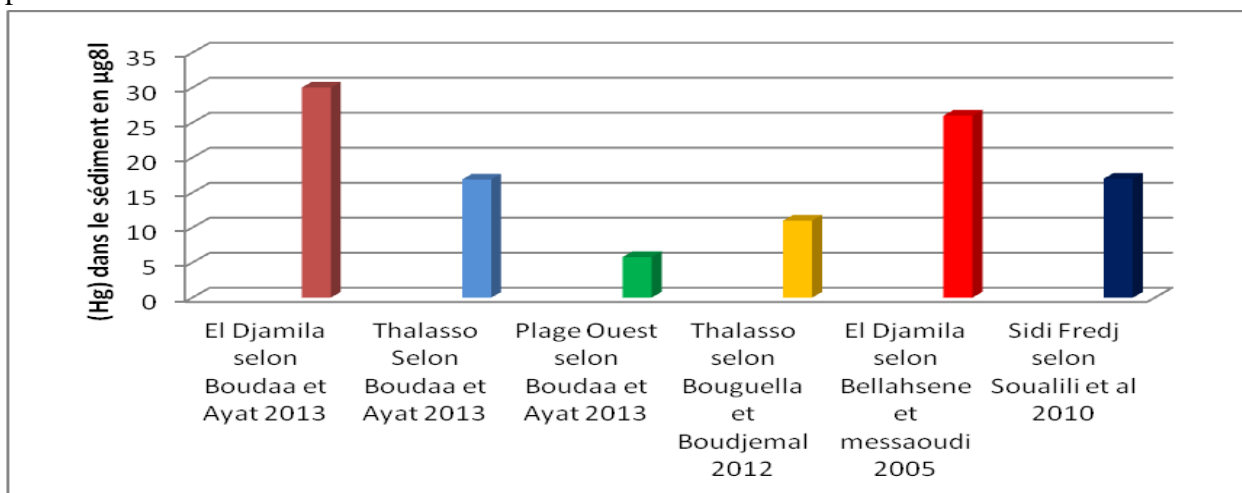


Figure III.7: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de mercure (Hg) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les sédiments de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

➤ Le plomb (Pb) :

La zone qui connaît la plus forte contamination en Plomb est celle d'El Djamila avec des concentrations entre $38,05 \pm 10,2 \mu\text{g/g}$ et une moyenne de $25,87 \mu\text{g/g}$, ($24,12 \mu\text{g/g}$ par **Bellahsene et al., 2005**), avec un maximum enregistré au niveau du port d'El Djamila (**Figure III.8**).

D'après nos résultats, les concentrations en Plomb dans les deux zones : Thalasso thérapie et plage Ouest de Sidi Fredj sont légèrement supérieures aux résultats trouvés par (Soualili *et al.*, 2008) et par (Bouguella *et al.*, 2012) ; ce qui montre une augmentation de la pollution dans ces deux zones.

Cela nous mène à conclure que la zone d'El Djamila connaît la plus importante source de pollution chargé en plomb.

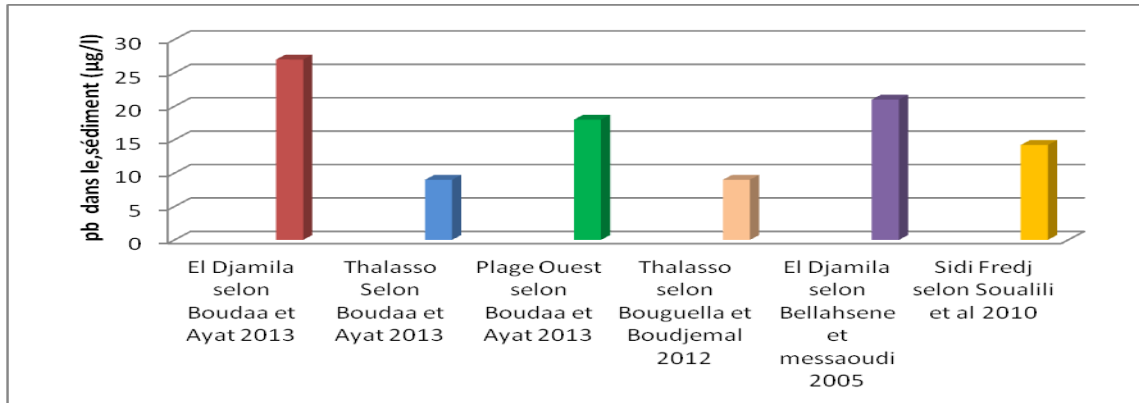


Figure III.8: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de plomb (Pb) en µg/g P.S dans les sédiments de nos zones d'études avec différentes études antérieures.

Par ordre croissant nous pouvons classer les zones étudiées selon la concentration en plomb comme suite :

| | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|--------------------------------------|------------------|--|-----------------|
| Thalasso selon Bouguelle et al 2012 | Thalasso 2013 | Sidi fredj selon soualili et al 2010 | Plage ouest 2013 | El Djamila selon Bellahsene et al 2005 | El Djamila 2013 |
|-------------------------------------|---------------|--------------------------------------|------------------|--|-----------------|

➤ **Le zinc (Zn) :**

Les concentrations en Zinc sont largement plus élevés dans la zone d'El Djamila (entre 426,4±298,2 µg/g), comparé aux deux autre zones d'étude (64,56 ± 31,78) pour la zone de Thalasso thérapie.

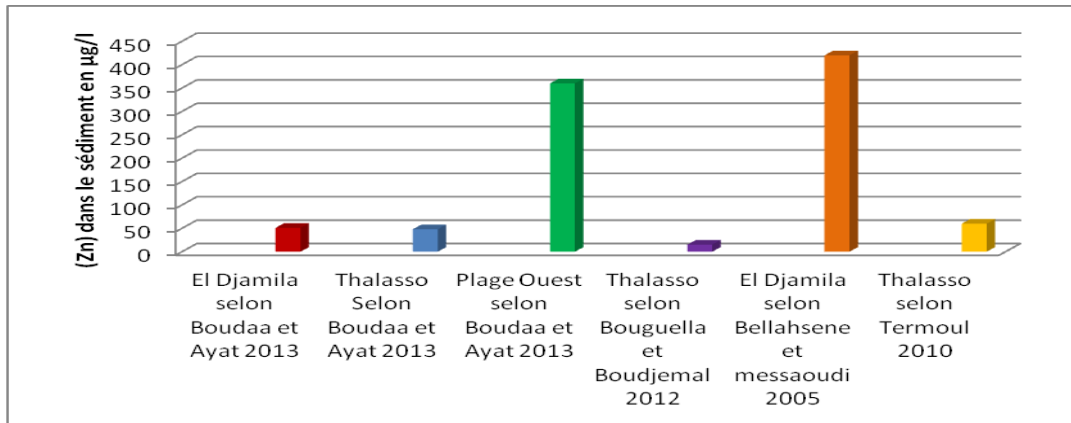


Figure III.9: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de zinc (Zn) en µg/g P.S dans les sédiments de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

Par ordre croissant nous pouvons classer les zones étudiées selon la concentration en zinc comme suite :

| | | | | | |
|-------------------------------------|------------------|---------------|-----------------------------|-----------------|--|
| Thalasso selon Bouguelle et al 2012 | Plage Ouest 2013 | Thalasso 2013 | Thalasso selon Termoul 2010 | El Djamila 2013 | El Djamila selon Bellahsene et al 2005 |
|-------------------------------------|------------------|---------------|-----------------------------|-----------------|--|

B. Détermination de l'indice de contamination IC:

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

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

Tableau III.6: valeurs de référence des teneurs métalliques dans les sédiments en (mg/kg).

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

Tableau III.7: Valeurs guides pour les métaux lourds (µg/g) par différents pays (ABRCM, 1980)

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

Tableau III.8: Indice de contamination en mercure, plomb, et zinc des sédiments dans les zones d'étude :

| ETM | Zone de référence | IC et Observation | | |
|-----|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Auteurs | El Djamila | plage Ouest | Thalasso |
| Hg | Agence de l'eau Artois-Picardie(1996) | 1,9 Concentration normale | 0,858 concentration normale | 3,5525 pollution |
| | Meybeck(1996) | 2,533 pollution | 1,144 concentration normale | 4,7366 pollution |
| | Algérie, selon ABRCM,1980 | 0,25333 Concentration normale | 0,1144 Concentration normale | 0,4736 Concentration normale |
| Pb | Agence de l'eau Artois-Picardie(1996) | 0,95125 Concentration normale | 0,421 concentration normale | 0,2005 concentration normale |
| | Meybeck(1996) | 1,144 Concentration normale | 0,56133 concentration normale | 0,6955 concentration normale |
| | Algérie, selon ABRCM,1980 | 0,1522 Concentration normale | 0,06736 Concentration normale | 0,03208 Concentration normale |
| Zn | Agence de l'eau Artois-Picardie(1996) | 4,2641 concentration normale | 0,5564 concentration normale | 0,6456 concentration normale |
| | Algérie, selon ABRCM,1980 | 0,85282 Concentration normale | 0,11128 Concentration normale | 0,12912 Concentration normale |
| | Meybeck(1996) | 5,3301 Pollution | 0,6955 concentration normale | 0,807 concentration normale |

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

Si on prend en considération les valeurs des indices suivant l'agence de l'eau (**Artois Picardie, 1996**), les trois zones étudiées présentent des concentrations normales en éléments traces métalliques, sauf pour le mercure au niveau de la plage de Thalasso thérapie qui est comprise entre 3 et 10, c'est résultats soutiennent les valeurs de (**Bouguella et al., 2012**) qui indiquent un état de pollution du sédiment de la zone de Thalasso thérapie.

Selon les valeurs des indices suivant (**Meybeck, 1996**), le sédiment de la zone d'El Djamila présente une pollution au Mercure et au Zinc, et une pollution au Mercure dans la plage de Thalasso thérapie, selon (**Meybeck, 1996**) toutes les autres zones présentent des concentrations normales en élément traces métalliques.

I.5.1.2. Matrice biologique :**A. Compartiment Posidonie :**

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

Tableau III.9: Valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des concentrations en ETM dans les rhizomes de *Posidonia oceanica* des zones étudiées :

| Zone d'étude | Valeur statistique | Hg ($\mu\text{g/g}$) | Pb ($\mu\text{g/g}$) | Zn ($\mu\text{g/g}$) |
|-------------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Zone1 : El Djamila | Minimum | 0,17 | 13,012 | 278,12 |
| | Maximum | 0,31 | 39,76 | 531,2 |
| | Moyenne | 0,255 | 27,7406 | 373,76 |
| | Ecart type | 0,0756 | 13,5782 | 137,3928 |
| Zone 2 : plage Ouest | Minimum | 0,041 | 11,145 | 37,598 |
| | Maximum | 0,164 | 23,976 | 81,525 |
| | Moyenne | 0,096 | 18,0366 | 62,7183 |
| | Ecart type | 0,0623 | 6,4628 | 22,6338 |
| Zone 3 : plage de Thalasso Thérapie | Minimum | 0,4712 | 7,84 | 9,891 |
| | Maximum | 0,701 | 14,795 | 68,75 |
| | Moyenne | 0,343 | 10,858 | 39,8296 |
| | Ecart type | 0,1246 | 3,5671 | 29,4427 |

Tableau III.10: 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 (travaux antérieurs) | | |
|-----------|-------------------------------------|--------------|-------------------|---|--------------------------------|---------------------------------|
| | El Djamila | Plage Ouest | Thalasso Thérapie | Valeurs ($\mu\text{g/g}$) | Région | Référence bibliographique |
| Hg | 0,31± 0,17 | 0,164±0,041 | 0,701± 0,471 | 0,2502±0,040 | Thalasso | Boughella,Boudje-mal 2012 |
| | | | | 0,4538± 0,19 | Tipaza | |
| | | | | 0,2038±0,08 | Bou ismail | |
| | | | | 0,0834 | Thalasso (sidi fredj, | Termoul,2010 |
| | | | | 0,0479 | Ischia (Naples, Italie) | Pergent et Pergent-Martini,1999 |
| | | | | 0,121 ± 0,07 | Alger plage (Algerie) | Guendouzi, 2011 |
| Pb | 39,76 ± 13,01 | 23,97±11,14 | 14,79 ± 7,84 | 36,52 ± 2,21 | Alger plage | Guendouzi 2011 |
| | | | | 9,15 ± 1,44 | Thalasso thérapie | Boughella,Boudje-mal 2012 |
| | | | | 9,24± 1,025 | Tipaza | |
| | | | | 14,50 ± 9,40 | Ischia (Naples, Italie) | Warnau et al.,1995 |
| Zn | 531,2± 278.2 | 81.52 ±37,59 | 68,75 ± 9,89 | 51,95±2,29 | Thalasso | Bouguella et al 2012 |
| | | | | 62,74± 5,75 | Bou-Ismaïl | Bouguella et al 2012 |
| | | | | 47,27± 1,72 | Tipaza | |
| | | | | 38,6 | Thalasso (sidi fredj, Algerie) | Tarmoul, 2010 |
| | | | | 37,17 | Corne d'or (Tipaza, algerie) | Termoul,2010 |

➤ **Le mercure (Hg):**

D'après ces résultats, la contamination en mercure dans les rhizomes de posidonie est plus importante dans la zone de Thalasso thérapie avec une moyenne de $0,343\mu\text{g/g}$, ce qui explique la présence d'importantes quantités de matre morte observée lors de notre plongée.

Dans la zone d'El Djamila nous avons observé des touffes séparés de Posidonie, ce qui montre une importante pollution qui a causé la régression de l'herbier, ceci justifié les concentrations en Mercure trouvés dans cette zone ($0,31\pm 0,17 \mu\text{g/g}$), et qui sont supérieurs aux résultats de Termoul (Thalasso, 2010), et de Bouguella et al (Thalasso 2011).

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 de nos quatre zones d'étude.

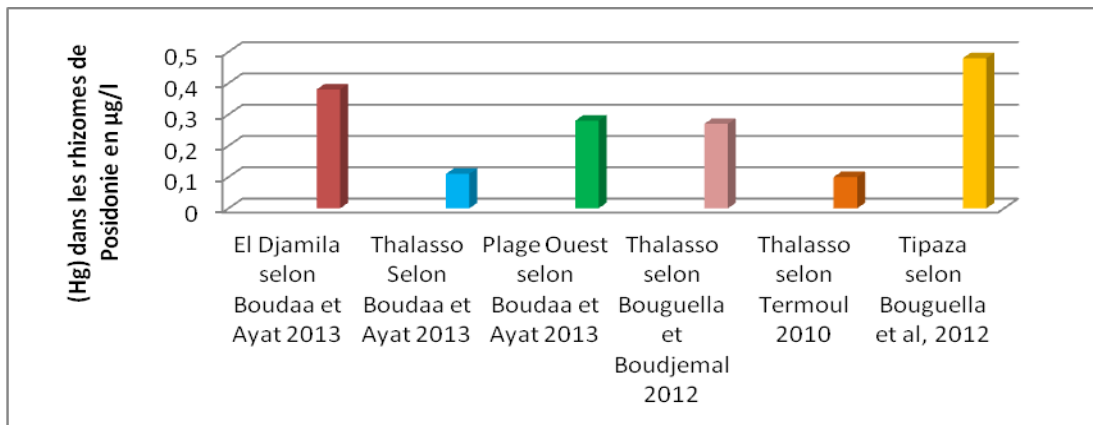
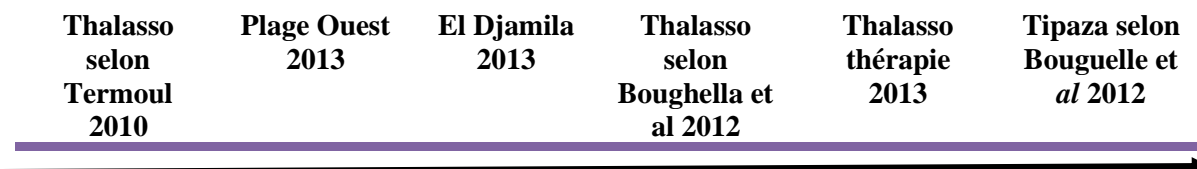


Figure III.10: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de mercure (Hg) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les rhizomes de posidonie de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

Par ordre croissant nous pouvons classer les zones étudiées selon la concentration en mercure comme suite :



A.1. Etat de l'herbier de posidonie :**Tableau III.11:** Classification des herbiers de *Posidonia oceanica* en fonction de l'état de traces de contamination métallique par le mercure $\mu\text{g/g}$ P.S. (Pergent-Martini et al., 2005)

| Zone : | Hg ($\mu\text{g/g}$) | Qualité de l'herbier |
|---------------------------|------------------------|----------------------|
| El Djamila | 0,255 | Mauvaise |
| Plage Ouest de Sidi Fredj | 0,096 | Bonne |
| Plage de Thalassothérapie | 0,343 | Mauvaise |

➤ Le plomb (Pb):

Les concentrations en plomb dans les rhizomes de posidonie sont largement importantes dans la zone d'El Djamila comparé à deux autres zones d'étude, ($39.76 \pm 13.01 \mu\text{g/g}$) à El Djamila et $14.79 \pm 7,84 \mu\text{g/g}$ dans la Plage de Thalasso thérape. Les valeurs de contaminations en Plomb dans la zone d'Alger plage trouvés par (Guendouzi 2011) se rapproche de nos valeurs trouvées dans la baie d'El Djamila.

Les valeurs maximums de contamination en plomb étaient enregistrées dans la station Z1st1 c'est-à-dire prêt du port d'El Djamila.

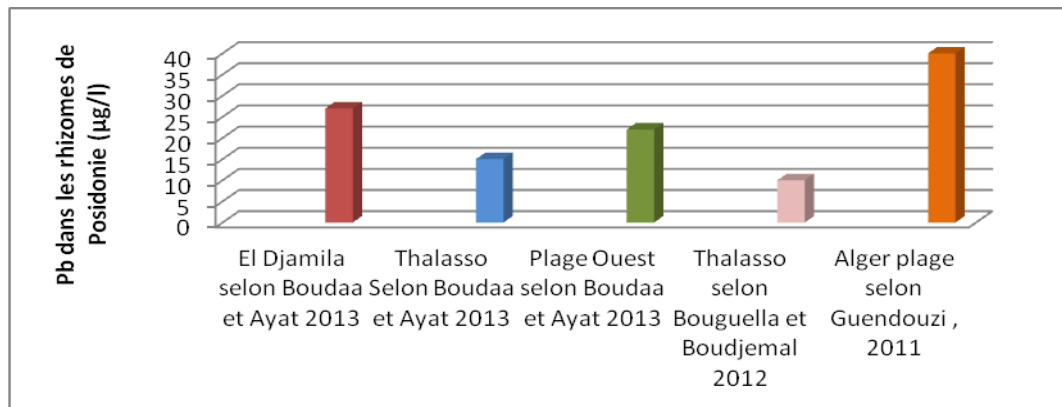


Figure III.11: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de plomb (Pb) en $\mu\text{g/g}$ P.S. dans les rhizomes de posidonie de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentale.

Par ordre croissant nous pouvons classer les zones étudiées selon la concentration en plomb comme suite :

Thalasso selon Bouguella et al 2012 **Thalasso 2013** **Plage Ouest 2013** **El Djamila 2013** **Alger plage selon Guendouzi 2011**



➤ **Le Zinc :**

La contamination par le Zinc est plus importante dans la Baie d'El Djamilia avec des concentrations relativement très élevées par rapport à la zone 2 et 3.

Le maximum de contamination était enregistré dans la station Z1 st 2 c'est-à-dire au large de la plage d'El Djamilia au niveau de la limite inférieure de l'herbier à Posidonie.

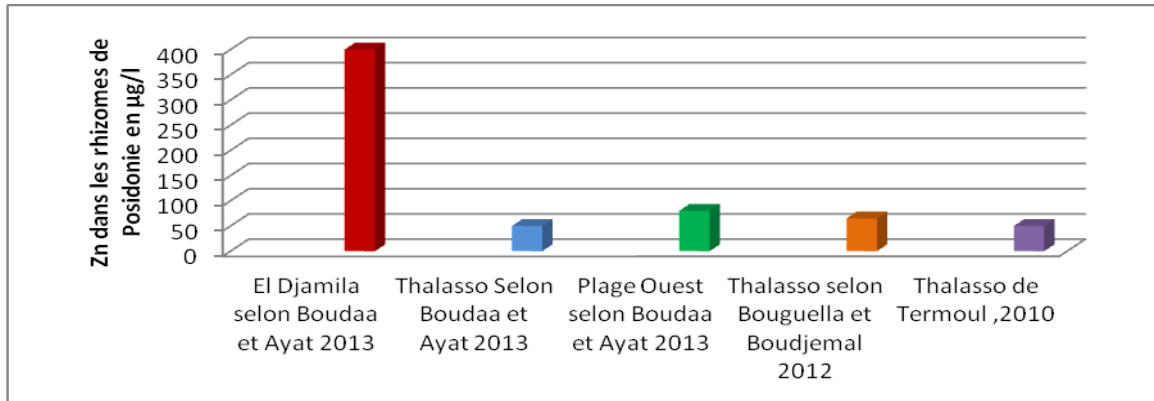


Figure III.12: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de zinc (Zn) en µg/g P.S dans les rhizomes de posidonie de nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentale.

B. Compartiment Oursin (*Paracentrotus lividus*) :

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

Tableau III.12: Valeurs extrêmes, moyennes et écart-types des concentrations en ETM dans les gonades de l'oursin commun *Paracentrotus lividus* des zones étudiées :

| Zone d'étude | Valeur statistique | Hg (µg/g) | Pb (µg/g) | Zn (µg/g) |
|----------------------|--------------------|--------------|--------------|---------------|
| Zone1 : El Djamilia | Minimum | 0,14 | 18,57 | 323,82 |
| | Maximum | 0,59 | 47,32 | 554,7 |
| | Moyenne | 0,383 | 31,897 | 404,39 |
| | Ecart type | 0,2273 | 14,49 | 121,95 |
| Zone 2 : plage Ouest | Minimum | 0,36 | 17,33 | 62,66 |
| | Maximum | 0,62 | 26,03 | 136,56 |
| | Moyenne | 0,581 | 24,18 | 97,576 |
| | Ecart type | 0,28 | 4,841 | 37,117 |
| Zone 3 : | Minimum | 0,125 | 6,87 | 78,401 |
| | Maximum | 0,345 | 16,48 | 235,4 |
| | Moyenne | 0,2266 | 11,6 | 144,1 |
| | Ecart type | 0,1109 | 4,806 | 81,57 |

Tableau III.14: Comparaison des concentrations maximales en ETM dans les gonades de l'oursin commun *Paracentrotus lividus*, exprimées en µg/g de poids sec (p .s) dans nos zones

d'études avec différentes région de la méditerranée occidentale.

| ETM | Valeur maximale ($\mu\text{g/g}$) | | | Valeurs de référence dans la littérature (travaux antérieurs) | | | | | |
|-----------|-------------------------------------|---------------|-------------------|---|--------------------------------|---------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------|
| | El Djamila | Plage Ouest | Thalasso Thérapie | Valeurs ($\mu\text{g/g}$) | Région | Référence bibliographique | | | |
| Hg | 0,59± 0,14 | 0,62±0,36 | 0,345± 0,125 | 0,2788±0,06 | Thalasso | Boughella et al, 2012 | | | |
| | | | | 0,5329± 0,12 | Tipaza | | | | |
| | | | | 0,2181±0,03 | Bou ismail | | | | |
| | | | | | | | 0,0406 | Thalasso (sidi fredj, Algerie) | Termoul,2010 |
| | | | | | | | 0,25±0,24 | Ischia (Naples, Italie) | Warnau et al.,1995 |
| | | | | | | | 0,13±0,03 | Alger plage | Guendouzi, 2011 |
| Pb | 47,32 ± 18,57 | 26,03±17,33 | 16,48 ± 6,87 | 36,69±3,42 | Alger plage | Guendouzi 2011 | | | |
| | | | | 10,25 ± 3,92 | Thalasso thérapie | Boughella,Boudje-mal 2012 | | | |
| | | | | 13,58 | Tipaza | | | | |
| | | | | 3,02 ± 3,31 | Ischia (Naples, Italie) | Warnau et al.,1995 | | | |
| Zn | 554,7± 323.2 | 136,56 ±62,66 | 235,4 ± 78,401 | 200,9±165,5 | Thalasso | Bouguella et al 2012 | | | |
| | | | | 188,1± 48,45 | Bou-Ismail | Bouguella et al 2012 | | | |
| | | | | 366,8±142,5 | Tipaza | | | | |
| | | | | 87,09 | Thalasso (sidi fredj, Algerie) | Tarmoul, 2010 | | | |
| | | | | 90,34 | Corne d'or (Tipaza, algerie) | Termoul,2010 | | | |

➤ **Le mercure (Hg) :**

Les gonades d'oursin qui présentent les plus grandes concentrations en mercure sont ceux de la plage de Thalasso thérapie, ceci constaté à partir de nos échantillons et de ceux de (**Bouguella et al., 2012**) ce qui laisse envisager que les oursins en cette zone accumulent le mercure directement depuis la colonne d'eau.

les oursins des trois zones d'étude sont contaminés par le mercure, ce qui explique l'analogie de nos résultats avec celles de la zone polluée d'Ischia (Naples, Italie) selon (**Warnau et al., 1995**).

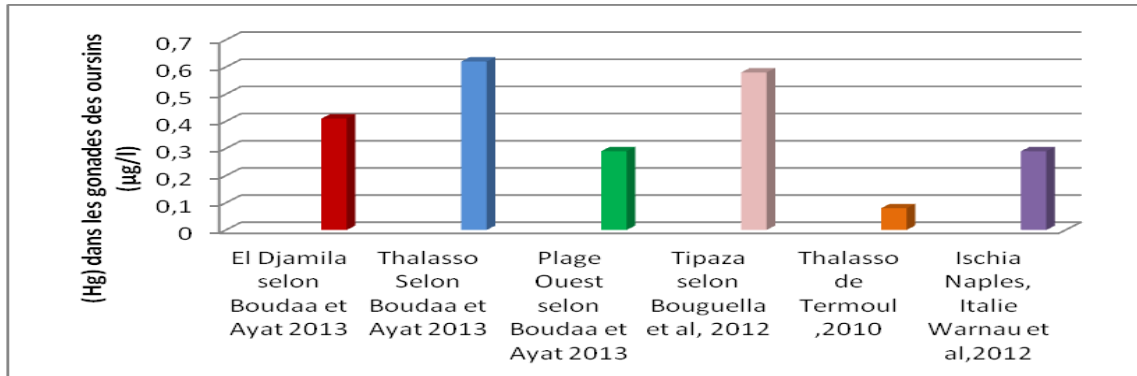


Figure III.13: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de mercure (Hg) en µg/g P.S dans les gonades d'oursin dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

➤ **Le Plomb (Pb):**

Les concentrations en plomb les plus importantes sont observées au niveau de la plage d'El Djamila avec une moyenne de concentrations de 31,89 µg/g , nos résultats se rapprochent de ceux trouvés dans la zone d'Alger plage par (**Guendouzi, 2011**) avec une moyenne de **36,64 µg/g** , c'est valeurs sont supérieures aux concentrations en Plomb des gonades dans les zones de référence à l'échelle de la Méditerranée occidentale (2,02±1,06 µg/g en Ischia (**Naples, Italie**) d'après (**Warnau et al., 1995**).

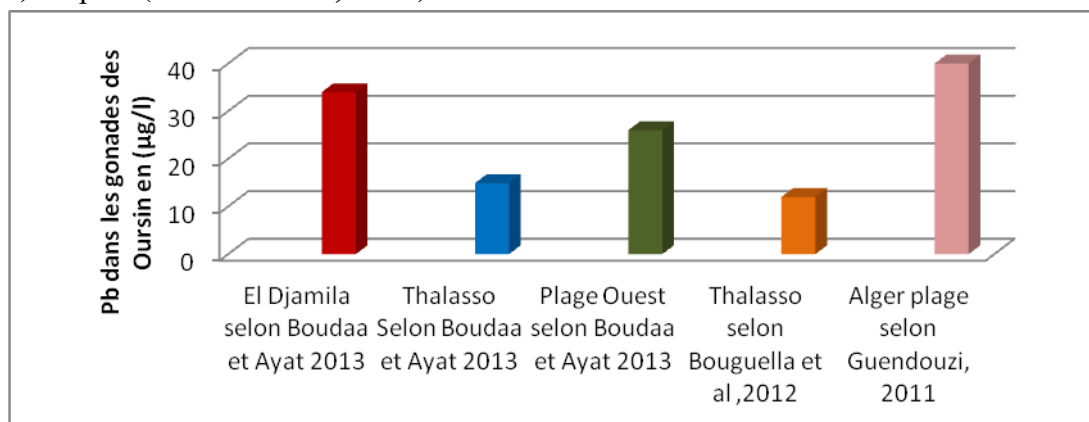


Figure III.14: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de Plomb (Pb) en µg/g P. S dans les gonades d'oursin dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

➤ **Le zinc (Zn) :**

Les concentrations en Zinc dans les gonades d'El-Djamila sont les plus élevées avec une moyenne de 404,39 $\mu\text{g/g}$.

Les concentrations dans la zone de Thalasso thérapie se rapprochent des résultats de 2012 selon (**Bouguella et al**) avec une moyenne de 144 $\mu\text{g/g}$.

L'oursin commun de la plage Ouest est le moins polluée par le zinc avec des concentrations de 97 $\mu\text{g/g}$, ces résultats ressemblent à ceux trouvés dans la zone de la corne d'or par (**Termoul, 2010**).

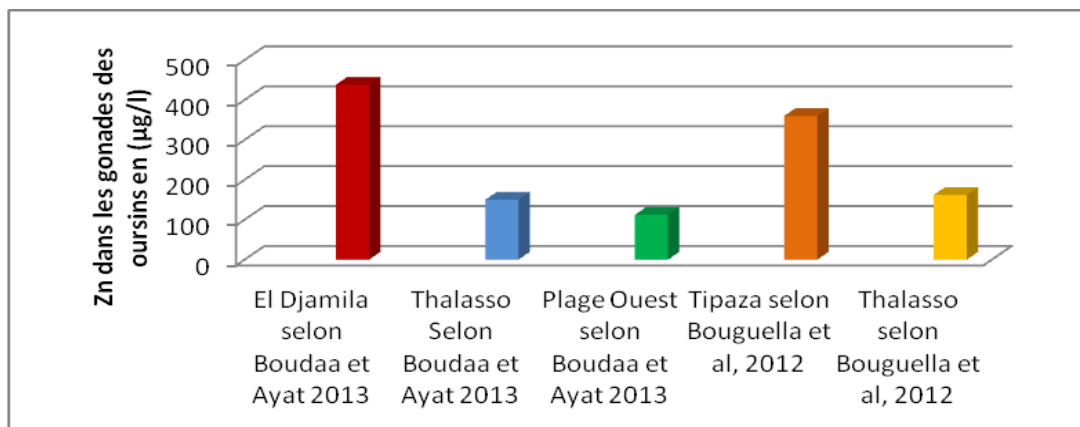


Figure III.15: Histogramme de comparaison des concentrations moyennes de Zinc (Zn) en $\mu\text{g/g}$ P.S dans les gonades d'oursin dans nos zones d'études avec différentes régions de la Méditerranée occidentales.

C. Bioconcentrations des ETM :

On a calculé cet indice pour évaluer l'efficacité de la bioaccumulation des ETM par *Posidonia oceanica* et *Paracentrotus lividus* (relation de bioaccumulation « posidonie /oursin » et le milieu « sédiment »). (**Lau et al., 1998**).

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

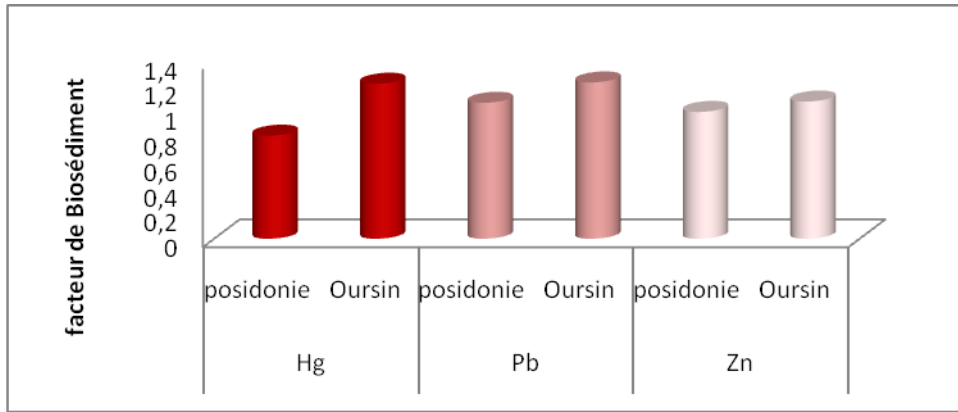


Figure III.16: Histogramme du facteur de biosédiment du Hg, Pb et Zn chez la Posidonie et l’oursin commun de la zone d’El Djamila

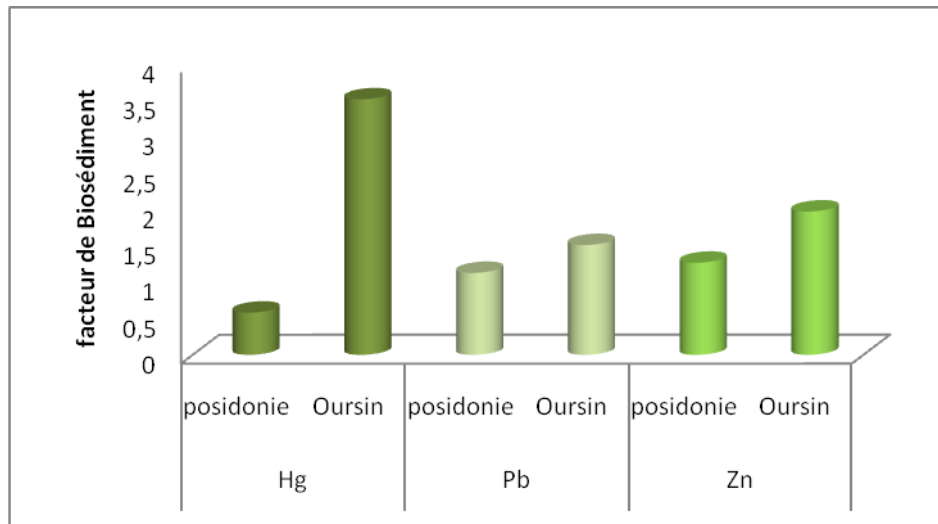


Figure III.17: Histogramme du facteur de biosédiment du Hg, Pb et Zn chez la Posidonie et l’oursin commun de la zone de la plage Ouest (Sidi Fredj)

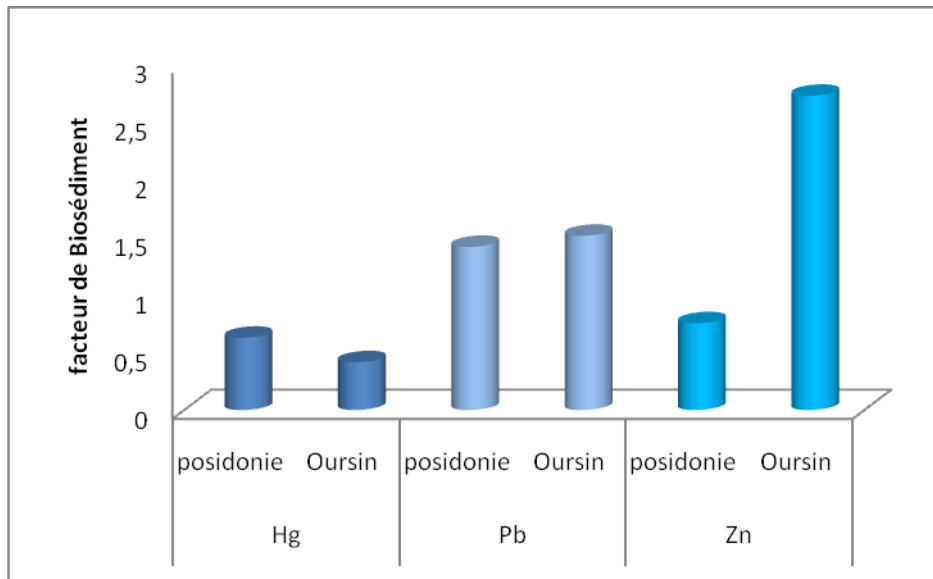


Figure III.18: Histogramme du facteur de biosédiment du Hg, Pb et Zn chez la Posidonie et l'oursin commun de la zone de Thalasso thérapie.

Conclusion :

Lors de nos plongées dans la zone d'El Djamila, nous avons constaté un herbier clairsemé sous formes de touffes séparées, compte tenu de la taille des feuilles qui diffère d'une station à une autre nous constatons un état de vitalité probablement très hétérogène.

Nous avons aussi observé des différences entre les stations 1, 2 et 3 dans la zone d'El Djamila concernant la présence des épiphytes, qui recouvrent presque la totalité des feuilles de la station 2 qui se trouve au large à environ -12 m de profondeur, et qui deviennent très peu présentes et même absentes dans la station 1 à environ -5 m de profondeur qui se trouve à proximité de l'entrée du port d'El Djamila où on a noté des teneurs élevées en éléments métalliques notamment le Zinc et le Plomb, nous avons aussi noté une augmentation très importante des épiphytes dans la station 3 à -2 m de profondeur, à proximité de l'embouchure de l'oued Béni Messous où l'eau est très riche en phosphates et silicates, ce qui entraîne une régression progressive de l'herbier à Posidonie du fait de son impact de l'activité de photosynthèse de la Posidonie.

Ces différences de présence et de biomasses des épiphytes traduisent l'impact direct de la pollution chimique sur la microfaune et flore qui se fixe sur les feuilles de Posidonie.

Dans la station 2 de la zone d'El Djamila nous avons observé une turbidité très importante causée par les travaux réalisés près de l'entrée de port d'El Djamila, cette augmentation des MES pourra entraîner avec le temps le recule de la limite supérieure de la l'herbier à Posidonie qui est déjà à présent en régression progressive, ceci constaté lors de notre plongé ou il nous a fallu avancer vers le large jusqu'à -8 m de profondeur pour explorer les premières touffes de Posidonie.

Dans la zone de Thalassothérapie et de la plage Ouest de Sidi Fredj nous avons constaté la prolifération de *Caulerpa ramosa* (Ulvophyceae) qui occupe des surfaces importantes au profil de Posidonia qui est en recul permanent, nous avons aussi relevé la présence de quantités importantes de matre morte , ce phénomène est dû en grande partie aux rejets continue d'eau usée domestiques qui se déversent principalement du côté Est de Thalassothérapie via le rejet principale du complexe, et dans la plage Ouest par les rejets domestiques et le conduit principale du Laboratoire de L'ENSSMAL.

Suite à des perturbations climatiques qui ont durés du 5 au 9 juin 2013 nous avons observé des rhizomes entiers et de la matre morte en quantité impressionnante sur les rivages de la plage Ouest de Sidi Fredj, ceci traduit d'une part l'hydrodynamisme important dans la zone et la vitalité réduite de l'herbier qui est soumise à de nombreuses contraintes qui ne permettent pas à l'herbier de résister à l'arrachage lors des tempêtes.

Dans les trois zones d'étude, nous avons relevé des points importants grâce à l'analyse des métaux lourds, nous avons ainsi confirmé l'effet des rejets d'eau usée domestiques et industriels sur le recule de l'herbier à Posidonie, l'impact de ces éléments toxiques métalliques est observé au niveau de la chaine trophique entière où nous avons observé des taux importants de métaux lourds dans les gonades de l'oursin commun *Paracentrotus lividus* qui se nourris des feuilles de Posidonie , et qui constitue un danger considérable pour la santé humaine.

Conclusion
Générale

Conclusion Générales

L'objectif de cette étude est de prouver l'existence d'une éventuelle pollution chimique dans la Baie d'El Djamila et d'évaluer son impact sur l'herbier à *Posidonia oceanica* qui constitue un écosystème pivot dans la méditerranée.

Pour mener à bien notre étude nous avons étudié deux autres zones (plage de Thalasso thérapie, et plage Ouest de Sidi Fredj), que nous avons considéré comme référence afin d'évaluer l'état de santé de l'herbier à Posidonie dans la Baie d'El Djamila.

Ainsi à l'issue de cette étude nous avons pu avoir une idée plus au moins globale sur l'impact de la pollution chimique sur l'écosystème à Posidonie.

Nous avons utilisé une approche fondée sur des dosages chimiques. Des mesures des paramètres et des prélèvements ont été réalisées au bord d'une embarcation ou par plongé autonome, et d'autres analyses ont nécessitaient des équipements analytiques que nous avons fait au niveau du laboratoire de Sidi Fredj et de la police scientifique de Château Neuf.

Ce travail nous a permis de maîtriser des instruments scientifiques et des techniques de mesures qui demandent beaucoup d'adresse et de précision.

nous avons pu dégager grâce aux analyses de la matière organique, des sels nutritifs, et de la matières en suspensions, dans les eaux de surface, ainsi que les métaux lourds (mercure, plomb zinc) dans le sédiment, la Posidonie, et l'oursin commun *Paracentrotus lividus* , ces quelques points dont les plus importants sont :

- Les zones situées à proximité des points de rejets des eaux usées (embouchure de l'oued de Béni Messous et les rejets du complexe de Thalasso thérapie) sont les plus touchés par la pollution aux sels nutritifs.
- La distribution des sels nutritifs est principalement gouvernée par l'activité anthropique (domestique et industriel) , ceci s'observent bien pour les teneurs en azote ammoniacal, nitrates, nitrites et phosphates et silicates. il existe donc certainement une pollution par les sels nutritifs plus marquante mais qui ne peut être détecté, on raison de l'assimilation des sels nutritifs, Il est donc évident que l'impact de la pollution sur l'écosystème à Posidonie est considérable.
- Les taux des matières en suspensions sont très remarquables dans la Baie d'El Djamila, ce qui pourrait expliquer la régression de la limite supérieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* à \approx -10m de profondeur dans certaines zones de la Baie.

Conclusion Générales

- Concernant les métaux lourds, tous les indices de contamination sont inférieurs à 3, à l'exception de ceux calculés au niveau de la zone d'El Djamila et qui se situe à des valeurs supérieures en ce qui concerne le Zinc et le mercure. Ces données traduisent que à l'instar de la zone d'El Djamila les sédiments prélevés dans toutes les autres zones échappent à toute forme de toxicité par les métaux lourds.
- Selon la classification établie par (**Pergent-Martini et al., 2005**) les herbiers de la zone d'El Djamila et de la plage Ouest de Sidi Fredj sont en mauvais état.
- Pour la zone de Thalasso thérapie l'herbier de de Posidonie est classé en bonne état mais la zone connaît tout de même des contaminations non négligeable en métaux toxiques et notamment le Mercure qui a augmenté considérablement dans la zone comparé aux études antérieurs (**Termoul, 2010**).
- Il paraît clairement que l'écosystème à Posidonie connaît un déséquilibre écologique important qui se traduit par l'abondance de la matte morte et des rhizomes déchaussés au niveau de la plage ouest et de la plage de Thalasso thérapie au niveau de Sidi Fredj ainsi que la large prolifération de *Caulerpa Racemosa* qui occupe de plus en plus de surface et qui exerce une forme de compétition sur l'herbier à Posidonie.
- Ce déséquilibre se traduit dans la Zone d'El Djamila par l'aspect et la densité de l'herbier à posidonie, où nous avons observé que des touffes séparées de *Posidonia oceanica*.
- L'oursin commun *Paracentrotus lividus* accumulent des quantités importantes de produits toxiques dans ses gonades et qui constituent un problème sérieux pour la santé humaine.

Recommendations

Pour une meilleure gestion de et une amélioration de l'état de l'écosystème à posidonie nous proposons ces quelques recommandations :

- Installer un réseau de surveillance de l'herbier à *Posidonia oceanica* .
- Le suivie à long terme des réseaux de surveillance, ce qui permettra d'appréhender l'état du milieu marin dans les secteurs concernés.
- Respecter le règlement concernant le chalutage à moins de 50m de profondeur.
- Eviter de faire des travaux en été, saison au cours de laquelle la plante reconstitue ses réserves.
- Répertorier et identifier toutes les sources de pollution et les rejets d'origine industriels, agricole ou domestique dans la Baie d'El Djamila pour mieux les gérer.
- L'installation de stations d'épurations pour le traitement des rejets industriels, agricoles et domestiques qui déversent directement dans le milieu marin.
- Cartographier avec précision l'herbier à Posidonie pour une meilleure connaissance de sa distribution et de sa profondeur.
- Prévision d'un périmètre de précaution pour les herbier dans le cas de dragages, et l'installation d'écran en géotextile protecteur.

*Références
bibliographiques*

A

Alcoverro, T., Cebrian, E., Ballesteros, E., (2001). The photosynthetic capacity of the sea grass *Posidonia oceanica* : influence of nitrogen and light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 261,107-120.

Alliouane, A., Ramdani, L., (2006). Aménagement des ports de pêche de Zemmouri et d'El Djamila. Mémoire d'ingénieur en aménagement du littoral. ISMAL.

Alloway, B.J., (1995). The mobilisation of trace elements in soils. *Biogeochemistry of trace elements: contaminated soils*, 3rd, Paris.R. Prost Ed: 133- 145.

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

Aminot, A., Chaussepied, M., (1972). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO : 395p.

Aminot, A., Chaussepied, M., (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. 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, option : pollution marine, 73p.

Ardizzone GD., Pulusi, P., (1984). Yield and damage evaluation of bottom trawling on *Posidonia* meadows. In : *International workshop on Posidonia oceanica beds. Boudouresque, C.F., Jeudy de Grissac, A., Olivier, J., GIS Posidonie Pub., France, 1,63-72 Aubert, M.*

Artois-Picardie., (1996): Annuaire de la qualité des eaux de surface du bassin. Agence de l'eau. 32P.

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., 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.

Augier, H., Monnier-Besombes, G., Sigoillot, G., (1984b). Influence des détergents sur *Posidonia oceanica* (L.) Delile. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 407-418.

B

Bakir, M., (1987). La dynamique sédimentaire dans la baie d'El Djamila (baie de Bou Ismail). Mémoire d'ingénieur en géologie marine. USTHB.

Baize, D., (1997). Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols. INRA edition.409 p.

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.

Beauchamp, J., 2003. Méthodes et principes de l'éthique biomédicale, volume 29.

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

Bell, J.D., Harmelin-Vivien, M.L., (1982). Fish fauna of French Mediterranean *Posidonia oceanica* sea grass meadows.1. community structure. Tethys, 10(4): 337-347.

Bellan-Santini, D., Arnoux, A., Willsie, A., (1986). Distribution comparée des crustacés amphipodes de la « matie » d'herbier de posidonie mort et vivant. Rapp.P.V.Réun. commiss internation. Explor. Sci. Medit., 30(2) :8.

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 *Posidonia oceanica* Delile et *Cymodocea nodosa* Ascherson dans le golfe de Tunis. Bull. Inst. Océanogr. Pêche Salammbô, 2(3): 331-416.

Bendschneider, K., Robinson, R.J.,(1952). A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research*.XI, 1, 87-96.

Bonnet, C., (2000). Développement de bioessais sur sédiments et applications de l'étude, en laboratoire, de la toxicité de sédiments dulçaquicoles contaminés. Thèse de doctorat, Université de Metz : 326P.

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

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

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

Boudouresque, C.F., Meinesz, A., (1982). Découverte de l'herbier de Posidonie. Cah. Parc nation. Port-Cros, Fr., 4: 1-79.

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

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

Bourcier,M., (1989). Régression des herbiers a *Posidonia oceanica* (L.) Delile, a 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 workchop on *Posidonia beds*. GIS Posidonie publ.2 :287-296.

C

Campanella. L., Conti.M.E., Cubadda.F., Sucapane. C., (2001). Trace metals in sagra. Algae and molluscs from znd uncontaminated area in the Mediterranean. *Environmental pollution* 111.117-126.

Capimont A, Breugnot E, Den Haan M, Alexandre Meinesz A (2000). Phenology of a deep-water population of *Caulerpa racemosa* var. *Cylindracea* in the northwestern Mediterranean Sea, *Botanica marina*, 48, PP 80-83.

Castel, J., Labourg, P.J., Escavage, V., et Timel, A., (1990). Distribution quantitative du méo et macro-benthos dans des lagunes mixohalines, influence du confinement sur le partage des ressources, *oceanologia Acta*, 13(3), pp.349-359.

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

Chessa, L.A., Fustier, V., Fernanader, C., Mura, F., Pais, A ., pergent, G., Serra, S., Vitale, L., (2000). Contribution to the knowledge of « banquette » of *Posidonia oceanica* (L) Dellile in Sardinia island. *Biol. Mar. Medit.* 7(2):35-38.

Chiffoleau, J.F., Gonzalez, J.L., Miramand, Pet thouvenin, B., (1999). Le cadmium : comportement d'un contaminant métallique en estuaire, rapports scientifiques et technique de l'Ifremer : 3-31.

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

Copin-Montegut, G., (1996). Chimie de l'eau de mer, coll synthese, mollusque, Paris. 319p.

Cossa, D., Elbaz-Poulichet, F., Gnassia-Barelli, M. et Romeo, M., (1993). Le plomb en milieu marin : Biogéochimie et écotoxicologie. Ed. Ifremer. 75p.

Costanza, R., Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutin, P., Van Den Belt, M., (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.

D

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

Deschamps, T., Benzaazoua, M., Bussiere, B., belem, T. Et Mbonimpa, M., (2006). mecanisme retention des metaux lourds en phase solide : cas de la stabilisation des sols contaminés et des dechets industriels, *Vertigo*, Vol 7(2) :11p.

Duarte, C.M., Chscaco, C.L., (1999). Sea grass biomass and production: a reassessment. *Aquat. Bot.* 65:159-174.

E

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

F

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

Francour, P., (1990). *Dynamique de l'écosystème à Posidonia oceanica dans le Parc national de Port-Cros. Analyse des compartiments matte, litière, faune vagile, échinodermes et poissons.* Thèse Doct. océanol., Univ. P. et M. Curie, Paris, Fr.: 1-32.

Francour, P., (1997). Fish assemblage of *Posidonia oceanicabeds* at Port cros (France, NW Mediterranean): Assessment of composition and long-term fluctuations by visual census. *Mar. Ecol., PSZNI* 18(2):157-173.

G

Gacia, E., Duarte, M., (2001). Sediment retention by Mediterranean *Posidoniaoceanicamea* dow : resuspension *Est. Coast. Shelfsci.*52:505-514.

Galaf F et Ghannam, S., (2003). Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin. *Mémoire de troisième cycle. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II Rabat.* 101p.

Galanopoulou, S., Vgenopoulos, A., Conispoliatis, N., (2009). Anthropogenic Heavy Metal Pollution in the Surficial Sediments of the Keratsini Harbor, Saronikos Gulf, Greece. *Water Air Soil Pollut* 202 (2009) 121–130

Gamulin-bridan., (1974). Biocenoses benthiques de la mer Adriatique. Acta Adriatica 15(9) :1-102+1 carte.

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

Glorennec, F., Laperche, V. Et guyonnet, G., (2007). Plomb et santé : importance de la spéciation. Géosciences. (5) : 40-45.

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

H

Haddouche I., (2003). Etude de la pollution en baie de Bou-Ismaïl par les sels nutritifs et les métaux lourds en Juillet 2002. Mémoire d'ingénieur I.S.M.A.L

J

Jacques, G., Treguer, P., (1986). Ecosystèmes pélagiques marins. Collection d'écologie 19 ed. Masson, Paris, 243 p.

Judyde grissaca., Boudouresque, C.F., (1985). Rôles des herbiers de phanérogames marines dans les mouvements de sédiments côtiers : les herbiers a *Posidoniaoceanica*. Colloque franco-japonais d'oceanographie, Marseille, Fr., 1 :143-151.

Jora, (2006). Les valeurs limites maximales de la teneur en substances nocives des eaux usées, décret exclusif n°09-209 du 11 Juin 2009 fixant. Journal officiel de la république Algérienne, 36,21 Juin 2009, Algérie,36,17-18.

K

Kantin, R., Pergent-Martini, G., (2007). Gestion des écosystèmes littoraux méditerranéens (rapport final). Ifremer, pp: 1-189.

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

L

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

Lau,S., Mohamed, M., Tan Chi Yen, A., Suut, S., (1998). Accumulation of heavy metals in freshwater molluscs. The Science of the Total Environment 214, 113-121. Leveque, C, 1996. Ecosystème aquatique, ISBN. 159 pages.

Leclaire, L., (1972). La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro - Baléares (précontinent algériens). Mém.Mus.Nat.His.Nat., Nouvelle série C. Science de la terre, Tome XXIV.391p

Le Direach, L., Fracour, P., (2001). Recrutement des poissons dans les herbiers de posidonie de port-cros. GIS Posidonie et parc national de port-cros, GIS Publ., Fr : 1-40.

Le Gall, J. Y., (1969). Etude de l'endofaune des pelouses de Zostéracées superficielles de la baie de Castiglione (côte d'Algérie).*Téthys*, 1 (2): 395-420.

Levêque, C., (1996), Ecosystèmes aquatiques, ISBN. 159 pages.

Lourguioui, (2006). Etude hydrobiologique du barrage de Boukourdane (wilaya de Tipaza). Thèse de magister, ISMAL, 80p.

M

Marchand, M et kantin, R., (1995). Les métaux traces en milieu aquatique. *Oceanis* 23(4) :595-629.

Marchand, M et kantin, R., (1996). Les métaux traces en milieu aquatique. *Oceanis* 23(4) :595-629.

Marchand, M et kantin, R., (1997). Les métaux traces en milieu aquatique. *Oceanis* 23(4) :595-629.

Meinesz, A., Boudouresque, C.F., Jeudy, de Grissac, A., Lamare, J.P., Lefevre, J.R., Manche, A., (1985). Aménagement et préservation du milieu marin littoral en région Provence-Alpes-Côte d'Azur: bilan et perspectives. Colloque Franco-japonais d'océanographie, Marseille, Fr., 1 :133-142.

Meinesez, A., Molenaar, H., Bellone, E., Loques, F., (1992). Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. I. Effets of rhizome length and transplantation season in orthotropic shoots. *Marine Ecology PS ZNI* 13(2) 163-174.

Meybeck, M. and Helmer, R. (1996). Introduction . In : D. Chapman (Ed.) *Water Quality Assessments. A Guide to the Use of Biota, Sédiments and Water in Environmental Monitoring*. 2nd edition. Chapman & Hall, London.

Molenaar, H., (1992). *Etude de la transplantation de boutures de Posidonia oceanica (L.) Delile, phanérogames marines. Modélisation de l'architecture et du mode de croissance.* Thèse Doct. Univ. Nice Sophia-Antipolis, Fr. : 1-221.

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

O

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).

P

Pagatto, C., (1999). Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et dans les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier, thèse de doctorat, université ede Poitier : 252 P+ annexes.

Pasqualini, V., (1997). Caractérisation des peuplements et types de fonds le long du littoral corse (Méditerranée, France). Thèse Doct. Univ. Corse, Fr. : 1-190.

Pergent, G., (2006). Le role des herbiers a *Posidonia oceanica*. Boudouresque, C.F., bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., Diviacco, G., Meinesez, A., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., Tunesi, L., edit., RAMOGE pub., 25-31.

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

Pergent, G., Boudouresque, C. F., Crouzet, A., Meinesz, A., (1989). Cyclic changes along *Posidonia oceanica* rhizomes (lepidochronology): present state and perspectives. *Marine Ecology, P S Z N I* 10 (3): 221-230.

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

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

Pergent-Martini, C., Agreil, M., Ferrat, L., Pasqualini, V., Pergent, G., (2005). Contrat de plan état. 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, G., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C. F., (1995). Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée*, 54: 3-27.

Pergent, G., Romero, J., Pergent-Martini, C., Mateo, M.A., Boudouresque, C. F., (1994). Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 106: 139-146.

Porcher, M., (1984). Impact des mouillages forains sur les herbiers à *Posidonia oceanica* In : Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. International workshop on *Posidonia oceanica* bed, GIS Posidonie publ., Fr., 1:145-148.

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.

Procaccini, G., Mazella, L., (1996). Genetic structure of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Suez Canal. Springer Verlag publ., Fr., 1 :145-148.

R

Ramade, F., (2002). dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Dunod, Paris. 1075PP.

Rais, M., (1999). Géochimie des métaux lourds (Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ni et Cd) dans les eaux de surface du golfe de Tunis. Mobilité et impact des activités anthropiques. Thèse de Doctorat, université de Tunis II, 211 p. In Gueddari 1992.

Revillon, P., Breittmayer, P., Geuthier, M et Flatau, G. (1972). Métaux lourds en Méditerranée . 1^{er} tome CERBON, 153p.

Riley, JP., And Chester, R., (1971). Introduction to marine chemistry. Academic Press, New York, 465P.

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

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.

Rodier, J., (1984). L'analyse de l'eau mer (eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer) 7 Edt Dunod. 1367 p

Rodier, J., (1996). L'analyse de l'eau [8ème édition] eaux naturelles, eau résiduelles, eaux de mer. Edition : DUNOT (Paris). pp. 385-401.

Rodier, J., Bazin, C., Broutin, J.-P., Chambon, P., Champsaur, H et Rodi, L., (2005).

L'analyse de l'eau : eaux naturelle, eaux résiduaires et l'eau de mer. 8ème Ed. Dunod, paris. 1383p.

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

S

Slawyk, G., (1980). L'absorption de composes azotes par le phytoplankton marin: role dans la production primaire. Relations avec la photosynthèse et les variables du milieu extra et intercellulaire. Thèse de Doctorat d'Etat es Sciences . Aix-Marseille II.213.

Soualili, D., Dubois P., Pernet, P., Guillou, M., (2008). Assesment of seawater pollution by heavymetals in the neighbourhood of algiers : use of the seurchin, *Paracentrotuslividus*, as a bioindicator.-ICES Journal Of Marine Science, 65 :132-139.

T

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

Thélin, I., Boudouresque, C.F., (1985). *Posidonia oceanica* flowering and fruiting : recent data from an international inquiry. *Posidonia Newsletter*, 1(1):5-14.

Templado, J., (2004). Las praderas de fanerogamas marinas. Introduccion. In: Luque AA., templado J. edits. Praderas Y bosques marinos de andalucia. Consejeria de Medio Ambiente, Junta de Andalucia publ., Sevilla : 57-59.

Tunesi, L ., Boudouresque, C., (2006). Les causes de la regression des herbiers a *Posidonia oceanica* . In : Préservation et conservation des herbiers a *Posidonia oceanica* . Boudouresque, C.F., Bernard,G., Bonhomme,P., Charbonnel,E., Diviacco,G., Meinesz,A., Pergent ,G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., Tunesi,S., edit., RAMOGE pub., France, 3247.

W

Warnau, M., Biondo, R., Temara, A., Boudouresque, J.M., Jangoux, M., dubois, P., (1995). Heavy metals in *Posidonia oceanica* and *Paracentrotus lividus* from seagrass beds of the north-western Mediterranean. Journal of Sea Research 171 (1995) 95–99.

Wood ed. Armstrong F. A’’ J.all. d Richaad F’’ A. (1967). –J. Har. Biol ..A.SSoc..Uo K 47, P’’23’’.

Z

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

Sites Web:

www.google earth 2008. Fr

www.google earth 2011.fr

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

Annexe I

Dosage des sels nutritifs :

1. Dosage de l'azote ammoniacal :

Principe :

Il s'agit de la méthode de Korolef (1969).

Dans un premier temps l'ammoniac forme une monochloramine avec l'hypochlorite en milieu légèrement basique, cette dernière réagit avec le phénol en présence d'un excès d'hypochlorite pour former le bleu de l'indophénol absorbant à 630 nm.

Cette méthode consiste à doser la totalité de l'azote ammoniacal.

Mode opératoire :

➤ Préparation des réactifs:

Réactif I: (Solution de phénol-nitroprussiate)

Pour 1L de réactif, dissoudre 35 g de phénol et 400 mg de nitroprussiate de sodium dans de l'eau distillée et compléter à 1L.

Réactif II: (Solution alcaline d'hypochlorite)

Pour 1L de réactif :

Dissoudre 280 g de citrate trisodique et 22 g de soude dans environ 800 ml distillée.

Ajouter un volume de solution de hypochlorite correspondant à 1,4 g de chlore et compléter jusqu'à 1L.

➤ Solution étalon primaire d'ammonium:

Dissoudre 0,661g de sulfate d'ammonium dans un litre d'eau distillée. 1ml contient 10 μ mol d'ammonium.

➤ Procédure général d'analyse:

- Prendre 100 ml de la solution à analyser et ajouter 3 ml de réactif I, agiter et bien homogénéiser.
- Ajouter sans attendre 3 ml de réactif II, placer immédiatement à l'abri de la lumière pendant 6 à 8 heures.
- Mesurer l'absorbance à 630 nm.

➤ Etalonnage:

Tracer la droite d'étalonnage $Abs = f(C)$ à partir des résultats de l'analyse des étalons (**Figure I.1**).

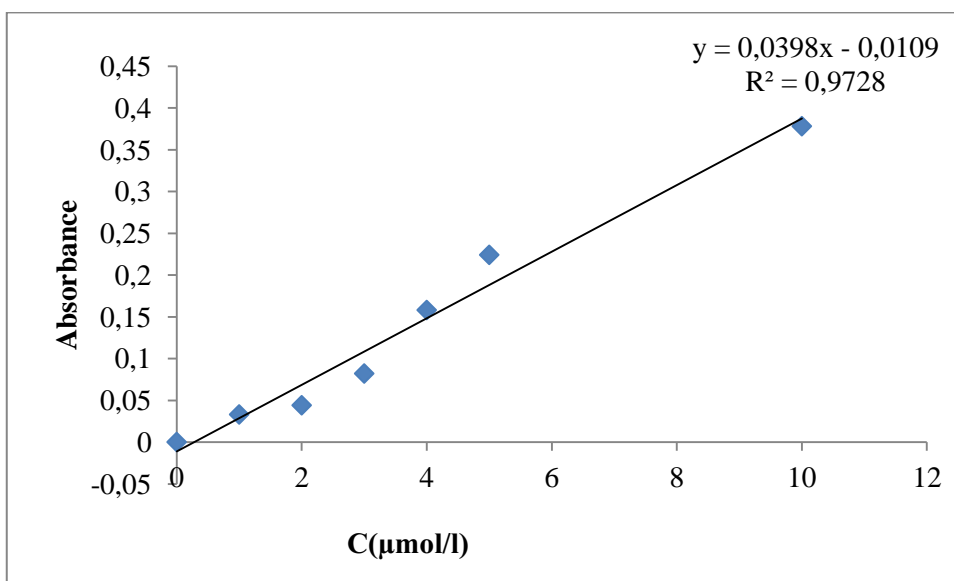


Figure I.1: Courbe d'étalonnage de l'ammonium.

2. Dosage des nitrites:

Principe :

En milieu acide (pH <2) les nitrites libèrent de l'acide nitreux (HNO₂) qui réagit avec une amine aromatique la sulfanilamide pour donner un composé diazoïque.

En présence de dihydrochlorure de N-(1-naphtyl) éthylène diamine, il se forme un complexe de couleur rose dosé par colorimétrie (méthode Griess) mesuré à 543 nm. Cette méthode est appliquée à l'eau de mer par Bendschneider et Robinson (1952).

Mode opératoire:

➤ **Préparation du réactif colorant:**

Produits chimiques exigés :

Acide o-phosphorique H₃PO₄ (85%).....50 ml.
 Sulfanilamide C₆H₈N₂O₂S..... 10g. α-
 Naphtyléthylène diamine dihydrochloride C₁₂H₁₆Cl₂N₂.....0,5g. Eau
 distillée H₂O.....850 ml.

Préparation :

Diluer l'acide o-phosphorique dans ± 750 ml d'eau distillée. Ajouter la sulfanilamide et le α- Naphtyléthylène diamine dihydrochloride et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

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

➤ **Préparation de la solution étalon nitrite à 5000 μ mol /l:**

Dissoudre 0,345 g de nitrate de sodium (NaNO_3) dans de l'eau distillée et compléter jusqu'à 1 L, cette solution est stable 1à2 mois et doit être conservée au froid à l'abri de la lumière.

1 ml contient 5 μ mol de nitrite.

➤ **Procédé général d'analyse:**

Introduire dans une éprouvette 50 ml de la solution à analyser (étalon ; échantillon) et ajouter 2ml de réactif colorant, attendre quelques minutes et faire la mesure de l'absorbance à la longueur d'onde $\lambda = 543\text{nm}$.

➤ **L'étalonnage:**

On utilise une gamme d'étalonnage à base d'une solution étalon secondaire de nitrite et on trace le graphe $\text{Abs} = f(C)$.

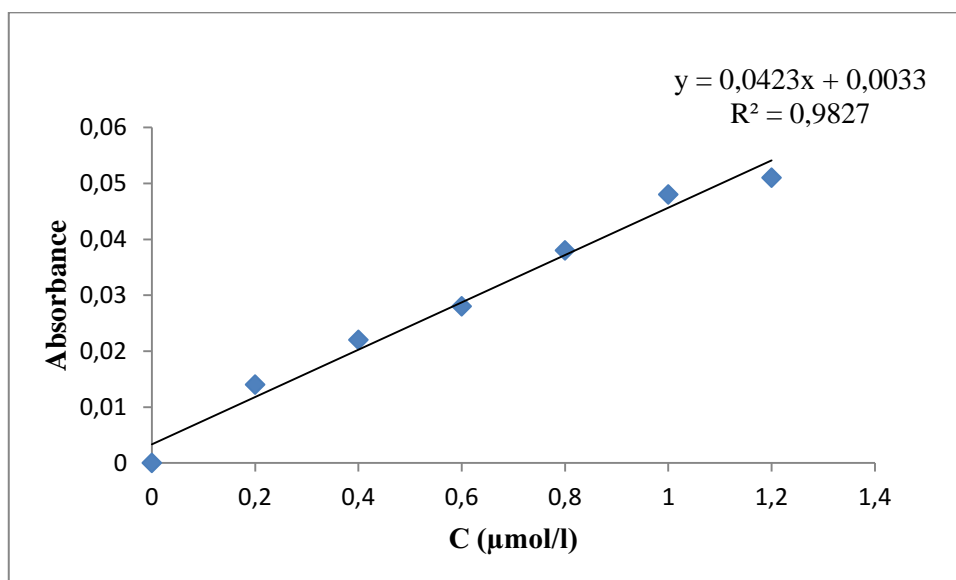


Figure I.2: Courbe d'étalonnage des nitrites.

3. Dosage des nitrates:

Principe:

La méthode utilisée est fondée sur le dosage des ions nitrites obtenus par réduction quantitative (>95%) des ions nitrates.

On mesure en réalité la somme des concentrations des ions $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ par déduction de la concentration en nitrites déterminée sans réduction, on obtient la concentration des ions nitrates.

Mode opératoire:

➤ **Préparations des réactifs:**

Réactif I (solution de sulfanilamide)

Diluer 50 ml de l'acide chloridrique concentré ($d= 1,18$) dans environ de 300 ml de l'eau distillée et dissoudre 5 g de sulfanilamide dans cette solution et compléter à 500 ml.

Réactif II: (solution de N-naphtyl-Ethylènediamine)

Dans 500 ml d'eau distillée dissoudre 0,5 g de dichloridrate de N-(1-naphtyl)-éthylènediamine.

➤ **Solution concentrée de sulfate d'ammonium:**

Préparer une solution de 250g de chlorure d'ammonium NH_4Cl par litre dans de l'eau distillée.

➤ **Solution diluée de sulfate d'ammonium:**

Diluer 40 fois la solution précédente avec de l'eau distillée.

➤ **Solution de sulfate de cuivre:**

Dans 500 ml d'eau distillée dissoudre 10 g de sulfate de cuivre pentahydrate ($CuSO_4,5H_2O$).

➤ **Préparation de la solution étalon nitrate à 5000 $\mu mol/l$:**

Dissoudre 0,506 de nitrate de potassium anhydre dans un litre d'eau distillée et ajouter 1 ml de chloroforme.

1 ml contient 5 μmol de nitrate.

➤ **Préparation de la colonne de réduction:**

- Laver environ de 50 g de grains à l'acide chloridrique 2 mol/l puis rincer à l'eau distillée.
- Laver rapidement à l'acide nitrique 0,3 mol/l puis rincer à l'eau distillée.
- Laver à nouveau à l'acide chloridrique 2 mol/l pour chasser les ions NO_3^- et rincer abondamment à l'eau distillée.
- Traiter le cadmium par 100 à 150 ml de solution de sulfate de cuivre : dans un erlenmeyer agiter le cadmium avec cette solution et laisser en contact pendant plusieurs minutes ; la solution se décolore
- Laver ensuite abondamment à l'eau distillée par débordement de l'erlenmeyer pour ne jamais mettre en contact le cadmium traité avec l'air jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de fines particules en suspension.
- Retourner l'erlenmeyer sur la colonne sans y faire entrer d'air et faire tomber le cadmium jusqu'à une hauteur de 15 à 20 cm tout en tapotant la colonne pour obtenir un tassement régulier.

- Laver abondamment la colonne avec la solution diluée de chlorure d'ammonium.

➤ **Analyse de la concentration totale nitrite+nitrite:**

- Prendre 100 ml d'échantillon et ajouter 2 ml de la solution concentrée de chlorure d'ammonium.
- Conditionner la colonne avec environ de 5 ml de cette solution pour diminuer les risques d'interférences entre échantillons successifs.
- Verser alors le reste de l'échantillon.
- Rejeter les 30 premiers ml.
- Recueillir 50 ml de l'échantillon dans un erlenmeyer.
- Ajouter aussitôt 1ml de réactif 1 et laisser reposer 2 à 8 minutes.
- Ajouter 1ml de réactif 2 et laisser reposer 10 minutes mais pas plus de 2 heures.
- Mesurer l'absorbance de l'échantillon à 543 nm.

➤ **Contrôle du rendement de réduction:**

Préparer une solution à 20µmol/l en mettant dans une fiole jaugée 2ml de la solution étalon nitrate et en complétant à 500 ml avec de l'eau distillée.

Passer la solution dans la colonne et mesurer l'absorbance.

Calculer le rendement de réduction **R** avec ($R < 1$).

➤ **Contrôle la réduction des ions nitrites:**

On procède exactement comme pour la mesure de rendement de la réduction des ions nitrates en préparant une solution de 20 µmol/l de nitrite et la faire passer à travers la colonne réductrice afin de mesurer la fraction des ions nitrites non réduites soit **r**.

➤ **Calcul et expression des résultats:**

$$[\text{NO}_3^-] \mu\text{mol/l} = C \cdot 1/R - [\text{NO}_2^-] \cdot r/R$$

[NO₃⁻] µmol/l : concentration des ions nitrates de l'échantillon. **C**: concentration de nitrate +nitrite.

[NO₂⁻] : concentration de l'échantillon en nitrite.

Les concentrations sont déterminées à partir de la courbe d'étalonnage de nitrite

(Figure I.3).

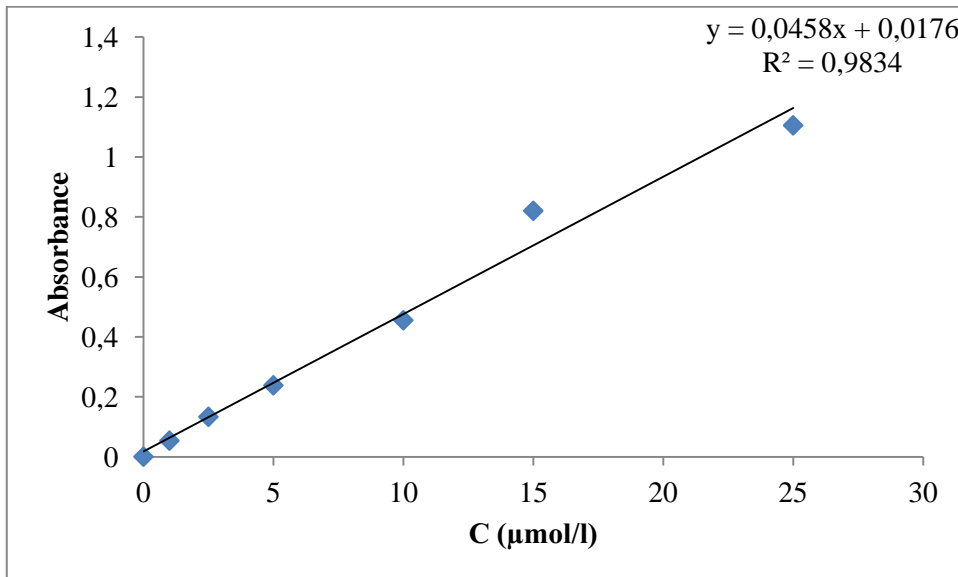


Figure I.3: Courbe d'étalonnage des nitrates.

4. Dosage des orthophosphates:

Principe:

Le principe du dosage des orthophosphates selon la méthode de Murphy et Riley repose sur la réaction de l'anion orthophosphate (PO_4^{3-}) avec l'ion molybdate d'ammonium et l'ion oxydrate de potassium (Antimoine) en milieu acide pour la formation de l'acide phosphomolybdique. Cet acide est réduit par l'acide ascorbique en bleu de molybdène dont l'absorbance à 885nm.

Mode opératoire:

➤ **Préparation des réactifs:**

Réactifs solution de molybdate d'ammonium:

Dissoudre 15 g de paramolybdate d'ammonium $(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dans 500ml d'eau distillée, elle doit être conservée dans un flacon en plastique à l'abri de la lumière ; la solution est stable indéfiniment.

Acidesulfurique:

Dans une fiole en verre avec un fond d'eau distillée ajouter petit à petit 70 ml d'acide sulfurique (densité =1,84) .compléter le volume jusqu'à le trait de jauge 500 ml.

Solution d'acide ascorbique:

Dissoudre 11g d'acide ascorbique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) dans 800 ml d'eau distillée, ajouter 60 ml d'acétone ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) et compléter à l'eau distille jusqu'à 1000 ml par l'eau distillée.

Solution de d'oxytartrate de potassium et d'antimoine:

Dissoudre 0,34 d'oxytartrate de potassium et d'antimoine(III) $(\text{KSbO}) \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ dans 250 ml d'eau distillée. Cette solution se conserve plusieurs mois en réfrigérateur.

Le mélange des réactifs:

- 100 ml de solution de molybdate d'ammonium
- 250 ml d'acide sulfurique $2,5 \text{ mol.l}^{-1}$
- 100ml se solution d'acide ascorbique
- 50ml de solution d'oxytatrates de potassium et d'antimoine

➤ **Préparation de la solution étalon:**

Solution étalon concentrée de phosphate à $5000 \mu\text{mol/l}$

En dissoudre 0,6805 g dihydrogénophosphate de potassium anhydre de pureté garantie (KH_2PO_4) pour 1 l de solution préparée en fiole jaugée avec de l'eau déminéralisée et ajouter 1 ml chloroforme

1 ml contient $5 \mu\text{mol}$ de phosphate.

Solution étalon diluée de phosphate à $500 \mu\text{mol/l}$

Diluer 10 fois la solution étalon concentrée pour obtenir la solution étalon diluée : 1 ml contient $0,5 \mu\text{mol}$ de phosphate.

Cette solution se conserve quelques jours au réfrigérateur.

➤ **Procédure générale de dosage:**

En application au protocole de dosage des orthophosphates selon la méthode de Murphy et Riley, nous ajoutons à 50ml de chaque étalon, 5ml du réactif précédemment préparée, Attendons 5 minutes puis mesurons leur absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre (réglé à la longueur d'onde de 885nm)

Soit la droite d'étalonnage (**Figure I.4**).

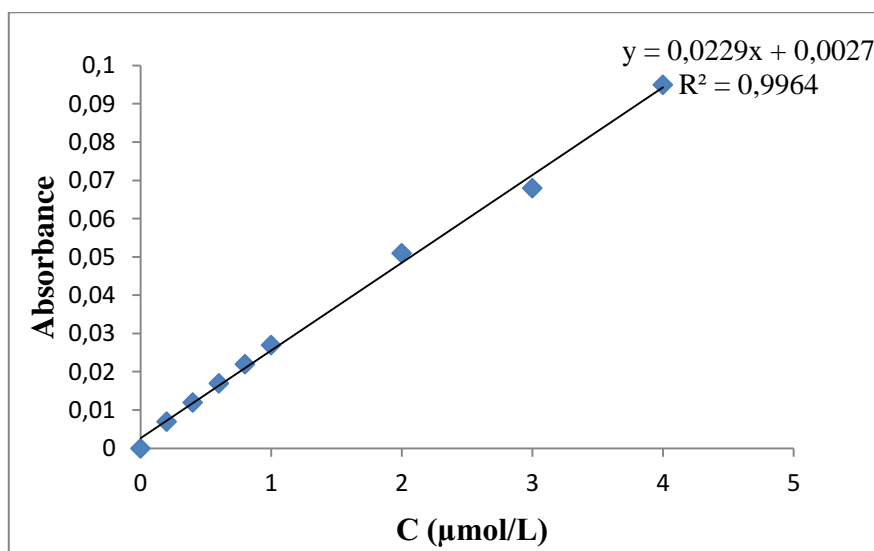


Figure I4: Courbe d'étalonnage des orthophosphates.

On procède de la même méthode pour l'analyse des échantillons.

5. Dosage des silicates:

Principe:

L'analyse est effectuée selon la méthode de Mullin et Riley (1955) adaptée par Strickland et Parson (1972). Le dosage est fondé sur la formation du complexe silicomolybdique qui après réduction donne une coloration bleu intense.

Mode opératoire:

➤ **Préparation des réactifs:**

Réactif I: (réactif au molybdate)

Pour 500 ml de réactif :

Dissoudre 4g de paramolybdate d'ammonium $(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en poudre dans environ de 300 ml d'eau distillée.

Ajouter 12 ml d'acide chlorhydrique concentré ($d = 1,18$) mélanger et compléter jusqu'à 500ml avec de l'eau distillée.

Solution de méthol-sulfite:

Dans 500 ml d'eau distillée

Dissoudre 6 g de sulfate de sodium anhydre Na_2SO_4 et ajouter 10 g de méthol (sulfate de p-méthylaminophenol, $\text{C}_{14}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_6\text{S}$).

Solution saturée d'acide oxalique:

Agiter 50 g d'acide oxalique $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ avec 500 ml d'eau distillée, laisser décanter et prendre le surnageant.

Solution d'acide sulfurique:

Ajouter avec précaution et en mélangeant au fur et à mesure 250 ml d'acide sulfurique concentré de ($d = 1,84$) à 250 ml d'eau de distillée.

Réactif II: (réducteur)

Ce réactif est obtenu en mélangeant les réactifs ci-dessus dans les proportions suivantes :

- 100 ml de solution de méthol-sulfite.
- 60 ml de solution d'acide oxalique.
- 60 ml d'acide sulfurique.

Compléter avec de l'eau distillée pour obtenir 300 ml de solution

Cette solution est préparée juste avant utilisation et ne se conserve pas.

➤ **Procédure général d'analyse:**

- Introduire dans une éprouvette de 50 ml, 10ml de réactif I
- Ajouter à l'aide d'une pipette 25 ml de la solution à analyser (étalon ou échantillon), mélanger et laisser 10 minutes mais pas plus de 30 minutes.
- Ajouter rapidement le réactif II pour compléter à 50 ml et mélanger aussitôt

- Attendre de 2 à 3 heures et faite la lecture de l'absorbance à $\lambda = 810$ nm.

➤ **Étalonnage:**

On trace la droite d'étalonnage $Abs = f(C)$ à partir des résultats obtenus de l'analyse des échantillons. (**Figure I.5**).

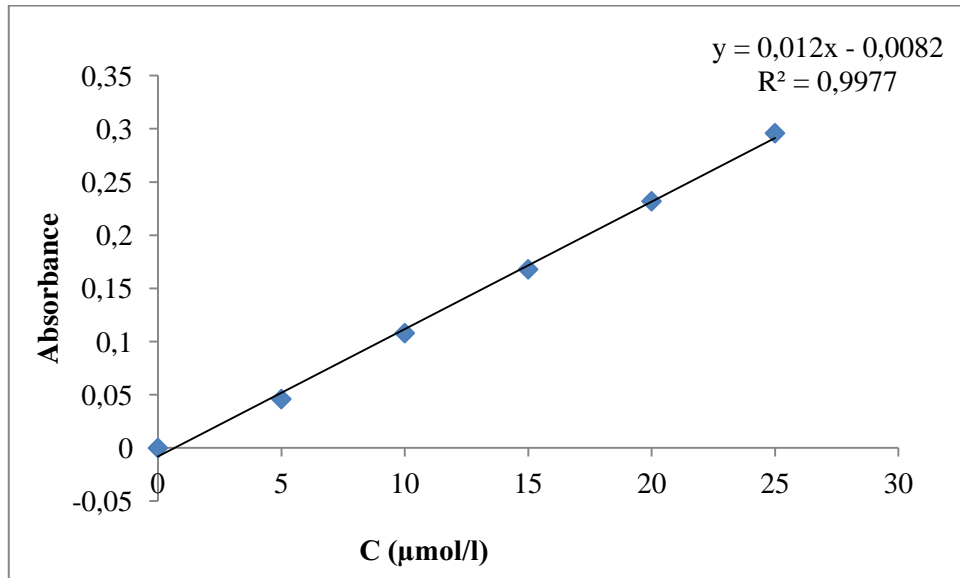


Figure I.5: Courbe d'étalonnage des silicates.

Annexe II

Le matériel utilisés:



Figure II.1: Oxymètre mètre de terrain
de type (WTW Oxi 197 i/set)



Figure II.2: pH mètre de terrain
de marque (WTW pH 315)

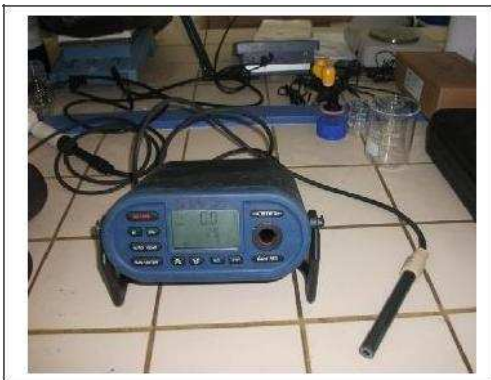


Figure II.3: Conductimètre de terrain
de type (Cond 197i, WTW).



Figure II.4: lyophilisateur



Figure II.5: Dessiccateur



Figure II.6: Système de filtration



Figure II.7: Four a moufle



Figure II.8: Étuve



Figure II.9: Une balance
Sartorius, MC-210S



Figure II.10: Spectrophotomètre



Figure II.11: Plaque chauffante
Ceran 500, 22SR



Figure II.12: Micropipette



Figure II.13: Minéralisation des Métaux lourds



Figure II.14 : Mortier en Porcelaine



Figure II.15 : SSA automatisé avec Échantillonneur automatique

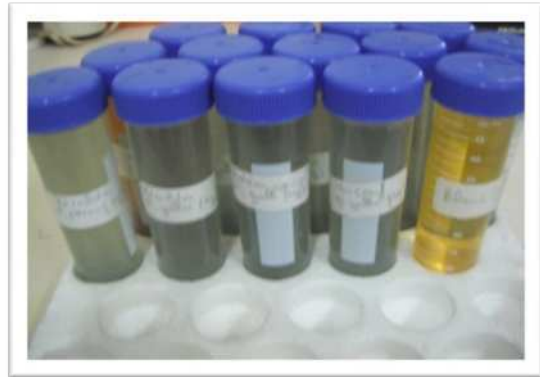


Figure II.16 : tube conique Pour les métaux lourds

Annexe II

Gammes étalons pour les sels nutritifs :

Gamme étalon de l'ammonium

Gamme étalon de nitrite

| Standards | [NH ₄ ⁺]μmol/l | Absorbances | Standards | [NO ₂]μmol/l | Absorbances |
|-----------|---------------------------------------|-------------|-----------|--------------------------|-------------|
| S0 | 0 | 0 | S0 | 0 | 0 |
| S1 | 1 | 0,033 | S1 | 0,2 | 0,014 |
| S2 | 2 | 0,044 | S2 | 0,4 | 0,022 |
| S3 | 3 | 0,082 | S3 | 0,6 | 0,028 |
| S4 | 4 | 0,158 | S4 | 0,8 | 0,038 |
| S5 | 5 | 0,224 | S5 | 1 | 0,048 |
| S6 | 10 | 0,378 | S6 | 1,2 | 0,051 |

Gamme étalon de nitrate

Gamme étalon de silicate

| Standards | [NO ₃ ⁻]μmol/l | Absorbances | Standards | [SiO ₂]μmol/l | Absorbances |
|-----------|---------------------------------------|-------------|-----------|---------------------------|-------------|
| S0 | 0 | 0 | S0 | 0 | 0 |
| S1 | 1 | 0,0535 | S1 | 5 | 0,046 |
| S2 | 2,5 | 0,133 | S2 | 10 | 0,108 |
| S3 | 5 | 0,238 | S3 | 15 | 0,168 |
| S4 | 10 | 0,455 | S4 | 20 | 0,232 |
| S5 | 15 | 0,820 | S5 | 25 | 0,296 |
| S6 | 25 | 1,105 | | | |

Gamme étalon d'orthophosphate

| Standards | [PO ₄ ³⁻]μmol/l | Absorbances |
|-----------|--|-------------|
| S0 | 0 | 0 |
| S1 | 0,2 | 0,007 |
| S2 | 0,4 | 0,012 |
| S3 | 0,6 | 0,017 |
| S4 | 0,8 | 0,022 |
| S5 | 1 | 0,027 |
| S6 | 2 | 0,051 |
| S7 | 3 | 0,068 |
| S8 | 4 | 0,095 |

Annexe III

Gammes étalons pour le dosage des métaux lourds :

Gamme-étalons du Mercure pour les 3 matrices.

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

Gamme-étalons du Plomb pour les 3 matrices.

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

Gamme-étalons du Zinc Pour les 3 matrices.

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