

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole 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 la pollution chimique et les paramètres vitaux de
l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans le front de mer de Bou- Ismail et de
la Corne d'or de Tipaza.

Présenté par :

Mlle. BELLOUCHE Sarah
Mlle. MOUALEK Fella

Soutenu le 06/07/2017 devant le jury composé de :

Mme BOUFERSAOU, S.	Maitre de conférences B	ENSSMAL	Présidente
Mme GHALMI, R.	Maitre-Assistante A	ENSSMAL	Encadreur
Mme HENDA, A.	Maitre-Assistante A	ENSSMAL	Examinatrice
Mme MAHDID, S.	Maitre-Assistante A	ENSSMAL	Examinatrice
M. ZERROUKI, M.	Maitre-Assistant B	ENSSMAL	Examineur

Année universitaire : 2016 - 2017

Remerciements

Nous voudrions présenter nos remerciements très chaleureux à Mme **GHALMI Rachida** qui nous a permis de bénéficier de son encadrement, des conseils qu'elle nous a prodigué, la confiance qu'elle nous a témoigné ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.

On voudrait exprimer notre entière reconnaissance à tous les membres du jury, Mme. **BOUFERSAOUI S.**, Mme. **HENDA A.**, et Mme. **MAHDID S.** et M.**ZERROUKI M.** pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger notre travail.

Nos remerciements s'étendent également à Mlle. **GUASEMI Meriem** de nous avoir apporté son aide précieux durant toutes les sorties en mer.

Merci à M. **ZERROUKI Mohamed** qui nous a accordé son temps pour discuter autour de sujets diverses et pour son aide lors des sorties en mer.

Nos remerciements s'adressent également au directeur de note école « ENSSMAL » M. **BALISTROU**, d'avoir mis à notre disposition le matériel nécessaire pour le bon déroulement de nos sortie.

On remercie tous les membres de Laboratoire de Conservation et Valorisation des Ressources Marines (LCVRM) de l'ENSSMAL à Sidi Fredj de nous avoir fait bénéficier leurs connaissances et précieux conseils, ainsi que pour les bonnes conditions de travail offertes, particulièrement Mme **OUNADI** Mme. **EDALIA** et M. **BOUDJELAL** de nous avoir assistés ainsi qu'aux efforts fournis lors de notre travail.

On remercie les membres de la bibliothèque pour leurs conseils et leurs orientations.

En bref on remercie toute personne qui a contribué de bonne foie à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son soutien, ses encouragements à aller de l'avant, ses prières tout au long de mes études, et tous les sacrifices consentis qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Mon père, pour son appui et ses précieux conseils. Que ce travail puisse traduire les longues années de ses sacrifices.

Mes frères Walid et Djamel Eddine, qui ont toujours su m'aider, et qui ont su m'accompagner lors de mon travail acharné.

Mes chères amies Manel, Imene, Faiza, Zineb, Naima, Nihed, Maroua, Imene, Mounia pour leurs présences dans ma vie.

SAADANI Mohamed, qui a toujours répondu présent pour me prêter de l'aide.

Mon binôme pour son travail studieux.

Sarah

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*Ma très chère et douce mère, Mon très cher père, que nulle
dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments, pour leurs
patience illimités, leurs encouragement, leurs aides, leurs prières
tout au long de mes études, en témoignage de mon profond
amour et respect pour leurs grands sacrifices.*

Mon cher frère Anis, mes chères sœurs Nesrine et Lylia.

*Toute ma famille pour leurs aides et leurs soutiens
inconditionnels et indéfectibles.*

*Silhadi Adlane qui a toujours été là pour me soutenir et pour
m'apporter ces précieux conseils*

*Mes très chers amies Abla, Sabrine, Sonia, Batoul, Djihed,
Mounia, Sarah, Djazia, Manel, Redouane, Mohamed*

Mon cher binôme Sarah

Tous ceux que j'aime.

Fella

TABLES DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS ET DES ACRONYMES.....	XI
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	IX
INTRODUCTION	2
CHAPITRE I : GENERALITES	4
Partie I : Pollution marine	5
1.La pollution en Méditerranée	5
2. Origines des polluants et leurs devenir	7
2.1. Les polluants toxiques	7
2.2 Polluants n'ayant pas de toxicité propre	9
2.3. Polluants dont la nocivité disparaît très rapidement dans le milieu	9
2.4. Produits dont la nocivité décroît avec le temps	9
Partie II : Bio-indicateur marin	10
1. Concept de bio-indicateur.....	10
2. Distribution et écologie de l’herbier à posidonie.....	11
3. Description.....	12
4. Importance et rôle.....	13
5. Causes de la raréfaction de l’herbier à posidonie	16
6. Etat général de L’herbier de Posidonie en Algérie :.....	18
CHAPITRE II: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	20
1.Présentation :	21
1.1. Localisation :	21
1.2. Justification du choix des zones :.....	21
1.3. Caractéristiques physiques	25
1.3.1. Topographie.....	25
1.3.2. Hydrographie.....	25
1.3.3. Sédimentologie.....	25
1.3.4. Le régime des houles et des vents.....	26
1.3.5. Température.....	27
1.3.6. Précipitation.....	27
1.3.7. Salinité.....	28
1.4. Les activités polluantes présentes dans la zone d’étude.....	28
2.Choix des différentes matrices	29

2.1. Matrice biologique.....	29
2.2. Matrice sédiments.....	29
2.3. Choix des éléments traces métalliques.....	30
CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES.....	31
1.Travaux in situ	32
1.1. Protocole de prélèvement et stratégie d'échantillonnage	32
1.2. Analyse des paramètres physico-chimique	33
1.3. Analyse des paramètres vitaux de l'herbier à posidonie	33
1.3.1. Densité de faisceaux.....	33
1.3.2. Déchaussement.....	34
1.3.3. Orientation des rhizomes.....	34
1.3.4. Taux de recouvrement.....	35
2. Analyses de laboratoire.	36
2.1. Eléments traces métalliques (A.AMINOT 1983).....	36
2.1.1. Principe de la méthode.....	36
2.1.2. Les solutions étalons.....	36
2.1.3. Mode opératoire.....	37
2.1.3.1 Traitement des échantillons.....	37
2.1.3.2 Minéralisation.....	38
2.1.3.2 Analyse.....	38
2.1.4. Expression de la concentration des éléments traces métallique.....	39
2.2. Dosage des sels nutritifs	40
2.2.1. Principe.....	40
2.3. Dosage de l'oxygène dissous.....	41
2.3.1. Principe.....	41
2.3.2. Expression de la concentration de l'oxygène dissous.....	41
2.4. Analyse de la matière en suspension.....	42
2.4.1. Principe.....	42
2.4.2. Expression de la concentration des matières en suspension :.....	42
2.5. Analyse de la matière organique	43
2.5.1. Principe.....	43
2.5.2. Expression du pourcentage de la matière organique.....	43

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION	44
1. Polluants métalliques	44
1.1. Teneurs métalliques dans les sédiments superficiels.....	44
1.2. Teneurs métalliques chez la magnoliophyte : <i>Posidonia oceanica</i>	48
1.3. Teneurs métalliques chez l'oursin : <i>Paracentrotus lividus</i>	50
1.4. Synthèse des travaux sur la contamination par les métaux en Méditerranée et en Algérie :	53
2. Eléments nutritifs	60
2.1. Nitrites et nitrates.....	60
2.2. Orthophosphates	62
2.3. Silicates.....	64
3. Les matières en suspensions	65
4. La matière organique	67
5. Oxygène dissous	68
6. Les paramètres vitaux	69
6.1. Densité des herbiers.....	69
6.2. Estimation du recouvrement.....	70
6.3. Orientation des rhizomes	71
6.4. Déchaussment.....	71
CONCLUSION	74
RECOMMANDATION	76
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	78
ANNEXES	91

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Sources principales des éléments traces métalliques d'après (MEYBECK <i>et al.</i> , 2007).....	8
Tableau I.2 : Les différents processus par lequel les éléments traces métalliques passent.....	9
Tableau II.1 : Critères de sélection des deux zones.....	24
Tableau II.2 : Les températures mensuelles moyennes de la baie de Bou-Ismaïl durant la période 2006-2015 (ONM, 2017).....	30
Tableau III.1 : Echelle d'évaluation du déchaussement (DENIS <i>et al.</i> , 2003).....	41
Tableau III.2 : Echelle de classification du recouvrement de l'herbier de Posidonie d'après RSP ; CHARBONNEL <i>et al.</i> , 2000).....	42
Tableau III.3 : Valeurs de l'indice de contamination (IC) (ABRMC, 1984 <i>in</i> BOUAZIZ ET DJERRAI, 2010).....	47
Tableau III.4 : Concentrations normales des métaux lourds dans les sédiments selon les normes algériennes, françaises et hollandaises (ALZIEU <i>et al.</i> , 1999, <i>in</i> BOUAZIZ ET DJERRAI, 2010) (µg/g de poids sec).....	47
Tableau IV.1 : Degré de contaminations du sédiment superficiel des différentes stations pour chaque métal.....	59
Tableau IV.2 : Degré de contamination des rhizomes de la posidonie des différentes stations pour chaque métal.....	63
Tableau IV.3 : Degré de contamination des gonades de l'oursin commun des différentes stations pour chaque métal.....	66
Tableau IV.4 : Concentrations maximales en métaux-traces dans les gonades de l'oursin commun reportés dans divers sites en méditerranée.....	67
Tableau IV.5 : Concentrations maximales en métaux-traces dans les rhizomes de la posidonie reportés en France et en Algérie.....	70
Tableau IV.6 : Concentrations maximales en métaux-traces dans le sédiment.....	71
Tableau IV.7 : Valeurs extrêmes, moyennes et l'écart types des MES dans la zone de Bou Ismaïl et la Corne d'or.....	82
Tableau IV.8 : Valeurs extrêmes, moyennes et l'écart types du taux de la matière organique dans la zone de Bou Ismaïl et la Corne d'or.....	83
Tableau IV.9 : Taux d'oxygène dissous dans la zone de Bou Ismaïl et la Corne d'Or.....	85
Tableau IV. 10 : Résultats des paramètres vitaux dans les deux zones.....	86
Tableau IV.11 : Densité moyennes des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> relevées dans la littérature pour différentes localité en Algérie.....	87

LISTES DES FIGURES

Figure I.1 : Points chauds de pollution le long de la côte méditerranéenne (Anonyme, 2012).	5
Figure I.1 : Les points chauds de la pollution au niveau de la cote Algérienne (Anonyme, 2006).	6
Figure I.3 : A : la fleur de <i>Posidonia oceanica</i> ; B : Trois fruits dans l’herbier ; C : Graine et fruits de posidonie en train de flotter. (RSP www.observatoire-mer.fr)	13
Figure I.4 : Schématisation des principaux rôles de l’herbier de Posidonie dans l’équilibre écologique des fonds littoraux méditerranéens (GIS Posidonie, in CHARBONNEL <i>et al.</i> , 2000).	16
Figure II.2: Localisation des zones d’étude dans la baie de Bou Ismail (SENNOUCI, 2015 modifié).	23
Figure II.2 : Cartographie de l’herbier a <i>Posidonia oceanica</i> dans la zone de la Corne d’Or (ZERROUK, 2016).	25
Figure II.3 : Situation des sites de prélèvement des échantillons d’eau, de posidonie et des Oursins dans la zone du Front de mer de Bou Ismail.	26
Figure II.4 : Situation des sites de prélèvement des échantillons d’eau, de posidonie et des Oursins dans la zone de la Corne d’Or.	27
Figure II.5 : Carte de sédimentologie générale de la baie de Bou-Ismaïl (D’après LECLAIRE, 1972 - modifiée).	29
Figure II.6 : Précipitations moyennes mensuelles 2006-2015 (ONM,2017).	31
Figure II.7 : Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou Ismail.	32
Figure III.1 : Définition de la hauteur de déchaussement des rhizomes de posidonie. A gauche, rhizome plagiotrope ; à droite, rhizome orthotrope (d’après Boudouresque <i>et al.</i> , 1980).	40
Figure III.2 : Méthode d’évaluation du recouvrement de l’herbier à <i>Posidonia oceanica</i> sur le substrat dimension de la plaquette transparente en cm et exemples de notation lors de l’évaluation. Au-dessus, un observateur en situation (FRANCOUR et SOLTAN, 2000).	42
Figure IV.1 : Concentration en Zn exprimées en $\mu\text{g/g}$ dans le sédiment superficiel de la Corne d’Or et le Front de mer de Bou Ismail.	55
Figure IV.2 : Indice de contamination (IC) par le Zn en $\mu\text{g/g}$ de poids sec dans le sédiment superficiel dans les deux zones d’études.	56
Figure IV.3 : Concentration en Pb exprimées en $\mu\text{g/g}$ dans le sédiment superficiel de la Corne d’Or et le Front de mer de Bou Ismail.	57
Figure IV.4: Indice de contamination (IC) par le Pb en $\mu\text{g/g}$ de poids sec dans le sédiment superficiel dans les deux zones d’études.	57
Figure IV.5 : Concentration en Cd exprimées en $\mu\text{g/g}$ dans le sédiment superficiel de la Corne d’Or et le Front de mer de Bou Ismail.	58

Figure IV.6 : Indice de contamination (IC) par le Cd en $\mu\text{g/g}$ de poids sec dans le sédiment superficiel dans les deux zones d'études.....	58
Figure IV.7 : Concentration en Zn exprimées en $\mu\text{g/g}$ dans les rhizomes de <i>Posidonia oceanica</i> de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.....	61
Figure IV.8 : Concentration en Pb exprimées en $\mu\text{g/g}$ dans les rhizomes de <i>Posidonia oceanica</i> de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.....	61
Figure IV.9 : Concentration en Cd exprimées en $\mu\text{g/g}$ dans les rhizomes de <i>Posidonia oceanica</i> de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.....	62
Figure IV.10 : Concentration en Zn exprimées en $\mu\text{g/g}$ dans les gonades de l'oursin de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.....	64
Figure IV.11 : Concentration en Cd exprimées en $\mu\text{g/g}$ dans les gonades de l'oursin de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.....	65
Figure IV.12 : Concentration en Pb exprimées en $\mu\text{g/g}$ dans les gonades de l'oursin de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.....	65
Figure IV.33 : Facteur bio-sédiment dans la zone de Bou Ismail (à gauche) et Corne d'Or (à droite).....	72
Figure IV.14 : Distribution des nitrites dans les deux zones d'études.....	74
Figure IV.15 : Distribution horizontales des nitrites ($\mu\text{mol/l}$) dans les eaux de surface de la zone de Bou Ismail.....	74
Figure IV.16 : Distribution des nitrates dans les deux zones d'études.....	75
Figure IV.17: Distribution horizontales des nitrates ($\mu\text{mol/l}$) dans les eaux de surface de la zone de Bou Ismail.	76
Figure IV.18 : Distribution des orthophosphates dans la Corne d'Or et le Front de mer et de Bou Ismail.....	77
Figure IV.19 : Distribution horizontales des orthophosphates ($\mu\text{mol/l}$) dans les eaux de surface de la zone de Bou Ismail.....	77
Figure IV.20 : Distribution des silicates dans la Corne d'Or et le Front de mer et de Bou Ismail.....	79
Figure IV.21 : Distribution horizontale des silicates ($\mu\text{mol/l}$) dans les eaux de surface de la zone de Bou Ismail.....	79
Figure IV.22 : Distribution de la concentration en MES dans la zone de Bou Ismail et de la Corned'Or.....	82

Liste des abréviations et des acronymes

cm : centimètre
mg : milligramme
µg : microgramme
l : litre
ml : millilitres
m : mètre
m² : mètre carré
m³ : mètre cube
ha : Hectare
kg : kilogramme
jr : jour
pH : potentiel d'Hydrogène
°C : degré Celsius
OD : Oxygene Dissous
MES : Matière En Suspension
MO : Matière Organique
DCO : Demande Chimique en Oxygène
DBO5 : Demande Bio-chimique en Oxygene après 5 jours
RSP : Réseau de Surveillance de la Posidonie
Abs : Absorbance
PSU : Potentiometrique Salinity Unit
BI : Bou Ismail
CD : Corne d'Or
St : Station
ND : Non Détectable
ETM : Eléments Traces Métalliques
ANRH : Agence National des Ressource Hydraulique
AIEA: International Atomic Energy Agency
ONM : Office National de la Météorologie
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
PNUE : Programme des Nations Unis pour l'Environnement
PAM : Plan d'Action pour la Méditerranée
MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
GEO 4 : 4ème rapport sur l'avenir de l'environnement mondial rédigé par le PNUE



Introduction

INTRODUCTION

Pour que l'océan puisse offrir des biens et des services aux générations présentes et futures, il faut des écosystèmes productifs, sains et résistants **(KIMBALL, 2007)**. En effet, la qualité de la vie sur terre dépend de la salubrité du milieu marin et la viabilité de l'environnement est indissociable de la viabilité économique. Or trop souvent on les oppose, alors qu'elles se complètent **(LAUTENBACHER, 2007)**. Mais malheureusement actuellement le milieu marin subit des pollutions de diverses origines dont 80% sont d'origine terrestre **(LAUTENBACHER, 2007)**. Ce qui préoccupe la communauté soucieuse de garder son patrimoine hydrique à un certain niveau de qualité.

Selon le Rapport GEO-4 du PNUE **(in GEOFFREY, 2007)**. La grave dégradation des écosystèmes aquatiques se poursuit, ce qui a pour effet de compromettre de nombreuses fonctions qu'ils assurent, notamment la disponibilité durable des approvisionnements alimentaires et la viabilité de la biodiversité.

L'étude de l'impact de la pollution sur les organismes vivants se doit d'être considérée. Notamment la pollution par métaux-traces, car contrairement aux polluants organiques, ils sont persistant, peu métabolisés et peuvent donc être transférés dans les réseaux trophiques et s'accumuler dans la matière vivante **(FAHSI et CHAFI, 2015)** en conséquence inévitablement exposée à l'homme **(WAALKERS et al., 2000)**.

La magnoliophyte marine *Posidonia oceanica* caractérise la mer méditerranée. En effet, elle est « ingénieur » d'un écosystème incroyable par sa production (un record planétaire) et par son organisation unique. Par l'herbier qu'elle forme, elle rend des services appelés « services écosystémiques », c'est-à-dire des services économiques qu'un écosystème rend à l'homme. La valeur monétaire à l'hectare de l'écosystème à posidonie dépasserait largement celle des récifs coralliens et de la forêt amazonienne **(BOUDOURESQUE, 2015)**. Les biens et les avantages évalués sont estimés à un minimum de 21,2 et un maximum de 43,9 millions €/ an **(CAMPAGNE et al., 2015)**.

En ce qui concerne son utilisation comme bio indicateur marin, sa protection du littoral contre l'érosion, sa purification des eaux marines, sa séquestration du carbone, et enfin la contribution à la production des ressources halieutiques. Cette plante est menacée par de nombreuses activités humaines **(ANNONYME, 2009)**, entre autres : l'activité agricole, rejets domestiques ou encore l'activité industrielle. Ces trois sources sont l'origine respectivement d'apport en fertilisant,

matière organique, détergeant et en métaux lourds qui sont parmi les causes de la pollution du milieu aquatique (**HILY et al., 2010**).

L'importance des herbiers à *Posidonia oceanica* est telle, que cette espèce est inscrite sur la liste des espèces menacées de Méditerranée dans le cadre du programme des nations unis PNUE (**PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1999**). En Algérie, ce n'est pas l'espèce elle-même qui est protégée, mais plutôt tous les herbiers sous-marins, dans le cadre de la loi relative à la protection et à la valorisation du littoral (n° 02-02).

Dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé cette magnoliophyte marine *Posidonia oceanica* comme un bio-indicateur de la contamination métallique du milieu marin. A cet effet nous analyserons les concentrations métalliques (Zn, Cd et Pb) dans le sédiment où elle s'enracine, les rhizomes et dans les gonades de l'oursin commun *Paracentrotus lividus* qui se nourrit au sein de l'herbier. Ceci nous permettra de connaître la concentration des éléments traces métalliques et une éventuelle bioamplification, au niveau de deux sites de la baie de Bou Ismail soumis à différentes conditions d'anthropisation :

- Corne d'or supposé comme zone de référence en raison en absence de rejets industriels
- Bou Ismail supposé comme zone polluée.

Nous évaluerons aussi l'état de l'herbier, par le biais des analyses de ses paramètres vitaux. Et nous tenterons également d'identifier par l'analyse des éléments nutritifs, les matières en suspensions et la matière organique : l'origine de la pollution présente et la qualité de l'eau où baigne l'herbier à Posidonie.

Donc par notre modeste contribution on va apprécier, une éventuelle régression ou progression du taux de pollution dans l'écosystème à Posidonie pour comparer avec des études antérieurs dans la même zone et les mêmes stations.

En conséquence de l'arrêt des rejets de TONIC EMBALLAGE en 2016 et de quelques industries présentes dans la zone de Bou Ismail, d'après le Maire de la commune, on pose comme hypothèse la diminution de la contamination métallique.

D'après la littérature, on suppose que le Plomb et le Cadmium ne subissent pas le phénomène de bioamplification (**LACAZE, 1996 ; ALZIEU, 1999**).

A decorative gray frame consisting of two L-shaped elements. The left element is on the left side, and the right element is on the right side, both pointing towards the center where the text is located.

Généralités

CHAPITRE I : GENERALITES

Partie I : Pollution marine

1. La pollution en Méditerranée

La mer méditerranée est l'un des bassins semi-fermés les plus pollués au monde (**ANONYME, 2017**). Selon le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), 80 % des pollutions marines sont d'origine terrestre (figure I.1) et anthropique (**AMARA, 2010**), en effet l'homme est responsable de l'introduction d'un grand nombre de substances en milieu marin. Les sources les plus importantes de pollution qui affectent la Méditerranée, sont sans aucun doute, celles qui sont liées aux grands centres urbains et industriels (**PERES, 1978**).



Figure I.1 : Points chauds de pollution le long de la côte méditerranéenne (**ANONYME, 2012**).

En effet les milieux aquatiques sont contaminés par des rejets qui sont soit ponctuels (industries, stations d'épuration, sites miniers...) ou diffus (lessivages des sols et voiries contaminés, retombées des polluants émis initialement dans l'atmosphère) (**NOVONTNY, 1995**).

Les types de pollution qui existent dans la mer méditerranée sont divers. On trouve en effet :

- La pollution chimique par les éléments traces métalliques ou encore les pesticides et les hydrocarbures polycycliques aromatiques HPA,
- La pollution physique par les matières en suspension, les substances radioactives, les aménagements côtiers, et la pollution microbiologique,
- La pollution biologique par les espèces exotiques qui ont souvent entraînés des effets catastrophiques sur l'environnement naturel,

- L'exploitation des ressources halieutiques : des pratiques de pêche insoutenables ont entraînés une surexploitation de plusieurs stocks de poissons dans la méditerranée ainsi qu'une eutrophisation dans certaines zones côtières. Les Captures, les accessoires et les rejets provenant du chalutage sont considérés comme ayant un effet néfaste sur l'écosystème. L'expansion de l'aquaculture qui se manifeste usuellement dans la frange côtière où la biodiversité est fortement développée, affecte les communautés benthiques indigènes (ANONYME, 2006).
- La pollution par les macro-déchets qui n'a été prise en considération qu'en 1978 (PERES, 1978),
- Ajoutons à cela les pollutions émergentes par les produits pharmaceutiques et cosmétiques (COURTEAU, 2011).

En Algérie, les apports de polluants par les rejets telluriques sont importants (figure I.2). Les études réalisées au niveau des ports, montrent que les rejets d'eaux usées qu'elles soient non traitées, urbaines ou industrielles, surviennent dans les enceintes et les rades portuaires et ils ont été estimés à 1 million m³/jr.

En dehors des zones portuaires, de nombreux sites sont interdits à la baignade en raison d'une mauvaise qualité bactérienne des eaux : 135 plages sont interdites de baignade sur 409 plages ayant fait l'objet d'analyses en 1996 (M.A.T.E., 2002), et avec 21 plages sur 88 plages sont interdites à la baignade dans la wilaya d'Alger en 2016 (HURBAL, 2016).

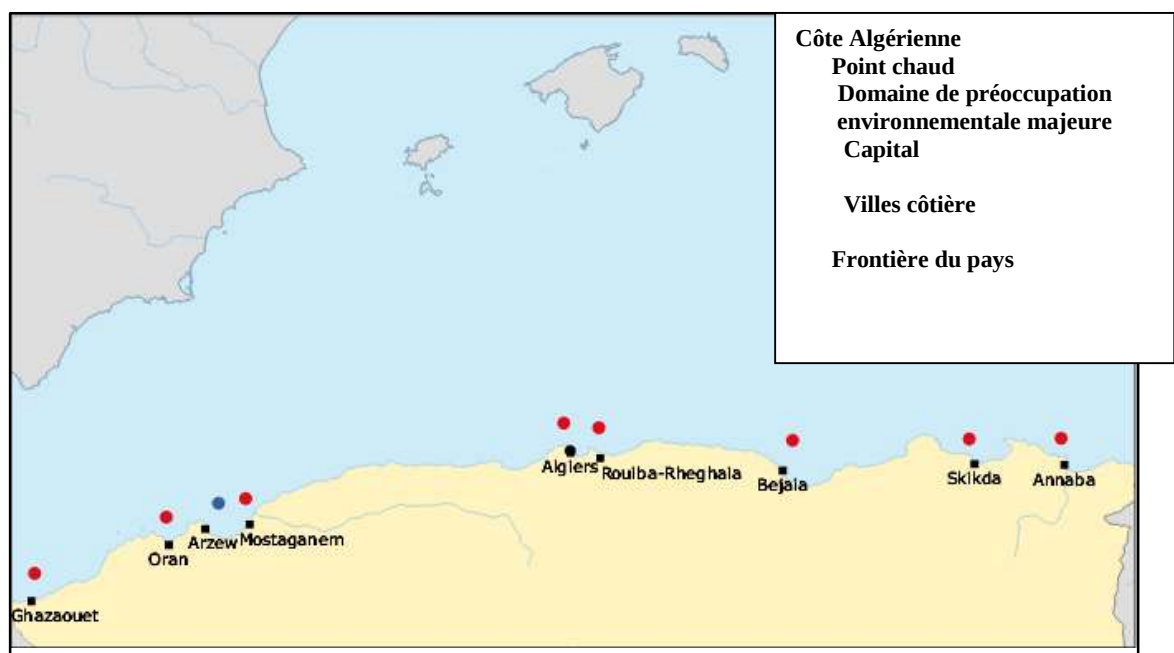


Figure I.1 : Les points chauds de la pollution au niveau de la côte Algérienne (ANONYME, 2006).

2. Origines des polluants et leurs devenir

2.1. Les polluants toxiques

2.1.1. Définition des métaux lourds

Le terme métaux lourds est destiné aux éléments dont la masse volumique est supérieure à $4,5\text{g/cm}^3$ selon la convention de Genève en 1998. L'expression métaux toxiques englobe les métaux à caractère toxique pour la santé de l'environnement : le plomb (Pb), le mercure (Hg), cadmium (Cd) (ARMELLE, 2012).

2.1.2. Définition des éléments traces métalliques « ETM »

Les Eléments Traces Métalliques sont conventionnellement définis comme les métaux dont la concentration naturelle moyenne dans la croûte continentale est inférieure à 1000 mg.kg^{-1} (MELQUIOT et BERTOLINI, 2003).

Les ETM sont des éléments chimiques omniprésents sur la surface terrestre à de très faibles concentrations. La plupart d'entre eux présentent la double propriété d'être à la fois des oligo-éléments (éléments indispensables au déroulement des processus biologiques) et des éléments toxiques (éléments ayant un effet nocif sur un organe) aussi bien pour le règne animal que végétal (BAIZE, 1997).

2.2.3 Les sources

Les éléments traces métalliques existent dans l'écorce terrestre, mais avec l'industrialisation leur répartition se trouve modifiée.

2.2.3.1. Les sources naturelles

Les éléments traces métalliques se retrouvent dans tous les compartiments de l'environnement. Les réserves les plus importantes se trouvent dans les roches et/ou les sédiments océaniques et cela est en fonction du métal considéré. On estime le gisement de mercure à 300 milliards de tonnes, dont 99 % se trouvent dans les sédiments océaniques (MIQUEL, 2001).

2.2.3.2. Les sources anthropiques

Les sources anthropiques sont diverses, et en fonction des métaux mis en cause on a le tableau (I.1), qui représente les sources principales de certains contaminants traces métalliques :

Tableau I.1 : Sources principales des éléments traces métalliques (MEYBECK *et al.*, 2007).

ETM	Sources anthropiques
Cadmium (Cd)	Métallurgie, traitement de surface, céramique, colorants, usure des pneumatiques, incinération des déchets, engrais phosphatés
Plomb (Pb)	Batteries, pigments, imprimeries, métallurgie, canalisation, raffinage
Zinc (Zn)	Galvanisation, imprimerie, teintures et pigments, insecticides, usures de pneumatique, bâtiments et toitures.

2.2.4. Cheminement et transferts des polluants toxiques dans l'environnement

Les éléments traces métalliques font partie des éléments toxiques rémanents ; c'est-à-dire que leur nocivité s'accroît quand leur teneur augmente dans le milieu. Cette augmentation n'entraîne pas forcément leur excrétion (AUBERT et AUBERT, 1973), mais peut entraîner leurs accumulations le long des chaînes trophiques et rend ainsi certaines espèces de poissons impropres à la consommation (BOUTIBA, 2004).

Une fois que les polluants arrivent en milieu marin, ils s'adsorbent sur les matières en suspension, puis s'accumulent dans le sédiment. Ainsi les sédiments constituent un véritable filtre, réservoir et source de contamination (MC CAULEY *et al.*, 2000 ; LONG, 2000). Les espèces benthiques se trouvent exposées directement aux contaminants adsorbés sur la phase particulaire, mais aussi à ceux qui sont dissous dans l'eau interstitielle et dans l'eau à l'interface eau-sédiment. Pour ce qui concerne les organismes pélagiques, ils sont contaminés par le relargage de contaminants sédimentaires dans la colonne d'eau et par la voie trophique (de nombreuses espèces se nourrissent d'organismes benthiques). Ainsi le passage de xénobiotiques du sédiment vers la colonne d'eau se fait par diffusion, mais surtout lors de la remise en suspension des sédiments, par des phénomènes naturels (marée, tempêtes) (CHAPMAN *et al.*, 1998). Le passage des contaminants vers la chaîne trophique se fait selon le processus de bioconcentration, bioaccumulation et bioamplification dont la définition se trouve dans le tableau I.2.

Tableau I.2 : Les différents processus par lesquels les éléments traces métalliques passent.

Processus	Définitions
Bioconcentration	Elle est définie comme le processus par lequel une substance se trouve présente dans un organisme vivant à une concentration supérieure à celle de son milieu aquatique environnant (VEITH <i>et al.</i> , 1979; RAMADE,1992);
Bioaccumulation	C'est le processus par lequel un organisme absorbe les contaminants à une vitesse plus grande à celle de leur excrétion ou leur métabolisation c'est-à-dire c'est la somme des absorptions d'une substance à partir de l'eau et de l'alimentation (RAMADE, 1992).
Bioamplification	C'est le processus par lequel un contaminant chimique voit sa concentration augmenter dans la chaîne trophique, c'est-à-dire que sa teneur dans un organisme est plus élevée que dans sa proie. Si le toxique n'est pas dégradé ou éliminé, il va s'accumuler de plus en plus au niveau de chaque maillon de la chaîne alimentaire (BOUTIBA, 2004) ce qui joue un rôle considérable dans la contamination de la biosphère (LACAZE ,1996).

2.2 Polluants n'ayant pas de toxicité propre

Dans cette catégorie on trouve la pollution thermique qui se traduit par une augmentation de la température de l'eau par rapport à la température normale sous l'effet des activités de l'homme. Sa principale source est la production d'électricité (ANONYME, 2009). On trouve aussi la pollution inerte par les matières plastiques ou encore les boues dites « phosphogypse » qui sont le résidu de la fabrication de l'acide phosphorique par attaque sulfurique des phosphates naturels. Ces Boues sont à l'origine de la turbidité dans la masse d'eau (SOUDAN, 1977).

2.3. Polluants dont la nocivité disparaît très rapidement dans le milieu

Certains effluents tels que les solutions acides, alcalines ou salines contenant des ions qui existent en grande quantité dans l'eau de mer : Na^+ , Ca^{+2} , Mn^{+2} , Cl^- et SO_4^{-2} seraient impropres à la vie aquatique dans le cas où l'origine est les industries, mais en réalité ils perdent rapidement leurs nocivité après une dilution dans les quelques centaines de mètres des rejets.

2.3.1. Les saumures

Les sels sont nocifs sauf s'ils sont hypertoniques par rapport aux organismes marins. Ils ont comme source les stations de dessalement.

2.3.2. Les solutions d'acides et de bases

Si les solutions d'acides et de bases n'étaient pas ramenées très rapidement dans l'intervalle de tolérance de la faune aquatique (6,0 à 9,0) elles seraient très nocives.

2.4. Produits dont la nocivité décroît avec le temps

Un nombre important de polluants entrent dans cette division. Les atteintes qu'ils provoquent aux ressources marines dépendent de la sensibilité des organismes à ces polluants, ainsi qu'à la vitesse de dégradation de ces derniers, les conditions de diffusion et de dilution qui existent dans la zone du déversement. En général ils agissent surtout au niveau du littoral, car au large ils seront dégradés ou dilués au-delà du seuil toxique.

2.3.1. Nutriments

Les éléments nutritifs tels que les nitrates et les phosphates résultent de l'utilisation massive de fertilisants. Ils sont apportés dans le milieu marin par les déversements d'eaux usées, les rejets industriels, le ruissellement, l'érosion terrestre ou par les échanges avec l'atmosphère. L'hyper-enrichissement en ces éléments entraînerait une eutrophisation avec une prolifération massive soit de micro-algues phyto-planctoniques et/ou de macro-algues (*Ulva sp.*, *Enteromorpha sp.*), provoquant ainsi une turbidité de l'eau, qui empêche la pénétration du rayonnement lumineux pour les végétaux photophiles (PEREZ, *et al.*, 2000).

2.3.2. Effluents organiques

Les eaux usées apportent des matières organiques souvent d'origine biologique. Leur dégradation par des réactions physico-chimiques ou par les bactéries nécessite une consommation importante d'oxygène. Pour dégrader par exemple 1g de lactose il faut 1.12g d'oxygène. Donc une diminution importante de la teneur en oxygène nécessaire pour la respiration des organismes peut avoir lieu, s'il y a un apport massif de matière organique (SOUDAN, 1977).

Les industries de papeteries rejettent aussi des matières organiques, surtout celles qui suivent le procédé « aux sulfates » c'est-à-dire préparent la pâte par cuisson du bois dans une lessive de soude et de sulfure de sodium. Ils lavent cette dernière avec une eau fortement colorée et malodorante chargée en produits glucidiques, lignosulfonates, tannins, acides résiniques plus ou moins toxiques qui favorisent le développement de bactéries filamenteuses dans le milieu récepteur (milieu marin), provoque aussi la disparition des végétaux à chlorophylle et les poissons (SOUDAN, 1968).

2.3.3. Détergents

Ce sont des produits d'utilisation courante. Ils sont drainés en quantité très importante vers la mer par les pluies, les apports d'eaux fluviales et les effluents côtiers urbains et industriels.

Ces substances contiennent des surfactants dont la toxicité pour le milieu marin, est mal connue (PEREZ, *et al.*, 2000).

L'action des détergents est due essentiellement à leurs propriétés tensio-actives qui modifient la perméabilité cellulaire. Les plus sensibles sont la flore aquatique marine et les poissons, tandis que les crustacés sont plus résistants (SOUDAN, 1977).

Partie II : Bio-indicateur marin

1. Concept de bio-indicateur

Selon Blandin (1986) : « un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes, qui par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques ou écologiques permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un éco-complexe et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».

Autrement dit, un bio-indicateur est un organisme qui indique l'état du milieu où il vit (VAN GESTEL et VAN BRUMMELEN, 1996 ; KAISER, 2001 ; MARKERT *et al.*, 2003).

Ses variations physiologiques, morphologiques, son abondance ou encore le succès de reproduction traduisent les conditions environnementales de son habitat (**LEVEQUE et MOUNOLOU, 2008 ; KAISER, 2001**).

L'utilité d'un bio-indicateur réside dans la surveillance de la qualité du milieu basée exclusivement sur le suivi des paramètres physico-chimiques ne permet pas de tirer des conclusions sur la santé de l'écosystème, puisqu'elle ne fournit pas de renseignements sur la qualité de l'habitat et est limitée à l'étude des polluants présents à des concentrations supérieures aux limites de détection des méthodes analytiques (**MDDEP, 2008**). De plus, cette méthode ne permet pas d'intégrer les effets synergiques, additifs ou antagonistes des divers polluants sur les organismes. Les bio-indicateurs fournissent une indication intégrée des effets spatiotemporels des polluants sur le biote puisqu'ils « reflètent le temps total d'exposition au polluant, contrairement aux mesures instrumentales qui prennent les valeurs des paramètres de façon instantanée et localisée » (**MARKERT et al, 2003**). En plus certains bio-indicateurs permettent une détection précoce des polluants ou des perturbations en raison de leur capacité de bioaccumulation (**KAISER, 2001**). La bio- indication est donc un outil indispensable pour évaluer la santé des écosystèmes (**ANONYME, 2002**).

2. Distribution et écologie de l'herbier à posidonie

La Magnoliophyte marine *Posidonia oceanica* est une espèce endémique stricte de la méditerranée (**BELLAN-SAINTINI, et al., 1994**). Toute les signalisations en dehors de la méditerranée sont inexactes (**HARTOG, 1970 in BELLAN-SAINTINI, 1994**).

Elle forme d'étendues prairies sous-marines (**CRISTIANI et al., 1980**) entre la surface et 30 à 40 m de **profondeur** (étage infralittoral) (**SARTORETTO, et al., 2012**) , elle peut se maintenir jusqu'à 45m quand l'eau est claire, cependant la profondeur qu'elle atteint dépend de la transparence des eaux littorales (**MEINESZ, et al., 1978**). L'herbier craint la **turbidité**, et donc se présente très fragile à sa limite supérieure (**PERES, et al., 1975**).

L'espèce s'installe sur tous types de substrats (vase, sables fins, moyens ou grossiers ; roche) même si elle affectionne le substrat meuble riche en matière organique (**PERGENT-MARTINI, LE RAVALLEC, 2007**).

En mer ouverte, elle se trouve aussi dans quelques lagunes hyper-halines, **BEN ALAYA (1972)** a indiqué que 41‰ constitue sa limite supérieure de tolérance. Mais elle se présente particulièrement sensible à la **dessalure** et disparaît quand la salinité est inférieure à 33 PSU (**PERGENT, et al ., 2012**) c'est pour cela qu'elle est absente en certains lieux, tels que les

environs du détroit de Gibraltar, l'embouchure des fleuves (e.g. Rhône, Pô, Nil) ainsi que dans le Nord de la mer Adriatique et la totalité de la mer Noire (GOBERT, 2002).

Les **températures** extrêmes mesurées dans un herbier à *P. oceanica* sont 9.0 et 29.2°C (BEN ALAYA, 1972). Il est possible que l'espèce supporte exceptionnellement des températures basses (moins de 10°C) et hautes (plus de 28°C) (BOUDOURESQUE, *et al.*, 2006). La posidonie est donc eurytherme ce qui lui permet de coloniser de grandes surfaces de l'étage infralittoral, mais quand même sensible aux températures élevées (BACHET, *et al.*, 2003).

L'herbier à posidonie appréhende un **hydrodynamisme** trop fort. Les tempêtes arrachent des faisceaux de feuilles, dont certains constitueront des boutures. Elles peuvent éroder la "matte", soit directement, soit en la vidant de son sédiment, ce qui la fragilise. C'est la raison pour laquelle, en mode battu, l'herbier ne s'approche pas à plus de 1 ou 2m de la surface. Les "mattes mortes" peuvent donc constituer un phénomène naturel (AUGIER, *et al.*, 1967).

3. Description

L'herbier à posidonie est constitué d'une plante à fleur *Posidonia oceanica*, très fréquente sur nos côtes, cette dernière est composée d'un faisceau de cinq à huit feuilles rubanées à l'extrémité d'un rhizome (SARTORETTO, *et al.*, 2012), larges de 8-11mm et longues de 20-80cm (BOUDOURESQUE, *et al.*, 2006). Lorsque les feuilles de Posidonies meurent, elles se détachent du rhizome et tombent. En fonction des conditions hydrodynamiques, soit elles s'accumulent dans les dépressions ou sont ramenées sur les plages où elles forment des banquettes de couleurs brunes qui peuvent atteindre plus de 2 m de haut et jusqu'à 20 m de large. La reproduction de la posidonie se fait soit par reproduction sexuée avec formation de fleurs, de fruits et de graines (Figure I.3), soit par reproduction végétative avec multiplication et croissance des rhizomes, bouturage (GOBERT, 2002).



Figure I.3 : A : La fleur de *Posidonia oceanica* ; B : Trois fruits dans l'herbier ; C : Graine et fruits de posidonie en train de flotter (RSP www.observatoire-mer.fr).

4. Importance et rôle

Le rôle des herbiers à *Posidonia oceanica*, en milieu marin littoral, est souvent comparé au rôle qu'exerce la forêt en milieu terrestre (LACAZE, 1993). Ces herbiers constituent la base de la richesse des eaux littorales en Méditerranée, par les surfaces qu'ils occupent (20 à 50% des fonds entre 0 et 45m de profondeur), et surtout par le grand intérêt qu'ils présentent non seulement écologique mais aussi économique, avec des impacts tant physiques que biologiques sur son environnement.

4.1. Rôle dans les équilibres écologiques du système littoral

En effet l'herbier à posidonie forme une biocénose climax, cette dernière représente un équilibre optimal dans des zones de l'étage infralittoral où les facteurs climatiques sont prédominants (PERES, *et al.*, 1975).

Il constitue l'un des **écosystèmes les plus productifs de la planète** (BOUDOURESQUE, *et al.*, 2006) dont la valeur moyenne est estimée à 4,2 t·ha⁻¹·an⁻¹ (SARTORETTO, *et al.*, 2012), car ils présentent 2 types de productions primaires. (i) La production primaire provenant de *P. oceanica* qui contient beaucoup de cellulose et de lignine, composés peu utilisables par les herbivores, et de composés phénoliques, dont l'un des rôles est de dissuader les consommateurs potentiels (PIOVETTI *et al.*, 1984 in BOUDOURESQUE, 2006) (ii) La production primaire issue des épiphytes des feuilles est constituée par des Chromobiontes et Rhodobiontes très palatables, et donc facilement utilisables par les herbivores. Cette production primaire est équivalente ou supérieure à celle d'autres milieux à forte production, qu'ils soient océaniques (zones d'upwelling, mangroves, récifs coralliens et estuaires) ou terrestres (forêts tempérées et tropicales, cultures céréalières) (BOUDOURESQUE, *et al.*, 2006).

Les herbiers à *P. oceanica* constituent une **frayère**, et/ou une **nurserie** pour de très nombreuses espèces qui vivent entre les faisceaux de feuilles ou sur la surface, sur le sédiment, mais également au sein de la "matte" qui héberge une faune particulièrement riche et variée (SARTORETTO, *et al.*, 2012).

Ils offrent un **habitat** permanent pour plus de 400 espèces végétales et plusieurs milliers d'espèces animales, soit plus ou moins 20 à 25 % des espèces recensées en Méditerranée (BOUDOURESQUE, 2006) qui font de ces prairies sous-marines un **pôle de biodiversité** "HOT SPOT" unique (BOUDOURESQUE, *et al.*, 1982).

Il ne faut pas oublier que les herbiers fournissent des matériaux transférables vers d'autres fonds, c'est-à-dire le transport vers les laves des petits fonds ou vers la vase de l'étage bathyal des

fragments de rhizomes, feuilles détachées, fibres ‘rouies ’ résultant de la dégradation des feuilles. Ce transport contribue à **l'équilibre des biotopes** et offre aussi des possibilités d'abri et de supports et de nourritures pour beaucoup d'invertébrés (PERES, *et al.*, 1975).

L'herbier peut produire jusqu'à 14 litres d'oxygène par jour et par mètre carré, une des conséquences de la photosynthèse et absorber en moyenne 48 litres de gaz carbonique (soit 3 fois plus que de dégagement d'O₂). C'est le **poumon de la Méditerranée** (BOUDOURESQUE, *et al.*, 2006).

En effet, les herbiers jouent un rôle majeur dans la séquestration du carbone – « **puits de carbone** » (DUARTE, *et al.*, 2004). L'écosystème peut stocker jusqu'à 83 000 tonnes métriques de carbone par kilomètre carré, c'est-à-dire s'ils ne couvrent que 0,2% de la surface des océans, ils permettent de capturer 10% du carbone piégé par les océans chaque année (FOURQUREAN, *et al.*, 2012).

Donc ils contribuent de façon importante à l'atténuation des changements climatiques (PERGENT-MARTINI, 2013).

4.2. Rôle dans les équilibres physiques du système littoral

L'écosystème à posidonie joue un rôle important dans **l'équilibre sédimentaire** du littoral : où il permet de fixer et de consolider les fonds meubles.

La biomasse végétale considérable de l'herbier à *P. oceanica* constitue également une sorte de barrière qui **freine et amortie les effets hydrodynamiques** des houles et des vagues dans une proportion de 30 à 50% et donc **protège le littoral de l'érosion** (LACAZE, 1993).

Les **banquettes** aussi, qui sont la conséquence de l'accumulation d'une masse importante de feuilles mortes sur le rivage, **protègent les plages de l'érosion** surtout lors des grandes tempêtes. Malgré leur apparence au premier abord inhospitalier, leur présence sur les plages est nécessaire dans un concept de protection du littoral (BOUDOURESQUE, *et al.*, 2006).

Une décantation et sédimentation des particules en suspension dans l'eau est favorisée par la barrière que forme l'herbier, où les particules seront piégées dans la matrice d'où l'augmentation de la **transparence des eaux** (BOUDOURESQUE, *et al.*, 1982).

Puisque il présente une production végétale et animale importante, il a donc pour effet d'attirer et de concentrer une faune variée, souvent d'intérêt économique pour la zone littorale concernée (BOUDOURESQUE, *et al.*, 2006).

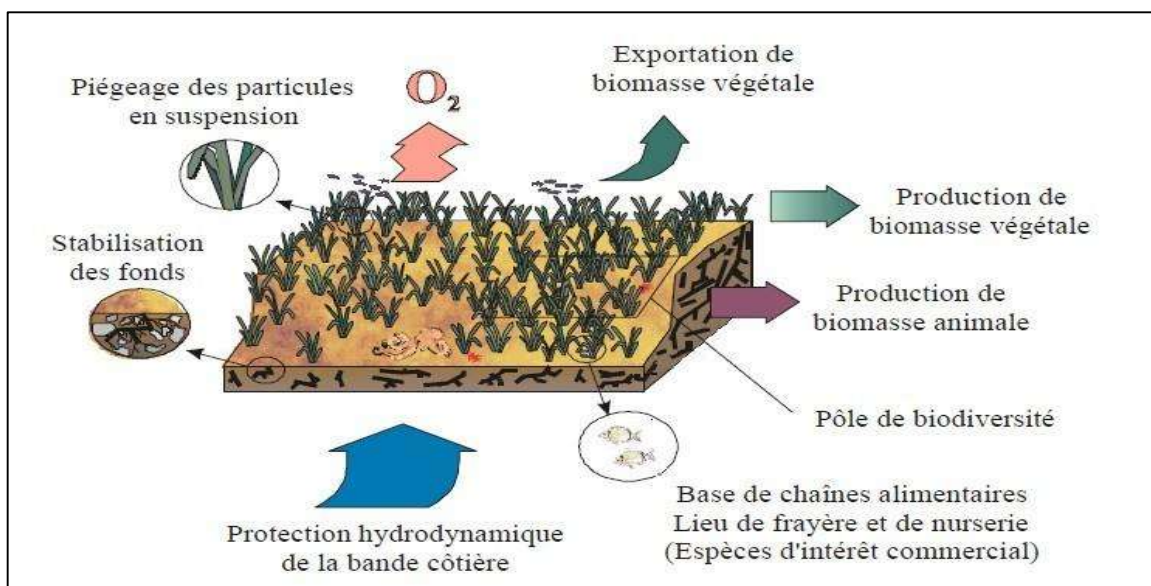


Figure I.4 : Schématisation des principaux rôles de l'herbier de Posidonie dans l'équilibre écologique des fonds littoraux méditerranéens. (GIS Posidonie, in CHARBONNEL *et al.*, 2000).

4.3. Rôle de posidonie en tant que bio-indicateur

L'herbier à *Posidonia oceanica* constitue en méditerranée un puissant intégrateur de la qualité globale des eaux marines (AUGIER, 1985). Le recours à cette espèce, qualifiée de “bio-indicatrice”, semble un moyen rapide et performant pour évaluer la **qualité de l'environnement** (BELLAN, 1993). Cette espèce informe, par sa présence et sa vitalité (ou sa régression matérialisée par des “mattes mortes”), de la qualité des eaux qui passent au-dessus d'elle (PERGENT *et al.*, 1995). Cet herbier est réparti très largement sur tout le littoral, ce qui fait de lui un réceptacle de la pollution (AUGIER *et al.*, 1984) et aux agressions liées aux activités humaines (MEINESZ et LAURENT, 1978 ; BOUDOURESQUE, 2006).

Il remplit tous les critères d'un bon bio-indicateur (HARTOG, 1970).

La qualité des eaux a une influence permanente sur l'herbier à *Posidonia oceanica*. Cette dernière ne dépend donc pas du sens du vent ou des courants au moment de son examinaisons. Ainsi, on peut avoir des informations sur de nombreux paramètres qui sont enregistrés par l'herbier :

- Turbidité moyenne des eaux est matérialisée par la position de sa limite inférieure et par la densité des faisceaux ;
- Courants et l'hydrodynamisme sont matérialisés par les structures érosives qui affectent la “matte” ;

- Taux de sédimentation est matérialisé par la vitesse de croissance des rhizomes et, en cas de déficit, par leur déchaussement ;
- Polluants stables : leur teneur peuvent être concentrées et mémorisées au cours du temps ;
- Dessalures au débouché de fleuves côtiers ou de nappes phréatiques sont représentées par la disparition de l'herbier ;
- Stress est évalué en particulier par la teneur de la plante en acides phénoliques et enzymes de détoxification ;
- Matière organique et nutriments sont matérialisés par les épiphytes des feuilles et la composition chimique de la plante). 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**).

Concentration en polluants stables, un autre paramètre intéressant mais qui est toujours en cours de standardisation (**PERGENT-MARTINI et PERGENT, 2000**). En effet, comme de nombreuses Magnoliophytes, *Posidonia oceanica* présente à la fois une forte capacité de concentration en "ETM" a une teneur proportionnel à celle du milieu (**AUGIER, 1985 ; PERGENT-MARTINI et PERGENT, 2000**), présente une bonne résistance à la contamination métallique (l'espèce persiste au voisinage de sources importantes). Surtout une capacité à mémoriser, au sein de ses tissus les teneurs anciennes, alliée aux possibilités de datation offerte par la lépidochronologie, ouvrent des perspectives uniques dans le suivi au cours du temps de la pollution (**PERGENT et PERGENT-MARTINI, 1999**).

Tous ces effets très importants pour l'équilibre environnemental marin, justifient pleinement notre intérêt accordé à cet écosystème particulier de la Méditerranée.

5. Causes de la raréfaction de l'herbier à posidonie

Malheureusement, ce peuplement, qui ne peut prospérer que dans des eaux relativement pures, montre une grande fragilité.

Sa régression a été signalée sur une grande partie du pourtour méditerranéen (**BOUDOURESQUE et al, 1997**) ; 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 exposés aux impacts engendrés par les activités humaines. Parmi ces activités on peut citer :

5.1. Rejets d'eaux urbaines

L'apport de teneurs accrues en matières en suspensions, matières organiques et des sels minéraux par les eaux usées, entraînent l'augmentation de la turbidité de l'eau qui provoque par la suite l'atténuation de la pénétration du rayonnement solaire (bilan radiatif). De ce fait, la profondeur de compensation tend à remonter progressivement à mesure que la pollution domestique s'accroît (**PERES, et al., 1975**). Ça provoque aussi la diminution de la salinité et l'augmentation de la température.

5.2. Les arts trainants et les explosifs

L'utilisation des arts trainants pour les activités de pêche, qui raclent et labourent l'herbier sont interdites entre 0 et 50m de profondeur et/ou à moins de 3 milles nautiques de la côte, dans presque tous les pays méditerranéens (**BOUDOURESQUE, 2006**) toutefois, cette législation n'est pas souvent ou même jamais respectée, surtout en Algérie (**TARMOUL, 2010**).

Le chalutage provoque un arrachage des rhizomes sur de grandes surfaces à cause de la ligne de plombs, mais aussi aux panneaux latéraux, susceptibles de creuser de profonds sillons dans la matte (**PAILLARD et al., 1993**).

Un déclenchement des phénomènes érosifs est provoqué du fait de la formation de cicatrices profondes.

L'utilisation d'explosifs sous-marins crée une aire discoïdale qui provoque la mort de la posidonie (**BOUDOURESQUE, 2006**).

5.3. Mouillages et ancrages

Le développement régulier de la plaisance dans les fonds de baies abritées (mouillage) génère une destruction croissante d'herbiers à *Posidonia oceanica* (**GANTEAUME, et al., 2005**).

Le mouillage a un impact multiple, d'abord cassure des rhizomes sur lesquels l'ancre tombe, le ensuite des fissures, et enfin le détachement des rhizomes auxquels ils était accrochés avec un arrachage de bloc de matte (**PERGENT, et al., 2012 ; BOUDOURESQUE, 2006**).

Il convient de souligner que ces zones de mouillage constituent des sites de pollution significative : hydrocarbures, peintures "anti-fouling", rejets de matière organique, détergents et de macro-déchets (**AUGIER, et al., 1967**).

5.4. L'aménagement du littoral

L'installation portuaire, des ouvrages de protection du littoral (digues, épis, brises lames), les opérations d'ensablement des plages et la mise en œuvre de barrage : entraînent un appauvrissement, puis localement une disparition quasi totale des herbiers de Posidonies. Cela se traduit par, soit un enfouissement dû à l'envasement ou une érosion par la modification de

l'apport sédimentaire (rétention du sédiment dans les barrages, modification du régime de courantologie) (BOUDOURESQUE, *et al.*, 2006 ; PERGENT, *et al.*, 2004-2008).

5.5. Apports de substances polluantes :

Les polluants chimiques apportés par les rejets industriels ou urbains, tels que les éléments traces métalliques et les détergents n'ont pas beaucoup d'effets sur la vitalité de l'herbier (partie I) que la présence de grandes teneurs en MES dans l'eau (PERES, *et al.*, 1975) qui provoque une turbidité et dont l'impact est considérable.

Une autre cause qui menace l'herbier liée de façon indirecte à l'homme, est l'introduction d'espèces invasives telles que *Caulerpa taxifolia* qui rentre en concurrence avec l'herbier à posidonie pour l'espace (PERGENT, *et al.*, 2008). Ainsi les macro-herbivores *Paracentrotus lividus* et *Sarpa salpa* qui évitent *Caulerpa taxifolia*, du fait de la production de toxines, se concentrent sur la posidonie, entraînant de ce fait des phénomènes de surpâturage (BOUDOURESQUE, 1997).

5.6. Activités aquacoles :

Les études concernant l'impact des fermes piscicoles sur les herbiers à *Posidonia oceanica* sont encore peu nombreuses et récentes. Toutefois, les résultats sont assez homogènes et montrent des dégradations significatives de ces formations végétales dans tous les secteurs étudiés (BOUDOURESQUE, *et al.*, 2006).

6. Etat général de L'herbier de Posidonie en Algérie :

En Algérie, les études sur l'herbier à posidonie restent peu nombreuses, elles ne sont pas réparties sur toute la côte Algérienne et se trouvent limités dans des aires restreintes. Bien que cela ne suffise pas pour évaluer l'état général de cet écosystème, voici un aperçu général :

Dans la baie d'Arzew, Oran l'herbier descend jusqu'à 40m de profondeur. Aussi dans certaines régions telle que la plage submergée de Stidia, wilaya de Mostaganem il semble être encore en bon état de conservation vu les nombreuses espèces, surtout faunistiques, localisées sur et à l'intérieur des rhizomes. Le nombre total d'individus comptabilisé s'élève à 391 dans cette zone.

Il est présent dans la baie d'Annaba mais il ne dépasse pas les 25 m de profondeur (BELKHAMSSA, 2012).

Dans la région de Jijel à Taza un recouvrement, important à partir de 25 m de profondeur est observé jusqu'à -10 m où il devient moins marquant en direction de la côte. La limite supérieure se situe vers -3 m.

Les pêcheurs à la ligne d'El-Kala, wilaya d'El-Tarf, rentrent rarement bredouilles à cause de la faune importante qu'offre l'herbier (**REDACTION NATIONAL LIBERTE, 2009**).

Il n'est pas bien développé dans la baie d'Alger où il se trouve dans quelques aires réduites, alors qu'au niveau de la baie de Bou Ismail l'herbier est plus ou moins développés et descend jusqu'à 15 à 30m de profondeur (**VAISSIERE et FREDJ, 1963**). Mais entre Castiglione (Bou Ismail) et Fouka, Tipaza la posidonie ne descend pas plus bas que l'isobathe de 20m, cela est dû à l'influence de l'hydrodynamisme (courant parallèle à la côte) et à l'apport de l'oued Mazafran (**MOLINIER et PICARD, 1952 in ZERROUK, 2016**). BRAIK en 1989 a remarqué sa régression dans cette zone vue la persistance des menaces et les aménagements effectués.

Dans l'îlot de Sidi Fredj, Alger l'herbier n'a pas subi de dégradation, par contre au pied du complexe de thalassothérapie il a complètement disparu, 0.8 ha correspondait à la matte morte (**GHEHIOUECHE et ZELMAT, 1952 in ZERROUK, 2016**). La cartographie à l'intérieur du carré permanent à la plage de thalassothérapie, montre un caractère morcelé de l'herbier avec une densité anormale et un recouvrement moyen ; d'après l'étude granulométrique le maintien de l'herbier s'est avéré difficile du fait de la présence d'un courant turbulent (**BOUFHANEM et NAIT TAIB, 2012**). Sa vitalité est très hétérogène dans cet endroit, au voisinage de l'épi, il est clairsemé, les feuilles sont courtes, broutées et épiphytées. Dans la zone non abritée soumise au vent et à la houle de secteur ouest, ils ont constaté une «hyper sédimentation » les feuilles sont complètement ensevelies sous le sable. Dans d'autres zones il présente un déchaussement important (entre le premier îlot et la pointe de Saint-Janvier) (**LAMOUTI, 2006**).

Dans la baie d'El Djamila, Alger, une légère augmentation de la densité a été remarquée avec 432 ± 84 en 1997 et 460 ± 90 faisceaux /m² en 2000, mais un déchaussement important (3.3 à 10.5cm) a été constaté dû au déficit sédimentaire, qui est directement lié à un fort hydrodynamisme. En générale il y a une régression de l'herbier dans cette zone et une franche fluctuation de son état (**FERHI et GHIBOUB, 2000**).

Aux 3 anses de Koali, Tipaza, l'herbier est important et vaste, car il est dans un état naturel et se situe dans une zone littorale peu dégradée (**ZERROUK, 2016**).

En général l'herbier est aujourd'hui en régression, notamment à proximité des grandes agglomérations côtières (**SEMROUD, et al., 2004**).



Présentation de la zone d'étude

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Présentation :

1.1. Localisation :

La baie de Bou Ismail (Figure II.1) de son ancien nom «Castiglione » est située dans la partie centrale du littoral algérien, à 30 km à l'Ouest d'Alger dans la wilaya de Tipaza, entre 2°25' à l'Ouest et à 2°55' à l'Est. Elle est limitée :

- Au Nord : par la mer méditerranée.
- Au Sud : par la plaine de la Mitidja.
- A l'Est : par la pointe de Cap Caxine (Ras Acrata).
- A l'Ouest : par le Mont Chenoua.

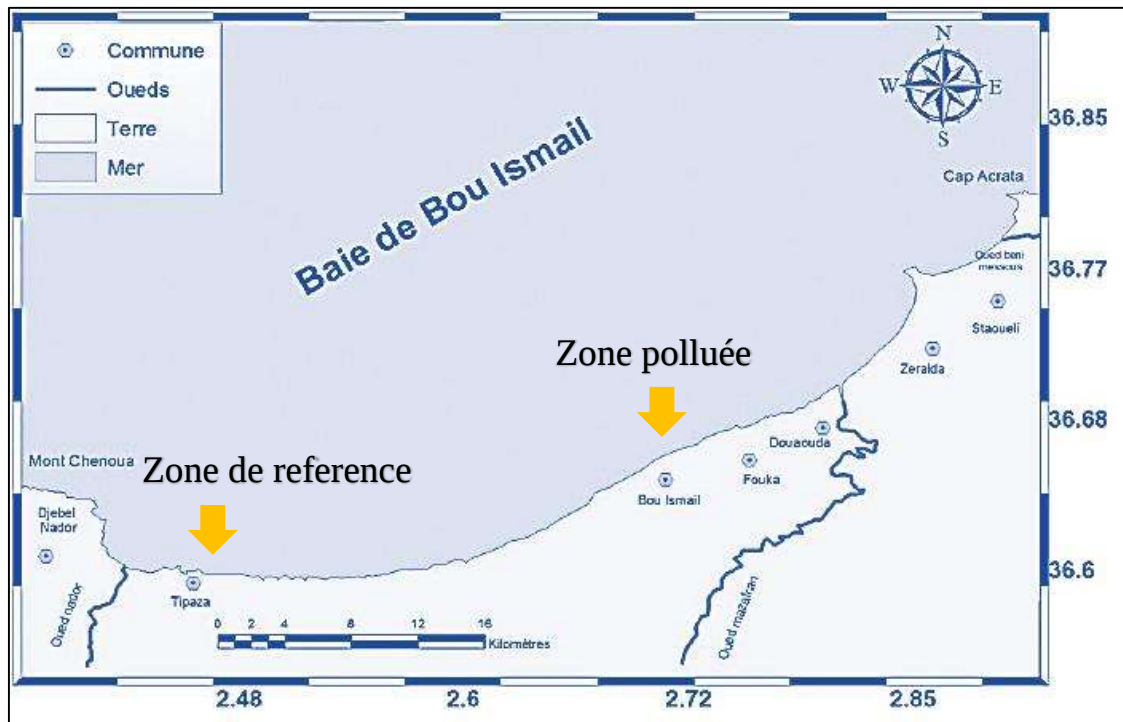


Figure II.1: Localisation des zones d'étude dans la baie de Bou Ismail (SENNOUCI, 2015).

1.2. Justification du choix des zones :

Pour cette étude, deux zones ont été choisies dans la baie de Bou Ismail :

- La première face au Front de mer de la ville de Bou Ismail, localisé dans la partie centrale de la baie (Figure II. 3) ;
- La seconde, c'est la corne d'Or, localisée dans la partie occidentale de la baie (Figure II.4) ;

Et ce, en fonction de leur niveau d'anthropisation, mais pas seulement :

- **La présence de l'herbier de *Posidonia oceanica* et de l'oursin *Paracentrotus lividus*,**
- **Faible hydrodynamisme :** pour faciliter la détermination de la source de pollution,
- **Type de sédiment :** sable fin où s'accumulent les éléments traces métalliques (figure 2.5),
- **Accessibilité de la zone :** prélèvement dans les premiers mètres < 10 m.

Tableau 2.1 : Critères de sélection des deux zones.

Zones	Tipaza (Corne d'Or) zone de référence	Bou Ismaïl (front de mer) zone polluée
Localisation	36° 35' 30'' N 2°28' 30'' E	36° 38' 33'' N 2° 41' 24'' E
Caractéristiques	• Présence d'un herbier récifs barrière (figure II.2) ; • Abondance de l'oursin <i>Paracentrotus lividus</i> ; • Faible Agitation ; • Sédiment sableux à sableux quartzeux ; • Faible turbidité.	• Présence de l'herbier à 7m (régression de la limite supérieur) ; • Présence de feuilles morte et de rhizomes dans le rivage ; • Présence de l'oursin <i>Paracentrotus lividus</i> • Agitation modérée ; • Sédiment sableux à sableux rocheux ; • Forte turbidité.
Pressions anthropiques	Présence : • du Tourisme ; • de rejets domestiques.	Présence de : • rejets industriels, agricoles et urbains non traités, Qui provoquent plusieurs couleurs apparentes à la surface de la mer (blanche, violette, bleue, rouge) ; • une Pêche destructive du fond.

La figure suivante (Figure II.2) montre en vert la présence de l'herbier à posidonie dans la zone de référence, par le traitement des images satellitaire.

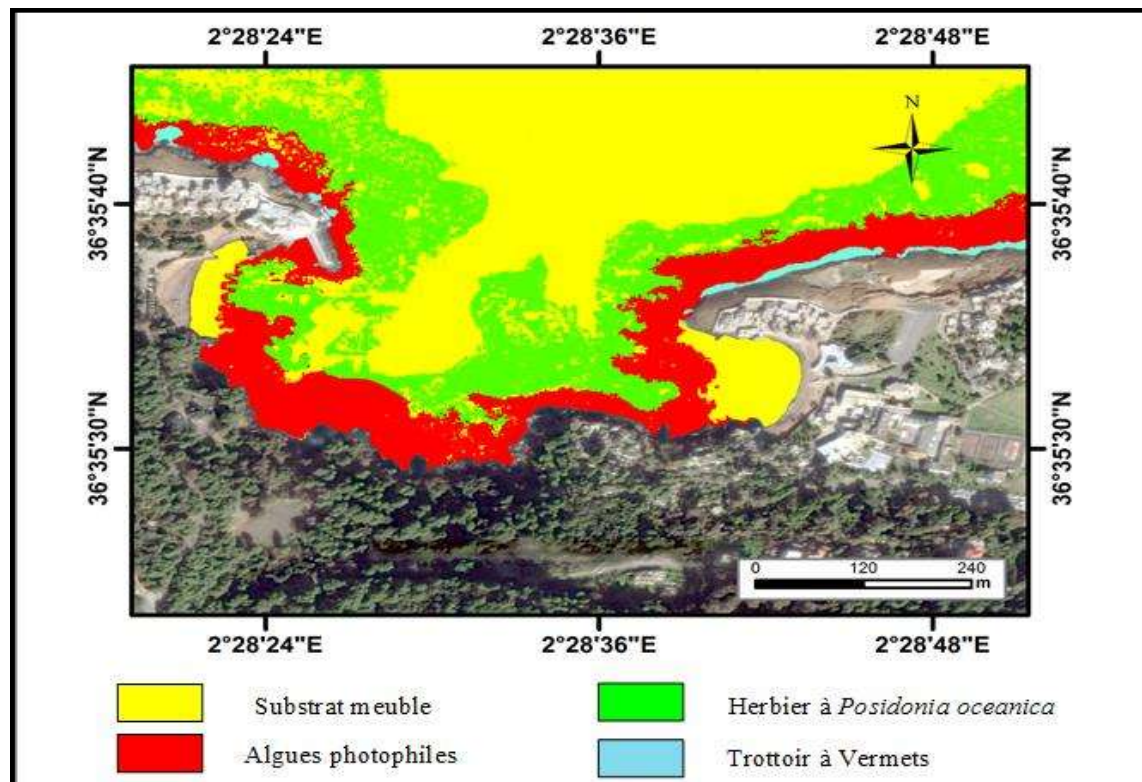
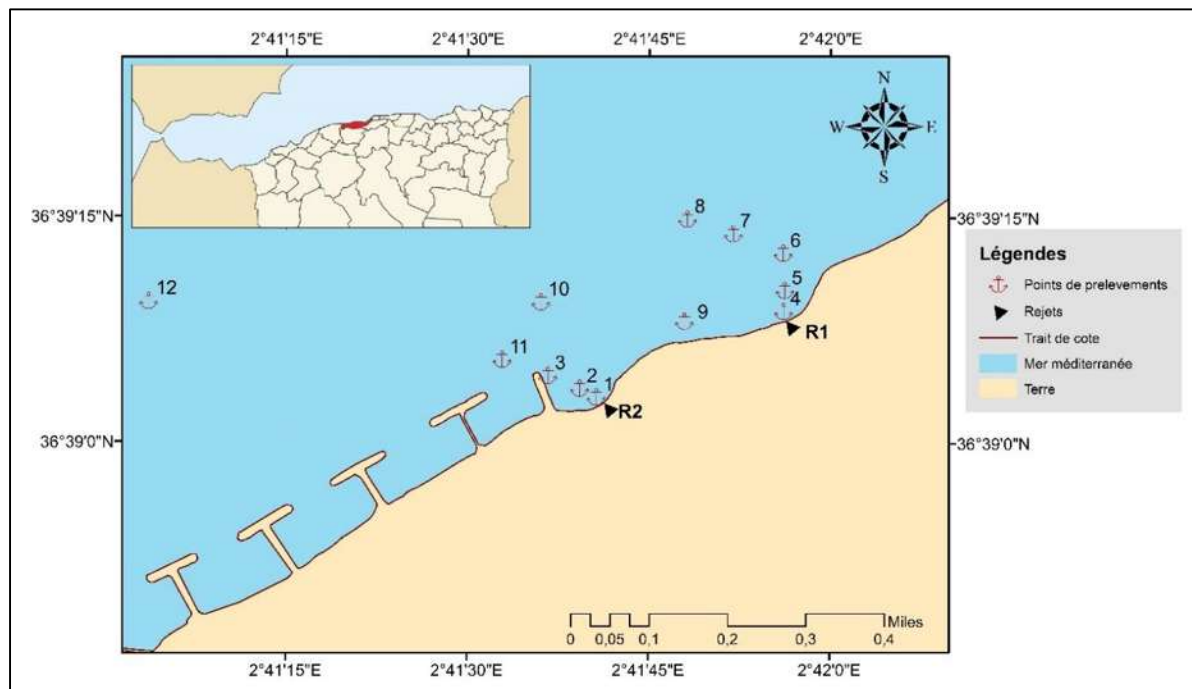


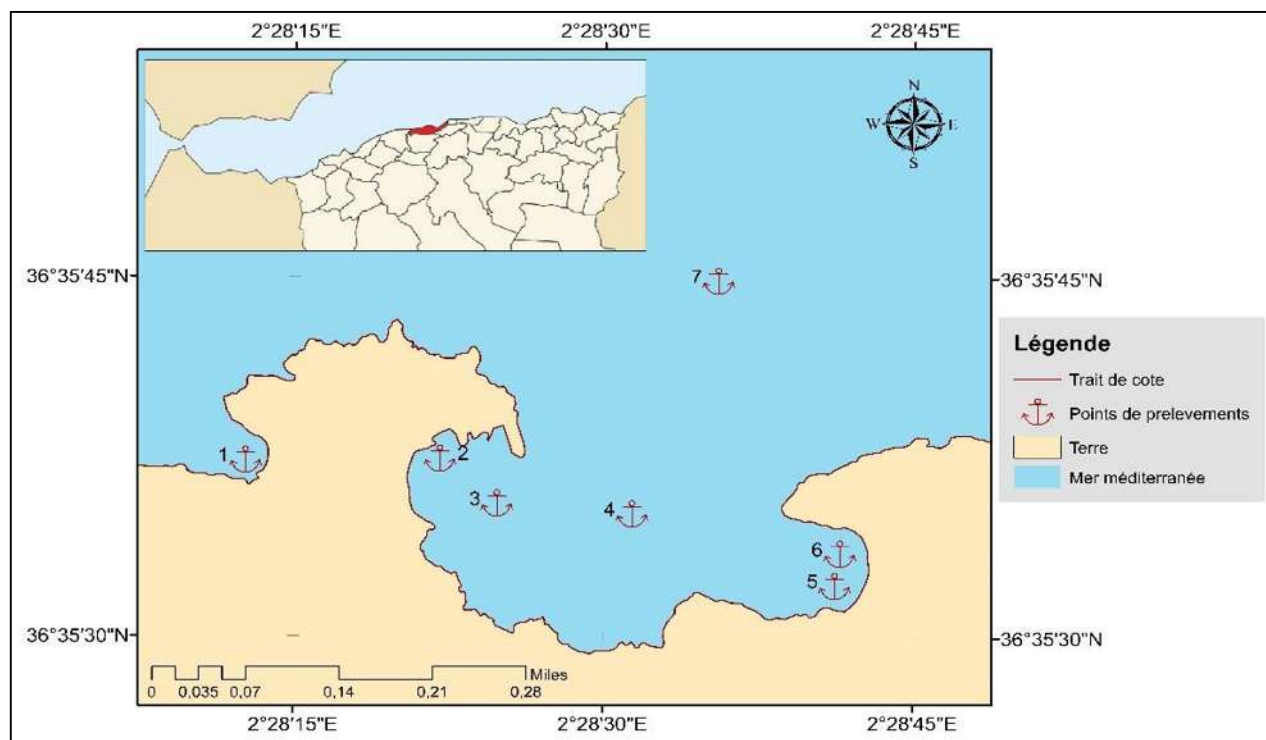
Figure II.2 : Cartographie de l'herbier à *Posidonia oceanica* dans la zone de la Corne d'Or (ZERROUK, 2016).



S3: Posidonie+ Oursin + Sédiment
S7; S8; S9; S10: Eau (OD)

S1; S2; S4; S5 Eau (SN+ MES)
S6: Posidonie+ sédiment

Figure II.3 : Situation des sites de prélèvement des échantillons d'eau, de posidonie et des Oursins dans la zone du Front de mer de Bou Ismail.



S1: Posidonie+ Oursins + Sédiment + Eau (OD)

S3; S4; S7: Eau (OD)

S2 : Posidonie+ Oursins + Sédiment + Eau (SN + MES +OD)

S 4 ; S 5 ; S 6 : Eau (SN + MES)

Figure II.4 : Situation des sites de prélèvement des échantillons d'eau, de posidonie et des Oursins dans la zone de la Corne d'Or.

1.3. Caractéristiques physiques

1.3.1. Topographie

Le plateau continental, étant très étroit selon **VAISSIERE et FREDJ (1963)**, il atteint un maximum de 13km au niveau du Mont Chenoua et un minimum de 3km entre Sidi Fredj et Alger. Il est caractérisé par une pente de l'ordre de 2 à 3% avec une ligne d'inflexion nette autour de l'isobathe 100m. Cette pente est perturbée par quelques appointements rocheux localisés au large du Mazafran et de Bou Ismail (**LECLAIRE, 1972**).

1.3.2. Hydrographie

Il existe 3 oueds qui déversent dans la baie, avec un débit solide et liquide différent. Ils participent ainsi à l'enrichissement de la zone en matières particulière et dissoutes d'origine tellurique.

Oued de Beni-Messous : situé entre El-Djamila et « club des pins » à 18 Km à l'ouest d'Alger. Il débouche dans une plage appelée «les dunes » qui fait partie de la baie d'El Djamila (**BARAIK, 1989**). Son débit est faible par rapport aux autres oueds de la baie et est estimé à 7.7 millions m³/an (0.245 m³/s) (**ARNH, in INAL, 2011**).

Oued Mazafran : c'est le plus important des oueds qui débouchent dans la baie avec un débit moyen de 1.44 m³/s en 2006, ce dernier charrie des matières solides et liquides débouchant au niveau d'une plage sablonneuse entre Douaouda et Zéralda (**ANRH, 2017**).

Oued Nador : regroupe trois oueds qui sont les oueds de Bou Yersen, Bouharoun et oued Merad, ces derniers jouent un rôle important dans les apports en eaux usées et en sédiments. Il débouche entre Djbel Chenoua et Tipasa. Il a un débit liquide de 28 Millions m³/an (0,89 m³/s) (**ANRH, 2003 in INAL, 2011**).

1.3.3. Sédimentologie

Il existe dans cette zone une grande diversité sédimentaire. En effet **LECLAIRE, 1972** a identifié 7 faciès (figure II.5) :

- Faciès des sables grossiers et graviers fins,
- Faciès des sables graveleux,
- Faciès des sables fins,
- Faciès des sables fins envasés,
- Faciès des vases sableuses,
- Faciès des vases pures,
- Faciès des graviers envasés.

D'après la figure 2.5 de la sédimentologie de la baie de Bou Ismail les vases pures et graviers envasés sont les faciès les plus dominants.

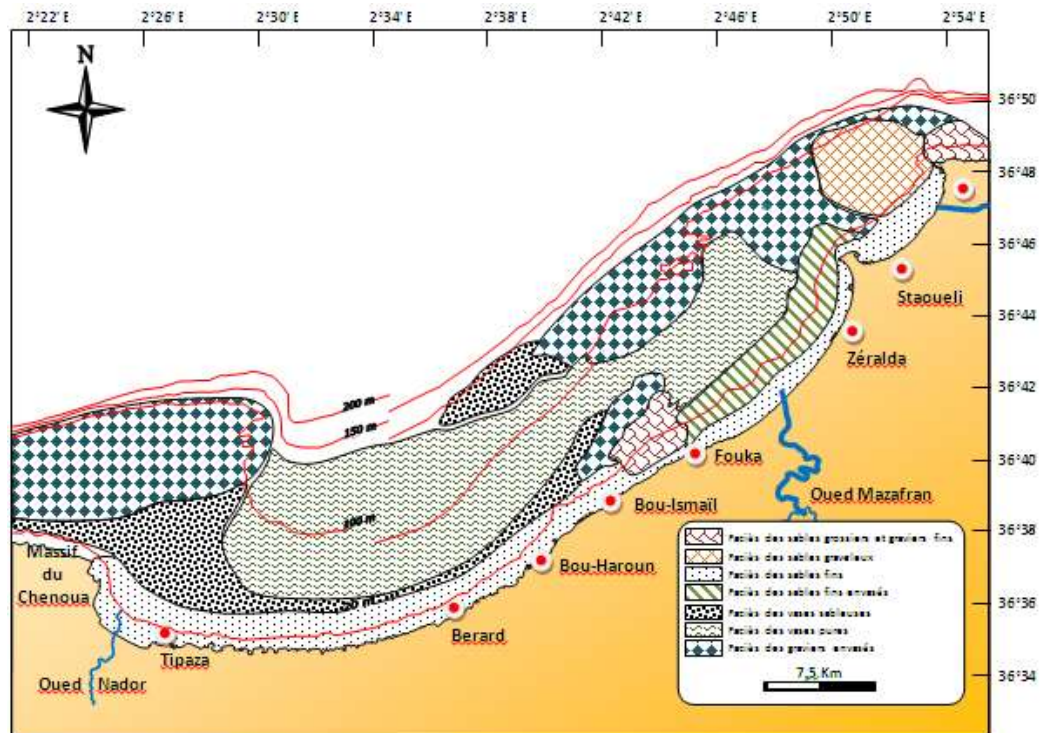


Figure II.5 : Carte de sédimentologie générale de la baie de Bou-Ismail
(D'après LECLAIRE, 1972 - modifiée).

1.3.4. Le régime des houles et des vents

Dans la baie de Bou Ismail, il existe deux régimes de vent en fonction des saisons. En effet, en été et début automne le vent est de secteur Nord-Est avec de faibles amplitudes en moyenne 10.2 m/s de 2006 à 2015 (ONM, 2017), alors qu'en hiver et au printemps le vent est de secteur Nord-Ouest avec de grandes amplitudes (ASSO, 1982) 10.5 m/s en moyenne entre 2006 et 2015 (ONM, 2017). Pour ce qui est des courants, ces derniers dépendent des vents dominants (GUILCHER, 1972). Les houles hivernales sont de secteur Ouest et Nord-Ouest. Elles provoquent des courants de retour dès leurs arrivées perpendiculairement à la côte, et prennent avec elles des sédiments côtiers au large et donc contribuent activement à l'érosion côtière. Alors que les houles estivales sont de secteur Nord-Est, entraînant une dérive littoral de l'Est vers le Sud-Ouest, dès leurs arrivées tangentielllement à la côte et participent ainsi à la sédimentation de la Baie (INAL, 2011).

1.3.5. Température

La Température est un paramètre important en océanographie ce dernier agit avec la salinité pour identifier les masses d'eau. Mais c'est un facteur aussi qui conditionne, la production primaire, l'activité des microorganismes ainsi que la distribution des organismes marins.

La température des eaux superficielles de la baie fluctue en fonction des échanges mer-atmosphère, elle est de l'ordre de 21°C à 27°C en moyenne (**LALAMI-Taleb, 1970**).

Les températures mensuelles de la baie sont exposées dans le tableau II.2 suivant :

Tableau II.2 : Les températures mensuelles moyennes de la baie de Bou-Ismaïl durant la période 2006-2015 (ONM, 2017).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Max	13,1	13,6	15,1	17,5	21,1	25,0	27,4	28,2	26,1	23,3	17,9	13,9
Min	10,1	7,9	12,6	14,3	17,3	20,4	24,8	25,2	22,8	19,6	14,3	11,1

D'après ce tableau, l'année peut se diviser en deux semestres : l'un est froid et l'autre est chaud.

- Période chaude : de Juin à octobre : $19,6 < T (^{\circ}\text{C}) < 20,5$.
- Période froide : de Novembre à Mars : $12,6 < T (^{\circ}\text{C}) < 14,3$.

1.3.6. Précipitation

Les précipitations dans la zone d'étude sont représentées dans la figure ci-dessous. En effet les pluies sont très irrégulières durant les saisons. Elles sont abondantes en automne et en hiver (118.2 mm) et se caractérisent souvent par des orages et des tempêtes de vent. Elles sont variables et incertaines au printemps, nuls et irrégulier en été (1,6 mm).

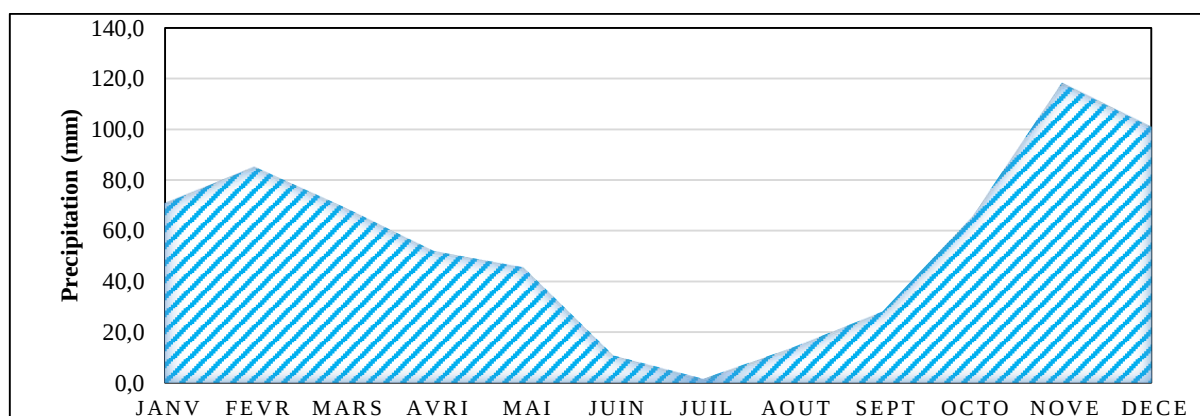


Figure II.6 : Précipitations moyennes mensuelles 2006-2015 (ONM,2017).

1.3.7. Salinité

Du point de vue halin, une certaine homogénéité des eaux est notée au niveau de la baie de Bou Ismail. La salinité varie de 0.1 à 0.2 entre la surface et le fond (LALAMI-TALEB, 1970) mais décroît à l'embouchure des oueds Mazafran et Nador pour atteindre 36 ‰.

1.4. Les activités polluantes présentes dans la zone d'étude

La baie de Bou Ismail est une zone à vocation touristique et agricole, sa frange côtière est soumise principalement aux rejets domestiques des villes et des complexes touristiques qui se déversent directement dans le milieu naturel sans aucun traitement au préalable (BOUDEFOUA, *et al.*, 2007) dans la plupart des cas s'accroissant en période estivale. La figure II.7 montre l'emplacement des rejets d'eaux usées urbaines et industrielles véhiculées par les oueds qui traversent les centres urbains et qui se déversent en mer, drainant les eaux de ruissellement des terres agricoles, en effet l'oued de Mazafran présente un impact considérable dans la baie (LEM, 1998, *in* INAL 2011).



Figure II.7 : Carte des pressions naturelle et anthropiques dans la baie de Bou Ismail.

(BELKESSA *et al.*, 2008 ; ALSID CHIKH *et al.*, 2009 *in* BACHARI, 2010)

En effet le développement démographique (extension de l'urbanisation), économique (extension de l'agriculture, de l'industrie) et touristique a augmenté de façon considérable les rejets des eaux usées chargées des : impuretés, huiles de vidange, carburants, résidus de pneus ainsi que les métaux lourds et contribue ainsi à une forte pollution sous différentes formes.

2. Choix des différentes matrices :

2.1. Matrice biologique :

La magnoliophyte marine *Posidonia oceanica* a été utilisée pour l'évaluation des contaminants métalliques. Celle-ci présente la particularité d'être à l'équilibre avec les contaminants dans le milieu, et notamment les polluants stables comme les métaux-traces c'est-à-dire qu'elle concentre les polluants dans ses tissus en fonction des teneurs présentes dans le milieu (KANTIN, *et al.*, 2007). Des études ont montrées que c'est une bonne bio-indicatrice des métaux-traces et est une espèce intéressante pour le bio-monitoring (GOSSELIN *et al.*, 2006).

Les concentrations des métaux-traces varient en fonction du métal considéré et par rapport aux degrés de contamination du site, il est possible donc d'utiliser cette espèce pour l'évaluation du niveau de contamination d'un site (FERRAT, 2010).

L'oursin commun *Paracentrotus lividus* (LAMARCK, 1816), a été choisi car c'est l'espèce d'échinoderme la plus répandue sur le littoral algérien (DERMECHE, 1998 in BELHAFIANE, 2016). En plus, sa contamination par les métaux toxiques soulève un problème sanitaire lié directement à leur consommateur animal ou humaine, puisqu'il peut survivre dans un environnement très pollué. Comme il remplit le rôle d'une espèce accumulatrice, il est utilisé ainsi comme bio-indicateur de l'état de santé du milieu marin (AUGIER, *et al.*, 1994).

2.2. Matrice sédiments :

Les sédiments, peuvent conserver dans leurs couches successives toute l'histoire chimique d'une région. Cependant, en fonction des vitesses de sédimentation, des possibilités de remise en suspension, de la bioturbation, etc., les premiers centimètres de la couche superficielle représentent un mélange de sédiments des quelques années précédentes. On assiste donc à un lissage sur une échelle pluriannuelle des variations de la contamination. Dans ces conditions, un prélèvement d'un centimètre d'épaisseur suffit pour intégrer plusieurs années de contamination, cependant il est inutile de revenir souvent sur les mêmes lieux. Comparativement à l'eau qui a une mauvaise mémoire où les phénomènes de contamination évoluent très vite à l'échelle de quelques heures à quelques jours (CLAISSE, *et al.*, 1992).

2.3. Choix des éléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques (ETM) atteignent le milieu marin par voie fluviale et par dépôts atmosphériques (**NEFF, 2002**). Une fois dans le milieu marin ils se caractérisent par leur pertinence, leur toxicité et leur pouvoir d'accumulation (**RECORD, 2002**). Leur principale voie de transfert est la voie trophique. Ces contaminants vont passer d'un maillon faible à un autre plus haut dans la chaîne trophique où ils s'accumulent fortement (**LAHAYE et al., 2005**). L'étude de ces maillons, permet de fournir des informations sur les différents niveaux de contamination par les éléments traces en lien avec les divers impacts anthropiques (**RUITTON et HARMELIN, 2013**).

Les éléments traces métalliques considérés dans notre travail sont les non essentiels appelés aussi les ETM toxiques, sans intérêt biologique pour les organismes vivants, ingérés à des doses infimes ils sont toxiques (**BENMANSOUR, 2009**). Nous allons mesurer : Cd , Pb et Zn. Le plomb et le cadmium sont toxiques (**MARCHAND et KANTIN, 1997**) dangereux pour l'homme et les écosystèmes (**FORBES et al., 1997**) le Zinc le devient aussi s'il se trouve à des concentrations importantes dans l'organisme.

Concernant le premier, en l'occurrence le cadmium qui est relativement rare et qui se trouve essentiellement dans les minerais, il est considéré comme l'un des métaux les plus toxiques (**RECORD, 2002**) il est suspecté d'être cancérogène pour l'homme. En milieu marin il a des effets sur le développement larvaire des crustacés par exemple. Il est bio-accumulé mais ne se bio-amplifie pas (**KANTIN et al., 2007**) . Son accumulation dans les différents types de sédiment et sa capacité de remobilisation constituent des risques particulièrement préoccupants (**RECORD, 2002**).

Quant au plomb, bien qu'il soit moins toxique que le mercure et le cadmium, il est très abondant à l'état naturel et est utilisé en grande quantité dans l'industrie, ce qui fait de ce toxique ubiquitaire une menace permanente pour la santé des populations (**RECORD, 2002**), il est parmi les toxiques pour l'homme et les animaux (**ROONEY et al., 1999**). En milieu marin il est bio-accumulé de l'ordre de 10^5 et a aussi des effets sur le développement larvaire (**KANTAIN et al., 2007**).

Enfin concernant le Zinc, c'est un nutriment essentiel pour les organismes aquatiques, mais s'il est en excès, il peut devenir un contaminant environnemental (**FAHSI et CHAFI 2015**).



Matériels & Méthodes

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES**1. Travaux in situ**

Quatres sorties se sont effectuées dans le cadre de notre projet de fin d'étude dans les deux zones d'étude s'étalant du mois de Février au mois de Mai 2017, où l'embarcation de l'école « Baba Aroudj » a été utilisée pour les prélèvements dans certains stations.

1.1. Protocole de prélèvement et stratégie d'échantillonnage

Lors des sorties en mer, les prélèvements de nos matrices se sont effectués comme suit :

- ✓ Prélèvement d'eau : a été réalisé à l'aide d'une bouteille de prélèvement de type Niskin, d'une capacité de 5 L pourvue d'un lest et d'un messenger. Les prélèvements d'eau ont été destinés pour l'analyse des paramètres suivants : l'oxygène dissous, le pH, la température, la salinité, les sels nutritifs et enfin les matières en suspensions. Afin d'éviter toute contamination, notamment par les gaz, cet ordre d'échantillonnage doit être respecté. Le port des gants est obligatoire pendant le prélèvement.
- ✓ Prélèvement de la posidonie : il s'est effectué en plongée en scaphandre autonome, 15 rhizomes orthotropes au minimum (pour caractériser la station) ont été prélevés dans chaque station. De façon à ce que le prélèvement entre deux faisceaux soit espacé de 1m environ (KANTIN, *et al.*, 2007). Ils sont mis dans des sacs en plastique et conservés à 4°C, et sont congelés une fois au laboratoire. De préférence les feuilles sont préalablement retirées afin de faciliter la lyophilisation.
- ✓ Prélèvement d'oursin : Quinze individus d'oursin *Paracentrotus lividus* d'un diamètre entre 5 à 6 cm ont été récoltés dans l'herbier au niveau de la Corne d'Or, tandis qu'à Bou Ismail six individus seulement ont été prélevés en raison de leurs indisponibilités, simultanément avec le prélèvement des rhizomes. Ils ont été mis dans des sachets en plastique et conservés à 4°C une fois au laboratoire. Les gonades (femelles) ont été récupérées dans des piluliers conditionnés ensuite congelés jusqu'à leur lyophilisation.
- ✓ Prélèvement de sédiment : Une quantité conséquente de sédiment a été prélevée à proximité de l'endroit de prélèvement des rhizomes de posidonie. Ils sont conservés dans des piluliers conditionnés à 4°C. Une fois au laboratoire ils ont été congelés jusqu'à la lyophilisation (KANTIN, *et al.*, 2007).

Afin d'éviter toute contamination par l'environnement ou le matériel de prélèvement, les modalités de prélèvements ont été effectuées selon les précautions décrites dans le manuel d'Aminot (1983) (AMINOT, *et al.*, 1983).

1.2. Analyse des paramètres physico-chimique

Les mesures de température et de salinité sont faites in-situ à l'aide d'un conductimètre de terrain) de 0,1 PSU de précision, qui affiche en même temps la valeur de la température et celle de la salinité. La mesure du pH s'est faite à l'aide d'une valise multi-paramètres.

Pour effectuer ces mesures, l'électrode de l'appareil est plongée directement dans la bouteille de prélèvement, juste après l'échantillonnage de l'oxygène dissous.

Remarque : La mesure se fait in situ car ces paramètres sont instables et voient leurs valeurs changées et évoluées rapidement.

1.3. Analyse des paramètres vitaux de l'herbier à posidonie

Les paramètres vitaux sont considérés comme de bons indicateurs de la vitalité de l'herbier. Ils représentent aussi la qualité moyenne du milieu où se trouve l'herbier à posidonie (**PERGANT *et al.*, 1995**). Le choix de ces paramètres qui vont suivre, réside dans le fait qu'ils sont peu affectés par le facteur saison.

1.3.1. Densité de faisceaux

La densité de l'herbier de posidonie correspond au nombre de faisceaux de posidonie présents par unité de surface, généralement le mètre carré (en dehors des inter-mattes)(**PERGANT, *et al.*, 1995 ; PERGENT, 2007**).

L'herbier est classé en cinq catégories, selon les valeurs de densité mesurées et en fonction de la profondeur : densité très bonne, bonne, moyenne, médiocre et mauvaise voir tableau annexe 3 (**PERGENT, 2007**). En effet, la variabilité du facteur densité est expliquée à 54% par la profondeur (qui intègre également la pénétration de la lumière).

Sur terrain ce paramètre a été mesuré à l'aide de quadrat de 30 cm x 30 cm (ce type de quadrat est la surface minimale garantissant la représentativité de la mesure d'après (**PANAYOTIDIS *et al.*, 1981**)). En effet Cinq mesures ont ainsi été réalisées pour chaque station de façon aléatoire.

1.3.2. Déchaussement

L'observation du déchaussement permet d'apprécier l'hydrodynamisme d'une zone et les mouvements sédimentaires qui y ont lieu. La mesure du déchaussement des rhizomes est réalisée selon les conventions définies par (**BOUDOURESQUE *et al.* 1980**) (Figure III.8) :

- pour les rhizomes plagiotropes, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la partie inférieure des rhizomes ;

- pour les rhizomes orthotropes, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la base des feuilles, distance à laquelle on soustrait 2 cm.

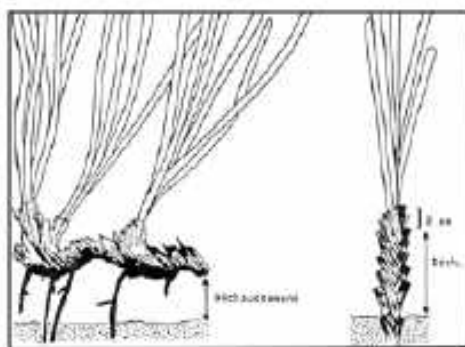


Figure III.1 : Définition de la hauteur de déchaussement des rhizomes de posidonie. À gauche, rhizome plagiotrope ; à droite, rhizome orthotrope (d'après Boudouresque *et al.*, 1980).

Une échelle d'évaluation du déchaussement (faible, moyen, important) est proposée dans le Tableau II.1 (DENIS *et al.*, 2003). Dans le cadre de la présente étude, 10 mesures de déchaussement (1 mesure = 1 rhizome) à la base des faisceaux réparties de façon aléatoires ont été réalisées dans chaque station. C'est-à-dire effectuer au moins 5 quadrats utilisés pour l'estimation de la densité.

Tableau III.1 : Echelle d'évaluation du déchaussement (DENIS *et al.*, 2003).

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

1.3.3. Orientation des rhizomes

En limite d'herbier ou en bordure des taches de posidonie, la présence de nombreux rhizomes plagiotropes traçants est un indice de bonne vitalité de l'herbier, car elle traduit une tendance à la progression mais aussi à la recolonisation des inter-mattes due aux ancrages, qu'ils soient du passé ou du présent (GANTEAUME *et al.*, 2005).

Cinq rhizomes plagiotropes ont été prélevés dans chaque station. Une mesure correspond au comptage sur 10 rhizomes, du nombre de plagiotropes et d'orthotropes, permettant ainsi de calculer un pourcentage de rhizomes plagiotropes. Un pourcentage de rhizomes plagiotropes compris entre 0 et 10 est considéré comme faible, entre 11 et 29 comme moyen, et entre 30 et 100 comme fort (ROUANET *et al.*, 2014).

1.3.4. Taux de recouvrement

Selon **ANDROMEDE, (2012)** le recouvrement correspond au pourcentage de couverture du substrat par l'herbier à *Posidonia oceanica* vivant, par rapport aux zones non couvertes (sable, matte morte, roche). Il varie en fonction de la vitalité de l'herbier, de la profondeur, de la saison, et de l'hydrodynamisme.

Selon **Francour et Soltan (2000)** la méthode d'évaluation est l'utilisation d'une plaquette transparente de PVC de 30x30 cm, divisée en un carroyage de 13.3 cm de côté (9) carreaux au total (Figure 2.9). En se plaçant à la verticale du point observé (à 3 mètres au-dessus du Fond en général), l'observateur peut très simplement compter par transparence le nombre de carreaux de sa plaquette qui sont occupés par de l'herbier. Ce nombre varie de 0 à 9 et peut être ensuite exprimé plus classiquement en pourcentage.

Les mesures ont été faites tous les 5m par radiale.

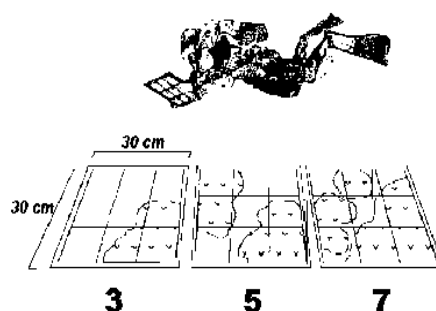


Figure III.2 : Méthode d'évaluation du recouvrement de l'herbier à *Posidonia oceanica* sur le substrat dimension de la plaquette transparente en cm et exemples de notation lors de l'évaluation. Au-dessus, un observateur en situation (**FRANCOUR et SOLTAN, 2000**).

L'échelle décrite dans le (Tableau III.2) était utilisée pour l'interprétation des résultats obtenus, ainsi le recouvrement est classé faible, moyen et fort. Les valeurs seuils considérées par cette échelle sont différentes selon la position de la limite (supérieure ou inférieure), puisque le recouvrement diminue de façon naturelle avec la profondeur.

Tableau III.2 : Echelle de classification du recouvrement de l'herbier de Posidonie (**RSP ; CHARBONNEL et al., 2000**).

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

2. Analyses de laboratoire

2.1. Eléments traces métalliques (A.AMINOT 1983)

Les micropolluants minéraux ne s'accumulant pas dans l'eau (réceptrice) elle-même, sont assez rapidement transférés dans les sédiments où ils sont en partie métabolisés par les organismes vivants et mis en circulation dans les chaînes alimentaires où leur toxicité s'épanouit (GHEDDAH, 2003).

2.1.1. Principe de la méthode

Le dosage se fait par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA). Ça consiste en l'atomisation des éléments métalliques sur le même trajet d'un rayon lumineux, et à mesurer parallèlement l'absorption émise à une longueur d'onde qui est caractéristique de l'atome formé. L'absorbance obtenue est proportionnelle à la concentration et cela permet de calculer la concentration des métaux existant dans l'échantillon.

La conservation des échantillons se fait soigneusement, avec un nettoyage au préalable du matériel à utiliser. Les techniques utilisées pour le nettoyage ainsi que le matériel pour les manipulations sont détaillées dans l'annexe 1.

2.1.2. Les solutions étalons

La préparation des solutions standards se fait directement à partir de la solution mère de 1000 ng/ml pour le Zn, alors que pour le Pb et le Cd, elle s'appuie sur la préparation d'une solution mère secondaire de 10^4 ng/ml ; les standards sont préparés comme suit :

- Un fond d'eau ultra pure est mis dans un tube conique de 50ml ;
- Le tube est rempli avec :
 - 5ml d' HNO_3 pour le biote
 - 4.5ml d' HCL et 1.5 ml d' HNO_3 pour le sédiment
- Un volume de solution mère (Zn) ou solution secondaire (Cd, Pb) correspondante à la concentration standard à préparer est ajouté dans le tube puis jaugé à 50ml avec de l'eau ultra pure.

Les courbes d'étalonnage sont présentées dans l'annexe 1.

2.1.3. Mode opératoire

2.1.3.1. Traitement des échantillons

La méthode appliquée pour le traitement des échantillons est celle proposé par **UNEP/IAEA (1982a, 1985b et 1986)**.

Une fois au laboratoire après la décongélation des échantillons, les rhizomes de posidonie sont débarrassés du sédiment et de leurs feuilles et sont mis dans des sachets en polyéthylène

étiquetés. Pour ce qui est des oursins, c'est les gonades femelles GF qui sont récupérées à l'aide d'un scalpel dans des piluliers étiquetés, car ils (GF) accumulent beaucoup plus de métaux traces que les gonades mâles (**DERMECH, 2010**). Pour le sédiment, il est mis dans des piluliers étiquetés, en effet les échantillons sont prêts pour les traitements suivants :

- Lyophilisation : c'est une technique qui permet la déshydratation de l'échantillon congelé par sublimation (c'est-à-dire le passage de l'eau de l'état solide à l'état vapeur) et cela à basse température -56°C et sous vide (0.1bar) pendant 48h pour le sédiment et 3j pour le biote (est plus fragile et contient beaucoup d'eau, ça prend du temps pour sécher). La lyophilisation est préférable au séchage à l'étuve, car cette dernière entraîne la perte des métaux volatils comme le mercure. Les échantillons sont pesés directement dans des piluliers avant et après la lyophilisation et leurs poids sec est noté PS. Ils sont ensuite conservés et fermés hermétiquement jusqu'au traitement suivant.

- Broyage : une fois les échantillons déshydratés :

Biote : il est broyé soit avec un mixeur ou un mortier en agate.

Sédiment : il est broyé à l'aide d'un mortier en porcelaine, afin de disperser les grains ensuite il est récupéré dans des piluliers stérilisés.

- Homogénéisation : s'est déroulée pendant 48h à lieu dans le but d'uniformiser la répartition des particules (surtout les particules sédimentaires). L'échantillon est bien conservé soit dans un dessiccateur ou dans une étuve à 37°C , jusqu'à la minéralisation.

2.1.3.2. Minéralisation

La minéralisation est une opération d'extraction et de solubilisation des éléments à analyser et de les rendre à l'état ionique le plus oxydé, elle sert aussi à éliminer toute la matière organique.

⇒ La digestion pour le plomb et le cadmium et le zinc, est faite comme suit :

- 1) Homogénéisation de l'échantillon (2min) ;
- 2) Pesée 0.5g d'échantillon (biote ou sédiment) sec dans les bombes en téflon (50ml) ;
- 3) Pour le sédiment : ajout de 6ml d'eau régale (4.5 ml HCL : 1.5ml HNO_3 , 3:1 v/v) dans chaque godet
Pour le biote : ajout de 5ml d' HNO_3 dans chaque godet
- 4) Fermeture hermétique des bombes et mise à température ambiante toute une nuit ;
- 5) Chauffage des bombes sur plaque chauffante et bloc d'aluminium pendant :
2h30 à 120°C pour le sédiment.
3h à 90°C pour le biote.

- 6) Refroidissement à température ambiante avant ouverture des bombes sous une hotte aspirante ;
- 7) Transfert dans les tubes coniques de 50ml en polypropylène ;
- 8) Dilution jusqu'au trait de jauge (50ml) :
- 9) Décantation toute une nuit avant l'analyse.

L'échantillon (biote/sédiment) est prêt pour l'analyse.

Remarque : les blancs de réactifs (annexe 1) doivent être préparés pour chaque série d'analyse. Ils sont préparés de la même manière que les échantillons sauf que ces derniers ne sont pas utilisés.

Les standards pour la préparation des courbes d'étalonnage doivent être préparés avec les mêmes réactifs que pour les échantillons.

2.1.3.2. Analyse

L'analyse a lieu de deux manières différentes, soit par évaporation et atomisation dans une flamme air/acétylène (2200°C), soit par séchage, pyrolyse et atomisation dans un four à graphite dont la montée en température est progressive (3000°C).

2.1.4. Expression de la concentration des éléments traces métallique

2.1.4.1. Calcul de la concentration en élément traces métalliques

$$Cc \text{ ech. } (\mu\text{g/g}) = \frac{(Cc \text{ ech.} - Cc \text{ blanc}) * V}{p}$$

Avec :

V : volume de l'échantillon (50ml). p : poids sec d'extraction (g)

2.1.4.2. Calcul de l'indice de contamination (IC) dans le sédiment

L'indice de contamination correspond au rapport de la concentration observée sur la concentration considérée comme normale :

$$Cc \text{ ech. } (\mu\text{g/g}) = \frac{\text{concentration observée}}{\text{concentration normale}}$$

L'interprétation des résultats de l'IC s'effectue selon le tableau III.3

Tableau III.3 : Valeurs de l'indice de contamination (IC) (ABRMC, 1984 in BOUAZIZ et DJERRAI, 2010).

IC	Observations
IC < 3	Zone normale
3 < IC < 10	Zone polluée
IC > 10	Zone à risque

Les résultats ont été comparés aux normes algériennes et françaises cités dans le tableau III.4.

Concernant les normes algériennes, il s'agit en fait d'une synthèse élaborée par la DGE (Direction Générale de l'Environnement) (BOUAZIZ et DJERRAI, 2010).

Tableau III.4 : Concentrations normales des métaux lourds dans les sédiments selon les normes algériennes, françaises en µg/g de poids sec (ALZIEU *et al.*, 1999, in BOUAZIZ et DJERRAI, 2010).

Norme/ETM	Pb	Cd	Zn
Algérienne	250	2	500
Française	22	0,6	80

2.1.4.3. Bioconcentration des éléments traces métalliques

On définit le facteur bio-sédiment comme étant le rapport entre la concentration de métal dans l'organisme et celle dans le sédiment (Iau *et al.*, 1998 in BOUDJEMEL et BOUGHELLA, 2012), il est calculé pour évaluer l'efficacité de la bioaccumulation des métaux par *Posidonia océanica* et *Paracentrotus lividus*.

2.2. Dosage des sels nutritifs

2.2.1. Principe

Le dosage des sels nutritifs repose sur le principe de réactions du sel avec les réactifs associés dans certaines conditions de température et de pH et parfois en présence de catalyseurs, une coloration se forme qui absorbe dans une longueur d'onde spécifique.

La densité optique obtenue est proportionnelle à la concentration des sels et obéit aux lois de BEER LAMBER :

$$DO = L * C * \epsilon$$

Avec :

ϵ : Coefficient d'extinction, dépend de la longueur d'onde.

C : la concentration du sel en $\mu\text{mol/L}$.

L : longueur traversé par le milieu.

DO : densité optique.

Dans notre étude, on s'intéresse au dosage des sels nutritifs : nitrites, nitrates, ortho-phosphates et silicium dissout. L'analyse est faite par la méthode de colorimétrie à flux séquentielle sur chaîne automatisée « Aquakem* 200 Photometric Analyzer » au niveau de l'ANRH, selon le protocole décrit par le fabricant. Schématiquement, cet analyseur automatique est composé principalement de 2 éléments :

- un échantillonneur qui permet d'aspirer les échantillons ;
- et le spectrophotomètre proprement dit où les échantillons et les solutions étalons colorés vont passer au spectrophotomètre, dans lequel leur absorbance à une longueur d'onde donnée va être mesuré.

Le principe de dosage de chaque sel se trouve dans l'annexe 2.

2.3. Dosage de l'oxygène dissous

Méthode de WINKLER (1888)

L'oxygène dissous est un paramètre important du milieu, qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques.

2.3.1. Principe

Pour doser l'oxygène, nous avons utilisé la méthode de Winkler modifiée par Carpenter (1965) et Carrit et Carpenter (1966) qui est la méthode chimique classique de référence, malgré le développement des électrodes à oxygènes dissous.

En milieu très basique, l'oxygène est piégé quand on revient en milieu acide l'iode est libéré avec le même nombre d'oxygène. Le diiode ainsi formé est dosé à l'aide d'une solution de thiosulfate à titre connu. Les coefficients stœchiométriques des réactions successives sont tels que 1 mole de dioxygène correspond à 4 moles d'ions thiosulfate.

L'analyse des échantillons est effectuée par titrimétrie avec détection du point d'équivalence par la méthode potentiométrique avec utilisation d'un titreux (AMINOT, *et al.*, 2004)

2.3.2. Expression de la concentration de l'oxygène dissous

Le nombre de moles de thiosulfate utilisé pour doser un échantillon est :

$$n_{\text{thio}} = M_{\text{thio}} * (V_{\text{eqthio}} - b_{\text{ech}})$$

D'après la réaction de la méthode de WINKLER, à 1 mole de thiosulfate correspond à ¼ mole d'oxygène. Le nombre de mole d'oxygène que contient l'échantillon est de :

$$n_{\text{O}_2} = M_{\text{thio}} * (V_{\text{eqthio}} - b_{\text{ech}}) / 4$$

La concentration de l'oxygène dans l'échantillon en mol/l est de :

$$[\text{O}_2] = \frac{M_{\text{thio}} * (V_{\text{eqthio}} - b_{\text{ech}})}{4 * (V_t - V)}$$

Avec :

V_t : Volume total de l'échantillon d'eau de mer prélevé (i.e. : volume du Falcon 280ml) ;

V_{eqthio} : volume du thiosulfate ;

V : volume des réactifs ;

b_{ech} : volume de thiosulfate correspondant au blanc de réactifs

Remarque : $[\text{O}_2]$ dans les eaux bien oxygénées vaut 320 $\mu\text{mol/kg}$.

2.4. Analyse de la matière en suspension

La quantité de matière en suspension est un paramètre important à connaître pour l'étude du milieu marin, car non seulement, les particules augmentent la turbidité de l'eau et de ce fait stimulent la production primaire mais aussi présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques, chimiques et biologiques. Ils peuvent aussi être source nutritive non négligeable pour la faune et cela selon leur nature.

2.4.1. Principe

Il s'agit de filtrer un volume d'échantillon représentatif sur une membrane filtrante en fibre de verre de FIORONI ayant une porosité de 0.7 μm (préalablement conditionné) afin de retenir toutes les particules supérieures à 0.7 μm environ.

Le filtre est séché et pesé avant et après la filtration. Les MES correspondent à la différence de poids sec avant et après filtration par rapport au volume filtré (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983).

2.4.2. Expression de la concentration des matières en suspension :

La concentration des matières en suspension (MES) est calculé selon la formule suivante :

$$\text{MES} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{(\text{P2} - \text{P1}) - \text{b}}{\text{V}}$$

Avec :

P2 : poids sec du filtra après filtration (mg) ;

P1 : poids sec du filtra avant filtration (mg) ;

b : le blanc (mg) ;

V : volume d'échantillon filtré (l).

3.5. Analyse de la matière organique

La matière organique se trouve sous forme dissoute et/ou particulaire, les proportions dépendent du type de milieu. C'est un paramètre important à mesurer car il réfère l'état du milieu et permet une caractérisation globale des matières en suspension, il facilite aussi l'interprétation d'autres paramètres qui lui sont liés (oxygène dissous, chlorophylle ect...), puisqu'il est infiniment lié aux activités biologiques.

3.5.1. Principe

Les filtres qui sont utilisés pour la matière en suspension, sont pesés avec une précision dans des creusets en porcelaine soit P1. Après avoir été passés au four à moufle à 550°C pendant deux heures, les creusets contenant les filtres sont pesés, soit P2. La différence de ces deux poids nous donne celui de la matière organique brûlée (**AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983**).

3.5.2. Expression du pourcentage de la matière organique

Le pourcentage de matière organique est déterminé comme suit :

$$\text{MO \%} = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$$

Avec :

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

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



Résultats & Discussion

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Polluants métalliques**1.1. Teneurs métalliques dans les sédiments superficiels**

Les résultats des teneurs en métaux trace dans le sédiment de la Corne d'Or et le front de mer de Bou Ismail sont regroupés dans la figure suivante :

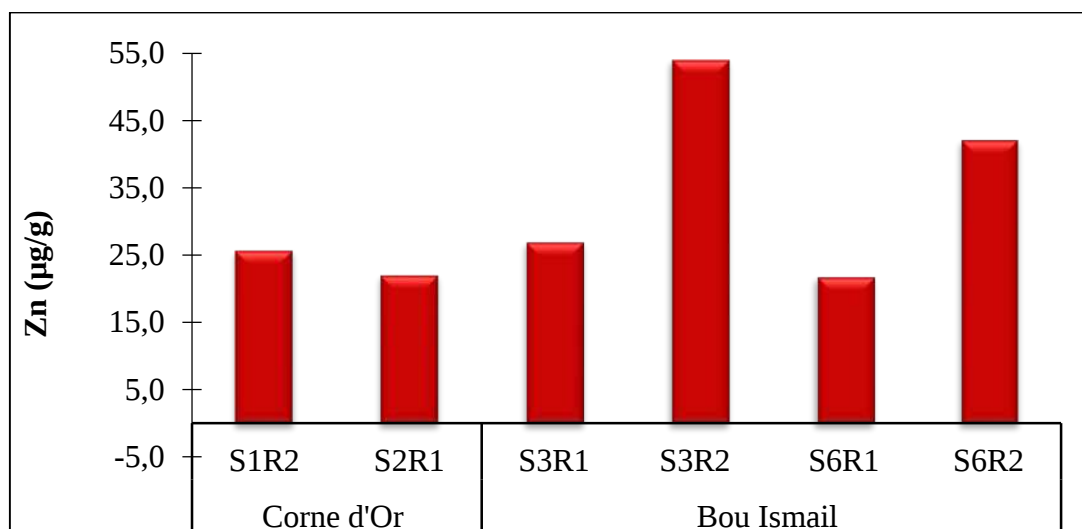


Figure IV.1 : Concentrations en Zn exprimées en µg/g dans le sédiment superficiel de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.

Avec : R1 et R2, réplique 1 et réplique 2.

- ❖ Le Zinc est un élément essentiel qui peut être toxique à forte concentration. Il présente un maximum de 53.972 µg/g au niveau de la station S3R2 à Bou Ismail en face le rejet 2. Dans la Corne d'Or les teneurs moyennes du Zinc dans le sédiment sont de 23,842 µg/g.

Le maximum observé dans la S3R2 est certainement dû à l'accumulation de Zn apporté par le rejet 2. De plus les MES en excès apportées par ce rejet jouent un rôle dans la circulation des éléments traces métalliques et favorisent leur sédimentation. La richesse en matières organiques dans le sédiment de cette station, qui dépasse les 2% peut expliquer aussi l'importante teneur en Zn.

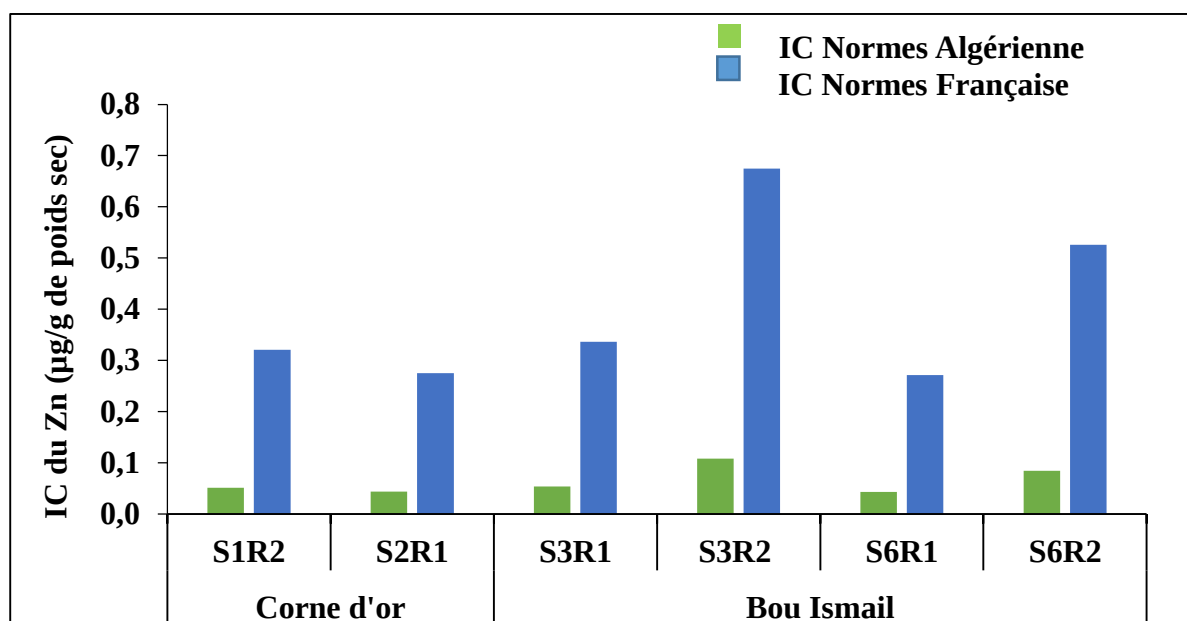


Figure IV.2 : Indice de contamination (IC) par le Zn en $\mu\text{g/g}$ de poids sec dans le sédiment superficiel dans les deux zones d'études.

Les valeurs obtenues par l'indice de contamination « IC » sont toutes inférieures à 3, que ce soit pour les normes françaises ou algériennes, et donc les deux zones sont considérées comme normales sans pollution.

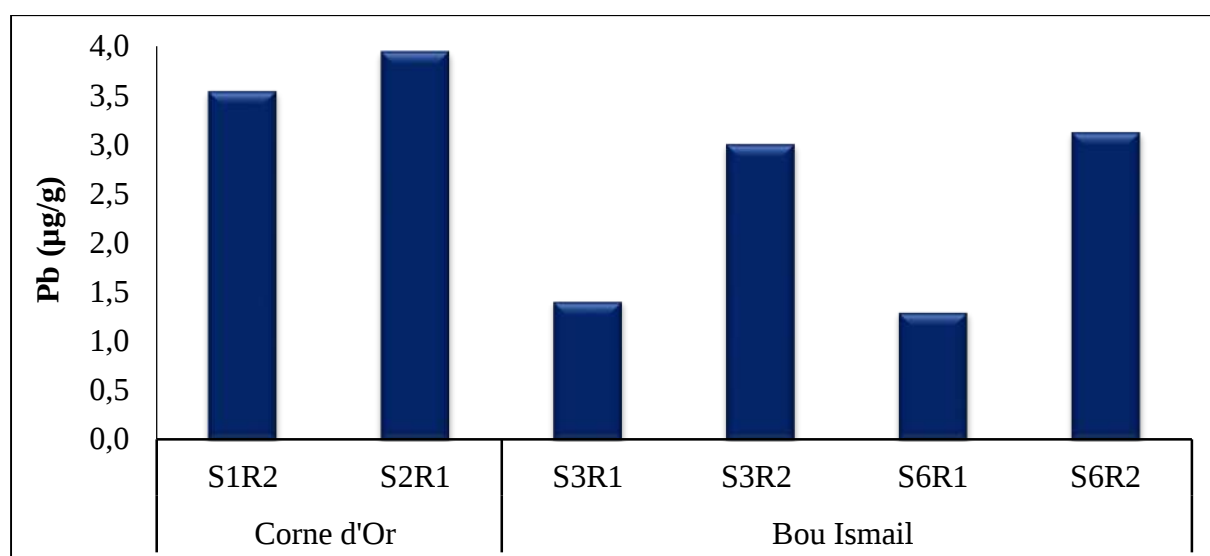


Figure IV.3 : Concentrations en Pb exprimées en $\mu\text{g/g}$ dans le sédiment superficiel de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.

- ❖ Le Plomb est un métal toxique généralement présent en faible quantité. En effet, les teneurs relevées dans les sédiments montrent une valeur maximale qui est de l'ordre de 3,950 $\mu\text{g/g}$, enregistrée au niveau de la station S2 de la Corne d'Or, et une valeur minimale de l'ordre de 1,305 $\mu\text{g/g}$ enregistrée au niveau de la station S6R1 dans le front de mer de Bou Ismail.

Ces valeurs restent inférieures aux normes algériennes et françaises, qui sont respectivement de 250 $\mu\text{g/g}$ de poids sec et 22 $\mu\text{g/g}$ de poids sec.

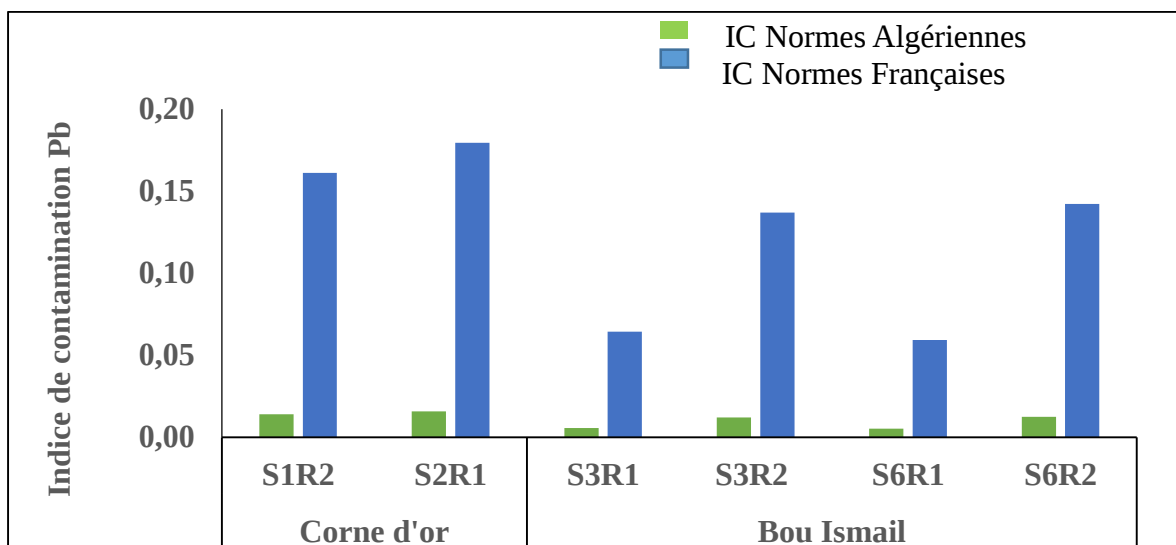


Figure IV.4 : Indice de contamination (IC) par le Pb en $\mu\text{g/g}$ de poids sec dans le sédiment superficiel dans les deux zones d'études.

Les indices de contamination pour le plomb, sont largement inférieurs à 3. Dans ce cas on peut classer les deux zones comme des zones normales et non polluées.

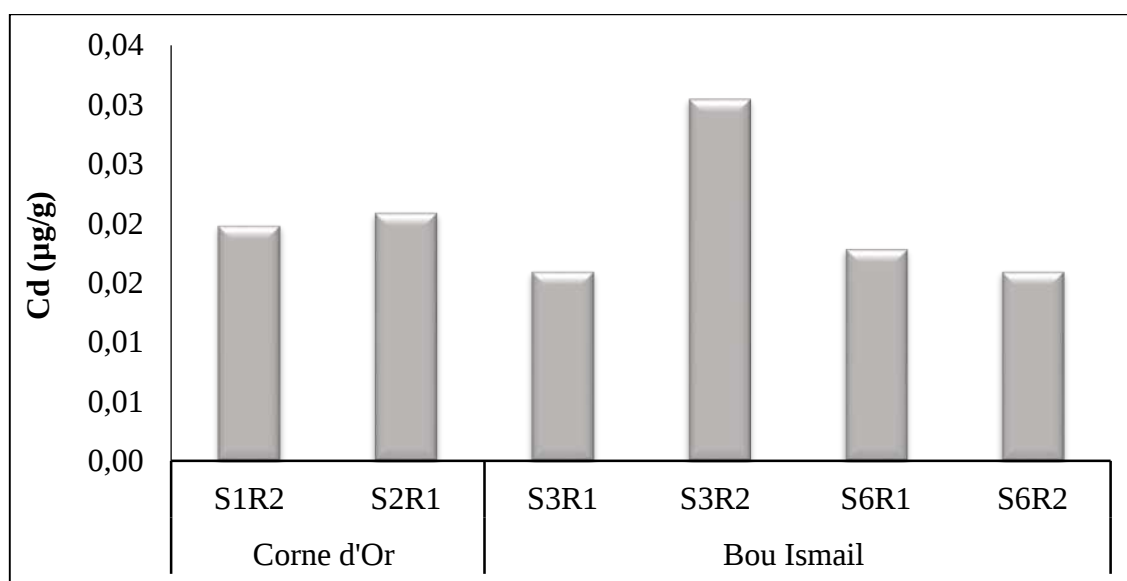


Figure IV.5 : Concentrations en Cd exprimées en $\mu\text{g/g}$ dans le sédiment superficiel de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.

- ❖ Les résultats d'analyses révèlent des teneurs très faibles en cadmium dans les deux zones d'étude avec un max de 0,030 µg/g au niveau de la station S3R2 à Bou Ismail en face le rejet 2 et une moyenne de 0.020 µg/g entre les deux zones d'étude.

En effet selon les normes algériennes et françaises ces concentrations sont assez faibles, et sont respectivement de 2 et 0,6 µg/g de poids sec. Elles montrent qu'il n'y a pas de pollution en Cd dans les deux zones d'études.

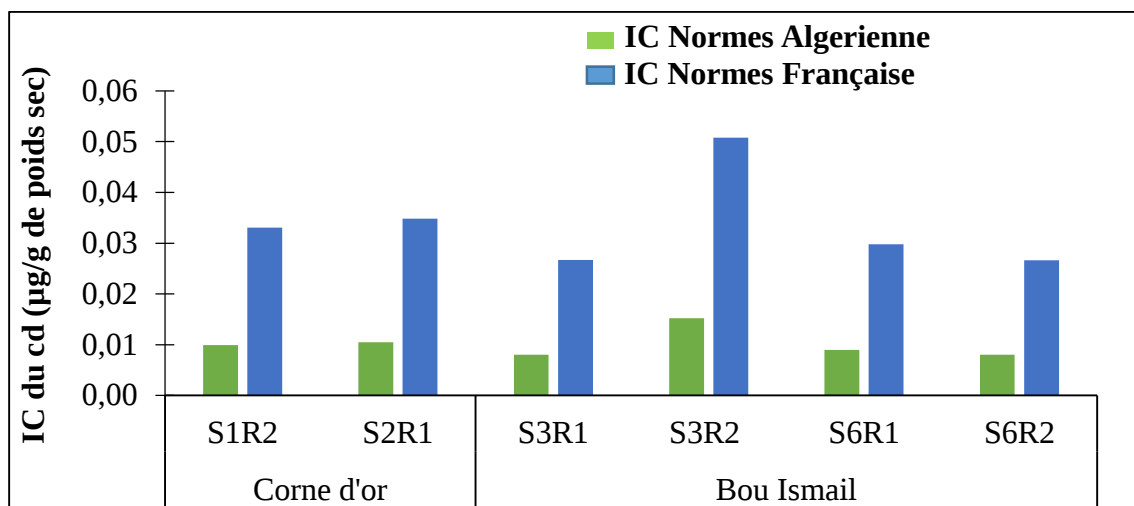


Figure IV.6 : Indice de contamination (IC) par le Cd en µg/g de poids sec dans le sédiment superficiel.

Les indices de contaminations (figure IV.6) sont largement inférieurs à 3 et donc la zone est considérée comme normale et non polluée.

Ainsi nous avons pu établir le degré de contamination des stations pour chaque métal et nous avons obtenu les résultats présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 : Degré de contamination du sédiment superficiel des différentes stations pour chaque métal.

Eléments métalliques	Degré de contamination	
	Bou Ismail	Corne D'or
Zn	S3R1/ S6R2/S6R1/ S3R2	S2R1/ S1R2
Pb	S6R1/ S3R1/ S3R2/ S6R2	S2R1/ S1R2
Cd	S6R1/ S3R1/ S6R2/ S3R2	S2R1/ S1R2

La répartition spatiale des métaux dans la zone de la Corne d'Or montre que la station S2R1 (à l'intérieur de l'anse) présente la plus grande teneur en Zn, Pb et en Cd par rapport à la station S1R2.

Au niveau du Front de mer de Bou Ismail, la station S6R2 présente des teneurs élevées en Pb, alors que c'est la station S3R2 qui présente la plus importante teneur en Zn et en Cd.

Les teneurs en métaux observées dans le sédiment ne peuvent provenir que de la colonne d'eau. Cependant, leur accumulation dans les sédiments est la conséquence de la conjonction entre les capacités d'adsorptions, de précipitations et de complexations (DERMECHE, 2010).

Il en ressort de ces représentations que le rejet 2 est supérieur en terme d'apport en métaux au sédiment que le rejet 1, il apporte dans un ordre croissant : Cd et Zn. Alors que c'est le rejet 1 qui apporte beaucoup de Pb. Ces différenciations nous conduisent à déterminer la nature et le type des rejets qui débouchent dans la zone, et ainsi identifier l'industrie originaire installée dans la zone. En effet, on constate que : l'IMPRIMERIE SHELLIA, et TERRA CERAMIQUE évacuent ces eaux usées et déchets dans le rejet 2 ; alors que SARL RESITECK au niveau du rejet 1.

1.2. Teneurs métalliques chez la magnoliophyte : *Posidonia oceanica*

Les résultats des teneurs en métaux traces accumulés chez la magnoliophyte sont représentés dans la figure suivante :

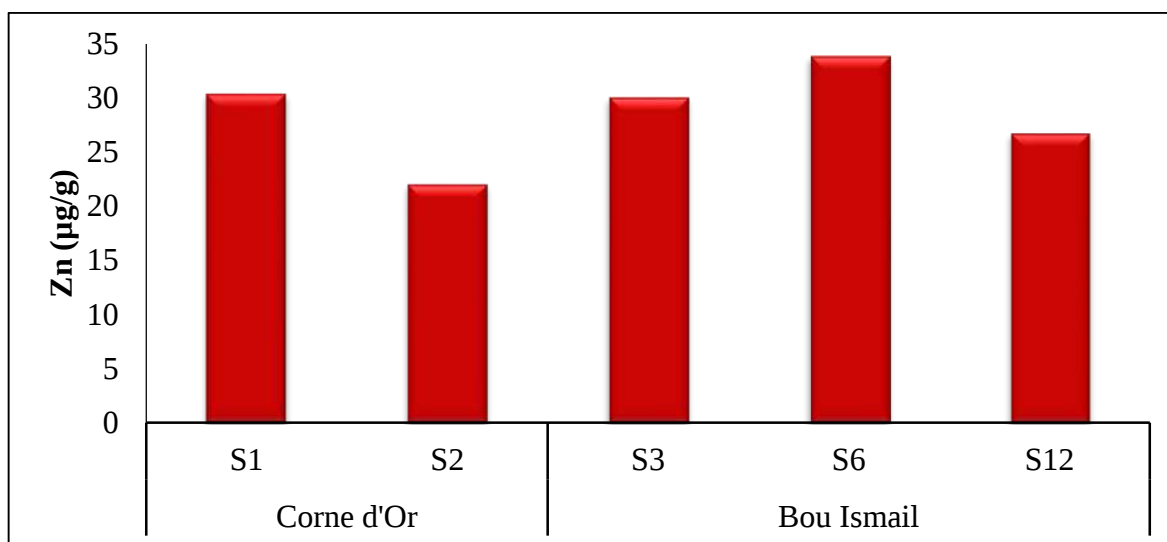


Figure IV.7 : Concentrations en Zn exprimées en µg/g dans les rhizomes de *Posidonia oceanica* de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.

ND : Concentration **N**on **D**éetectable, limite de la détection de l'appareil.

- ❖ Les résultats d'analyse du Zn dans les rhizomes de posidonie, présentent des valeurs moyennes de 30.186 µg/g à Bou Ismail contre 26.20 µg/g à la Corne d'Or. Le maximum se rencontre au niveau de la station S6 en face du rejet 1 de Bou Ismail.

Les teneurs en Zn accumulées dans les rhizomes peuvent être expliquées par la diffusion passive de ce métal essentiel à partir du sédiment, dans l'espace intracellulaire des rhizomes.

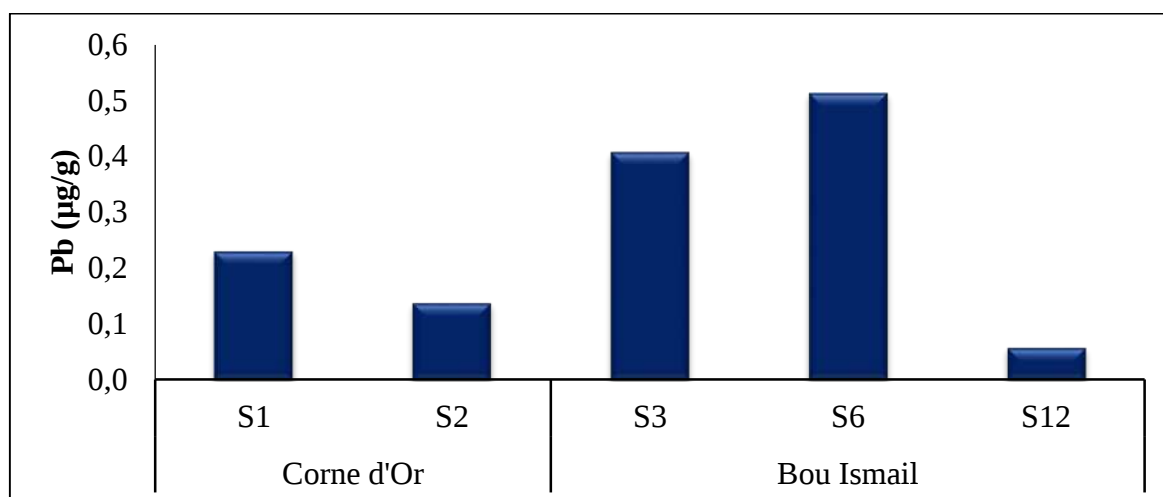


Figure IV.8 : Concentrations en Pb exprimées en µg/g dans les rhizomes de *Posidonia oceanica* de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.

- ❖ Pour le Pb les valeurs sont aux alentours d'une moyenne de 0.270 µg/g entre les deux zones d'étude. Un maximum de 0.51 µg/g est rencontré au niveau de la station S6 en face du rejet 1 à Bou Ismail, une valeur importante de 0.41 µg/g est obtenue aussi au niveau de la station S3 en face du rejet 2 de la même zone, par rapport à la zone de la corne d'or où les valeurs varient entre 0.1 et 0.2 µg/g. Cela confirme la contamination en Pb de l'herbier du front de mer de Bou Ismail.

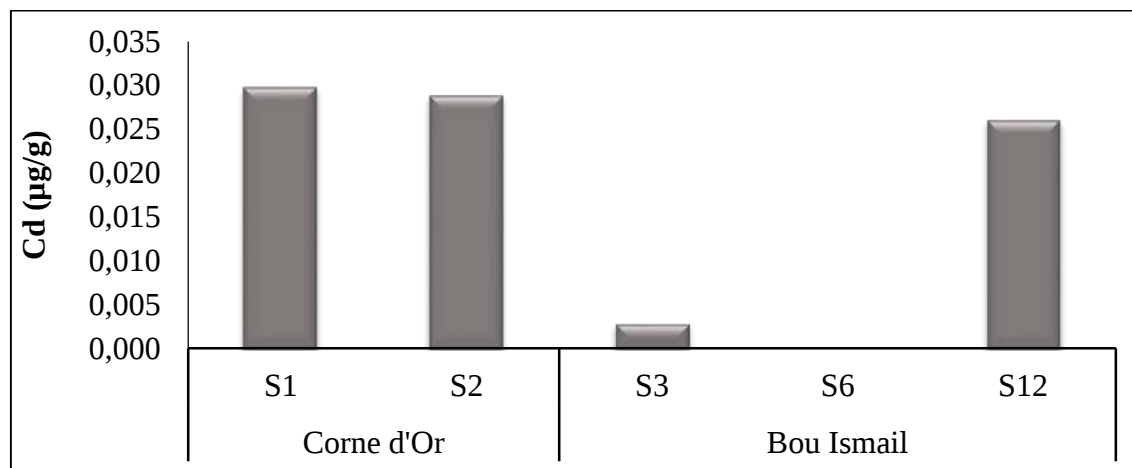


Figure IV.9 : Concentrations en Cd exprimées en µg/g dans les rhizomes de *Posidonia oceanica* de la Corne d'Or et le front de mer de Bou Ismail.

❖ Quant à l'accumulation de la posidonie en Cd, elle semble se faire au niveau de la station S12 à 15m de profondeur (0.026 µg/g) loin des deux rejets, et quasiment pas au niveau de la station S6 de Bou Ismail en face du rejet 1. Pour la station S3 en face du rejet 2 une faible valeur est enregistrée (0.003 µg/g) cela s'opère aussi pour le sédiment.

La variabilité entre les teneurs en métaux, est due à l'utilisation préférentielle de la posidonie de l'oligo-élément qu'est le Zn pour son développement, alors que le Pb et le Cd, sont mémorisés seulement.

Ainsi nous avons pu établir le degré de contamination des stations pour chaque métal et nous avons obtenu les résultats présentés dans le tableau IV.4.

Les rhizomes de posidonie de la station S6 de Bou Ismail, ont accumulés beaucoup de Zn et dans une moindre mesure le Pb provenant du rejet 1, alors que le Cd semble d'être absent.

Tableau IV.2 : Degré de contamination des rhizomes de la posidonie des différentes stations pour chaque métal.

Eléments métalliques	Degré de contamination	
	Bou Ismail	Corne D'or
Zn	S12/ S1/ S6	S2/ S1
Pb	S12/ S3/ S6	S2/ S1
Cd	S6/ S3/ S12	S2/ S1

1.3. Teneurs métalliques chez l'oursin : *Paracentrotus lividus*

Les résultats des teneurs en métaux lourds accumulés chez les oursins communs sont représentés dans la figure suivante :

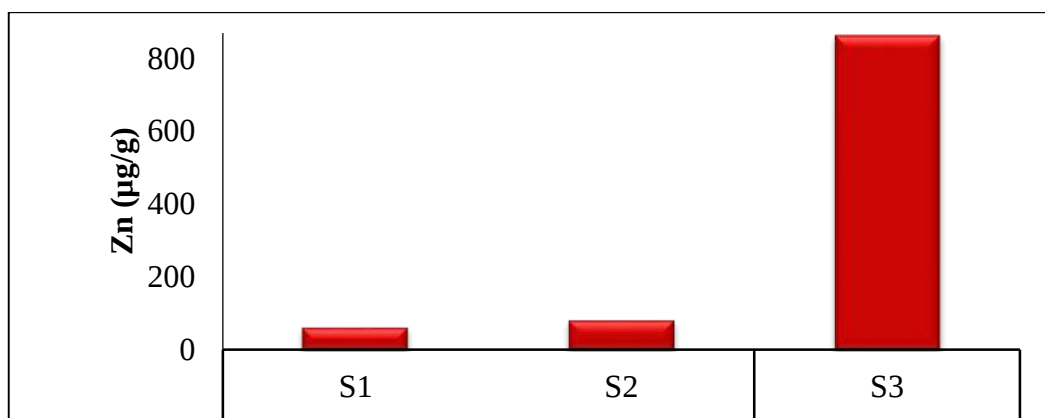


Figure IV.10 : Concentrations en Zn exprimées en µg/g dans les gonades de l'oursin de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.

ND : Concentration Non Détectable, limite de la détection de l'appareil.

- ❖ Le Zn n'est pas un métal toxique, néanmoins, une forte concentration peut engendrer des dérèglements physiologiques dans l'organisme (BELHAFIAN, 2016). Il présente des valeurs qui oscillent entre un maximum de 863.16 $\mu\text{g/g}$ enregistré pour les individus récoltés dans la station S3 de Bou Ismail. Cela correspond bien à des teneurs élevées dans les gonades de l'Oursin comme le montre la figure IV.5.

En ce qui concerne sa distribution (Zn), il intervient probablement dans les phénomènes de calcification (DELMAS, 1992).

Comme le Zn est un élément caractéristique de la pollution urbaine (LAUENSTEIN, 1992 in ROUANE-HACENE, 2013), ces teneurs élevées témoignent donc d'une contamination issue du rejet 2 de l'agglomération de Bou Ismail sans traitement, et du lessivage des terres agricoles renfermant des engrais, des pesticides riches en ces éléments traces métalliques.

En comparant nos résultats avec les valeurs internationales fixées par l'AIEA (67.1 $\mu\text{g/g}$), et les doses admissibles par l'OMS (100 mg/kg) (OMS, 1982 in ROUANE-HACENE 2013). On constate que les oursins dans cette zone sont impropres à la consommation humaine.

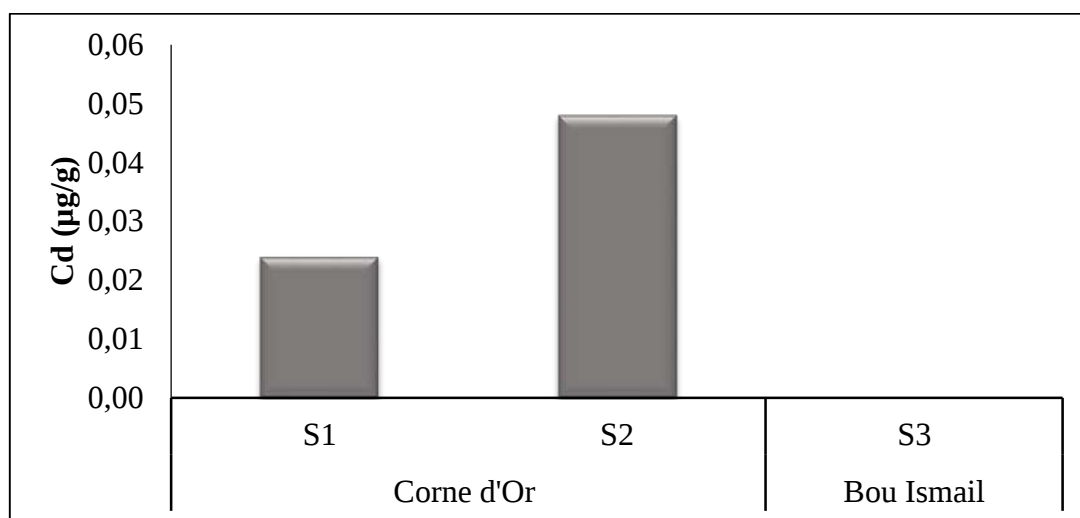


Figure IV.11 : Concentrations en Cd exprimées en $\mu\text{g/g}$ dans les gonades de l'oursin de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.

- ❖ Les résultats d'analyse montrent des valeurs minimales en Cd, la valeur maximale est de l'ordre de 0.048 $\mu\text{g/g}$ enregistrée chez les oursins récoltés dans la station S2, et une valeur minimale de 0.024 $\mu\text{g/g}$ enregistrée chez les oursins récoltés au niveau de la station S1 de la Corne d'Or. Au niveau de la station S3 (Front de mer de Bou Ismail) sur 6 individus d'oursins récoltés le cadmium est inférieur au seuil de détection du spectrophotomètre d'absorption atomique.

Toutefois ces résultats restent relativement faibles et en dessous des valeurs internationales fixées par l'AIEA (0.189 $\mu\text{g/g}$), et inférieurs aussi à la dose maximale recommandée par l'OMS (2 mg/kg de poids sec) pour la consommation humaine (OMS, 1982 in ROUANE-HACENE

2013). On constate donc, une absence de pollution par le Cd dans la zone de la Corne d'or, du fait que cette zone est située loin de toute perturbation d'origine industrielle.

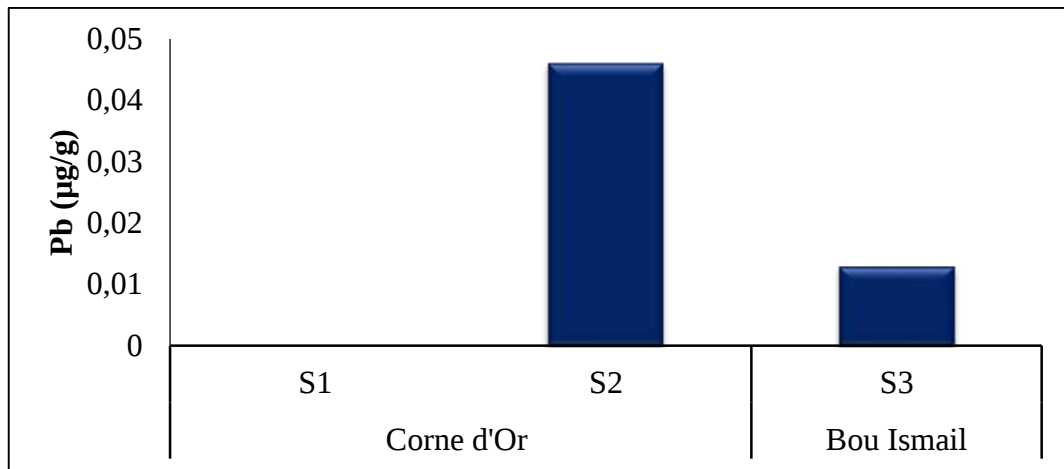


Figure IV.12 : Concentrations en Pb exprimées en µg/g dans les gonades de l'oursin de la Corne d'Or et le Front de mer de Bou Ismail.

- ❖ Le Plomb présente des teneurs faibles. La valeur maximale est de 0.046 µg/g au niveau de la station S2 de la Corne d' Or et la minimale de 0.013 µg/g au niveau de la station S3 de Bou Ismail.

Les valeurs sont élevées au niveau de la Corne d' Or par rapport à celles de Bou Ismail, peuvent être expliquées par le nombre supérieur d'oursins récoltés pour l'analyse environ 12 individus, contre 7 individus au niveau de Bou Ismail. Mais aussi, par les différences de saisons de prélèvements (les oursins de la Corne d'Or ont été prélevés en hiver et ceux de Bou Ismail au printemps). Cette différence de période de prélèvement influe sur la quantité accumulée, étant donné que les gonades femelles accumulent beaucoup plus les métaux en période hivernale que printanière (**DERMECHE, 2010**).

Cependant ces résultats restent tout à fait en dessous de la dose admissible par l'OMS (5mg/kg de poids sec) (**ROUANE-HACENE 2013**). Donc on estime une absence de pollution par le Pb dans les deux zones.

Nous avons pu établir le degré de contamination des stations pour chaque métal et nous avons obtenus les résultats présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.3 : Degré de contamination des gonades de l'oursin commun des différentes stations pour chaque métal.

Eléments métalliques	Degré de contamination
	Corne d'Or et Bou Ismail
Zn	S1/ S2 /S3
Pb	S1/S3/ S2
Cd	S3/ S1/ S2

On remarque que les oursins de la station S3 de Bou Ismail ont accumulé d'importantes quantités en Zn apportées par le rejet 2. Alors que les oursins de la station S2 de la Corne d'Or, présentent les plus importantes teneurs en métaux toxique (Pb, Cd).

1.4. Synthèse des travaux sur la contamination par les métaux en Méditerranée et en Algérie :

Le tableau suivant montrent les valeurs des métaux-traces trouvés dans les gonades des oursins dans certains sites en méditerranée, y compris l'Algérie :

En comparant nos valeurs avec celles des travaux antérieurs, nous remarquons que :

Les concentrations en Cd dans les gonades restent en dessous sur le littoral Algérien, notamment au niveau de Mostaganem et Ghazaouet, par contre elles sont comparables à celles de Beni Saf et Tlemcen.

Dans d'autres régions de la méditerranée, la France le Liban et l'Italie, les valeurs obtenues sont considérablement inférieures.

Les concentrations en Pb sont inférieures à celles trouvées en France et plus ou moins similaires à celles trouvées en Italie. Par rapport aux résultats obtenus en Algérie, ils sont au-dessous de : Thalasso de Sidi Fredj, Tipaza, port d'Oran et Alger ; y compris le front de mer de Bou Ismail en 2012.

Les concentrations du Zinc de Bou Ismail, apparaissent les plus abondantes dans les gonades de l'oursin, en comparaison avec certains pays de la méditerranée et avec d'autres régions en Algérie. On estime une augmentation dans le Front de mer de Bou Ismail par rapport à l'année 2012.

Par contre les concentrations obtenues dans la Corne d'Or, sont comparables avec celles de Jean Bart (Zemmouri), Ain Defla (Oran).

Tableau IV.4 : Concentrations maximales en métaux-traces dans les gonades de l'oursin commun reportés dans divers sites en méditerranée

ETM	Max BI	Max CD	Valeurs	Références dans la littérature	
				Villes	Auteurs
Cd	ND	0,048	0,52-2,31	Parc national de Port-Cros	Auguier et al., 1987
			0,10-0,67	Marseille	Auguier et al., 1989
			<0.3	La Couronne	Augier et al, 1994
			4,9	Beyrouth	Shiber, 1979 in Augier et al, 1994
			0,1	Italie	Storelli, 2001 in BELHAFIANE, 2016
			0,004	Saidia	FAHSI et CHAFI, 2015
				Honaine	Allam, 2009
			0,023	Beni saf	Benmansour et Hamidou, 2006
			0,001-0,043	Tlemcen	BELHAFIANE, 2016
			0,141	Ghazaouet	Gourmala et Belarbi, 2003
			1.35	Mostaganem	Dermeche, 2010
			0,68±0,02	Ain Defla, Oran	ROUANE-HACENE, 2013
			0,61±0,02	Hadjadj	
			0,33-1,17	Parc national de Port-Cros	Auguier et al., 1987
Pb	0,046	0,013	0,13-3,14	Marseille	Auguier et al., 1989
			0.8	La Couronne	Augier et al, 1994
			0,07	Sardaigne	Chessa et al, 1984
			0,01	Alghero	Chessa et al, 1984
			14.39	Mostaganem	Dermeche, 2010
			10,25	Thalasso, sidi fredj	BOUDJEMEL ET BOUCHELIA, 2012
			13,58	Tipaza	
			17,79	Front de mer de Bou Ismail	
			20,25	Jean bart	
			6,07±1,83	Port d'Oran	
			4,85±1,87	Ain Defla, Oran	ROUANE-HACENE, 2013

Zn	863,16	82,91	3,54±1,19	Hadjadj	Guendouzi et al, 2015
			31,64	Alger	
			403	La Couronne	Augier et al, 1994
			103,8	Italie	Storelli, 2001 in BELHAFIANE, 2016
			68,14	Honaine	Allam, 2009
			0,38-4,35	Tlemcen	BELHAFIANE, 2016
			7,13	Ghazaouet	Gourmala et belarbi, 2003
			51,95	Thalasso, sidi fredj	BOUDJEMEL ET BOUCHELIA, 2012
			47,27	Tipaza	
			62,74	Front de mer de Bou Ismail	
			71,49	Jean bart	
			114,93±3,59	Port d'Oran	ROUANE-HACENE, 2013
			66,23±2,11	Ain Defla, Oran	
			56,22±3,59	Hadjadj	
			90,34	Corne d'or	Tarmoul, 2010
			187,48	Bou Ismail	

Les valeurs du plomb et du cadmium obtenues sur les rhizomes de la posidonie des deux zones, sont nettement inférieures à celles trouvées en Algérie. Mais comparables à celles de Thalasso de Sidi Fredj.

Même chose que dans la zone de Bou Ismail, où on remarque que les valeurs ont clairement diminué pour le plomb et le zinc. Cela est peut-être dû au nombre réduit de rhizomes analysés, vu les moyens de laboratoire.

Pour la Corne d'Or, les concentrations du Zinc sont comparables à celles de Tarmoul (2010).

Le tableau suivant montre les valeurs des métaux-traces trouvés dans les rhizomes de la posidonie en France et en Algérie :

Tableau IV.5 : Concentrations maximales en métaux-traces dans les rhizomes de la posidonie reportés en France et en Algérie.

ETM	max BI	max CD	Références dans la littérature		
			Valeurs	Ville	Auteurs
Cd	0,026	0,03	7,1	Corse	PERGENT-MARTINI, 1992
			4,97	Corse	LAFABRI, 2007
			5,56	Canari	
			3,14	Courtiou	
			2,27	Toulon	
Pb	0,512	0,231	7,7	Corse	BOUGEROL, 1993
			510	Corse	GHERRINI, 1993
			12,37	Port-Cros	GHERRINI, 1993
			6,5	Iles de Frioul	PERGENT-MARTINI, 1994
			21,1	Marseille	PERGENT-MARTINI, 1995
			2,67	Corse	LAFABRI, 2007
			1,47	Canari	
			3,23	Courtiou	
			5,57	Toulon	
			9,15	Thalasso, Sidi Fredj	BOUDJEMEL ET BOUCHELIA, 2012
			9,24	Tipaza	
			7,79	Front de mer	
			4,7	Jean bart	
			30,94	Alger plage	GUENDOUIZI, 2015
			31,79	Rais Hamidou	
Zn	33,812	30,358	51,95	Thalasso, Sidi Fredj	BOUDJEMEL ET BOUCHELIA, 2012
			47,27	Tipaza	
			62,74	Front de mer	
			71,49	El Marsa (ex Jean Bart)	
			81,22	Alger plage	GUENDOUIZI, 2015
			84,21	Rais Hamidou	
			37,17	Corne d'or	TARMOUL, 2010
			71,1	Bou Ismail	

Les valeurs du plomb et du cadmium obtenues dans le sédiment des deux zones d'études, sont nettement inférieures à celles trouvées sur le littoral Algérien. Mais comparables à celles de Thalasso de Sidi Fredj. Pour le Zinc les valeurs sont supérieures à celles trouvées en Algérie sauf pour la baie d'El Djamila. Une augmentation est constatée dans le front de mer de Bou Ismail par rapport à l'étude de 2012, par contre une diminution, par rapport à l'étude de TARMOUL de 2010.

Il s'est avéré que, le sédiment du front de mer de Bou Ismail, contient des teneurs considérablement faibles en métaux-traces, en les comparants avec le sédiment d'autres régions de l'Algérie. Ils sont aussi faibles par rapport à l'étude de 2010 qui a eu lieu sur la même zone.

Le tableau suivant montre les teneurs en métaux-traces dans le sédiment :

Tableau IV.6 : Concentrations maximales en métaux-traces dans le sédiment.

ETM	max BI	max CD	Références dans la littérature		
			Valeurs	Ville	Auteurs
Cd	0,03	0,021	0.17	Alger	GUENDOUZI ET AL, 2015
			1.5	Skikda	GHEDDAH, 2003
			0.71	Thalasso Sidi Fredj	BOUAZIZ ET DJARARI 2010
			< 3	Alger plage	GUENDOUZI, 2011
			< 3	Rais Hamidou	
Pb	3,13	3,95	38.1	Alger	GUENDOUZI ET AL., 2015
			36,5-145	Skikda	GHEDDAH, 2003
			18.3	Baie el Djamila	TARMOUL, 2014
			22.3	Thalasso, Sidi Fredj	BOUAZIZ ET DJARARI 2010
			21,38 ± 1,01	Alger plage	GUENDOUZI, 2011
			38,10 ± 7,57	Rais hamidou	
			7.49	Thalasso, Sidi Fredj	BOUDJEMEL ET BOUCHELIA, 2012
			14.58	TIPAZA	
Zn	53,972	23,842	175.87	Skikda	GHEDDAH, 2003
			91.9	Baie El Djamila	TARMOUL, 2014
			46.61 ± 0.71	Alger plage	GUENDOUZI, 2011
			46.25	Thalasso, Sidi Fredj	BOUDJEMEL ET BOUCHELIA, 2012
			42.6	Tipaza	
			42.6	Front de mer Bou Ismail	
			3.1	EL Marsa (ex jean Bart)	
			56.38	Front de mer Bou Ismail	TARMOUL, 2010
			58.04	Thalasso Sidi Fredj	

I.5.Bioconcentration des ETM

Les histogrammes suivants montrent la bioaccumulation et la bioamplification des ETM dans nos deux principales matrices biologiques dans les deux zones d'étude.

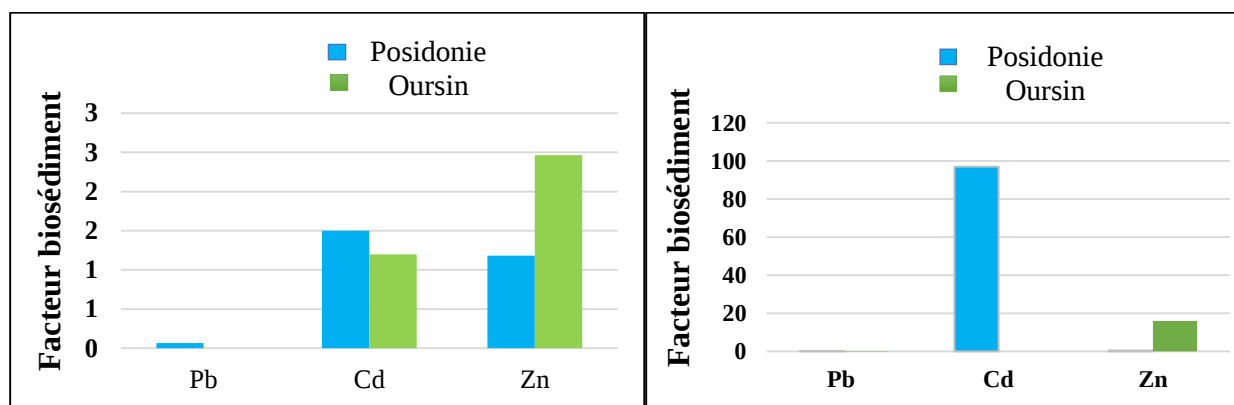


Figure IV.13 : Facteur bio-sédiment dans la zone de Bou Ismail (à gauche) et Corne d'Or (à droite).

Pour Zinc (Zn) ce métal montre une bioamplification dans la chaîne alimentaire, dans les deux zones. En effet, le facteur bio-sédiment est plus élevé dans l'oursin *Paracentrotus lividus*. Le Zn présente des valeurs élevées dans le front de mer de Bou Ismail par rapport à la Corne d'Or.

Pour le Cadmium (Cd), celui-ci présente un facteur plus élevé dans l'herbier à Posidonie par rapport à l'oursin ce qui justifie une bioaccumulation dans les rhizomes et une absence de bioamplification de cet ETM. Cela confirme l'hypothèse posée.

Pour le Plomb (Pb), le facteur bio-sédiment est très faible dans les deux zones, mais toujours est-il, dans l'herbier à Posidonie il est supérieur à celui de l'oursin *Paracentrotus lividus*. Cela confirme notre hypothèse.

Il n'y a pas une bioamplification du Pb et du Cd dans la chaîne alimentaire, en raison de la capacité des organismes aquatiques à la régulation et au maintien de leur concentration en ETM constante par rapport au milieu externe fluctuant (LACAZE, 1996).

2. Eléments nutritifs

2.1. Nitrites et nitrates

Les résultats obtenus après l'analyse des nitrites, sont illustrés dans l'histogramme suivant :

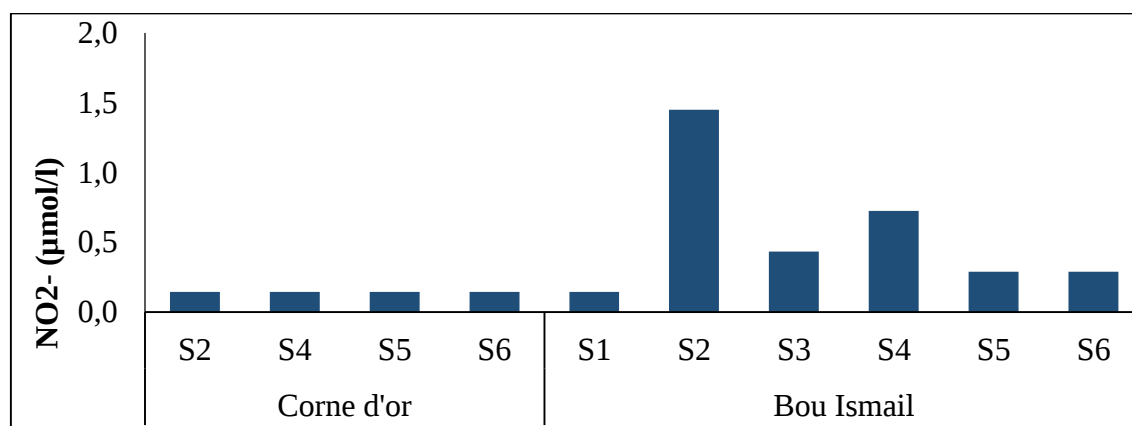


Figure IV.14 : Distribution des nitrites dans les deux zones d'études.

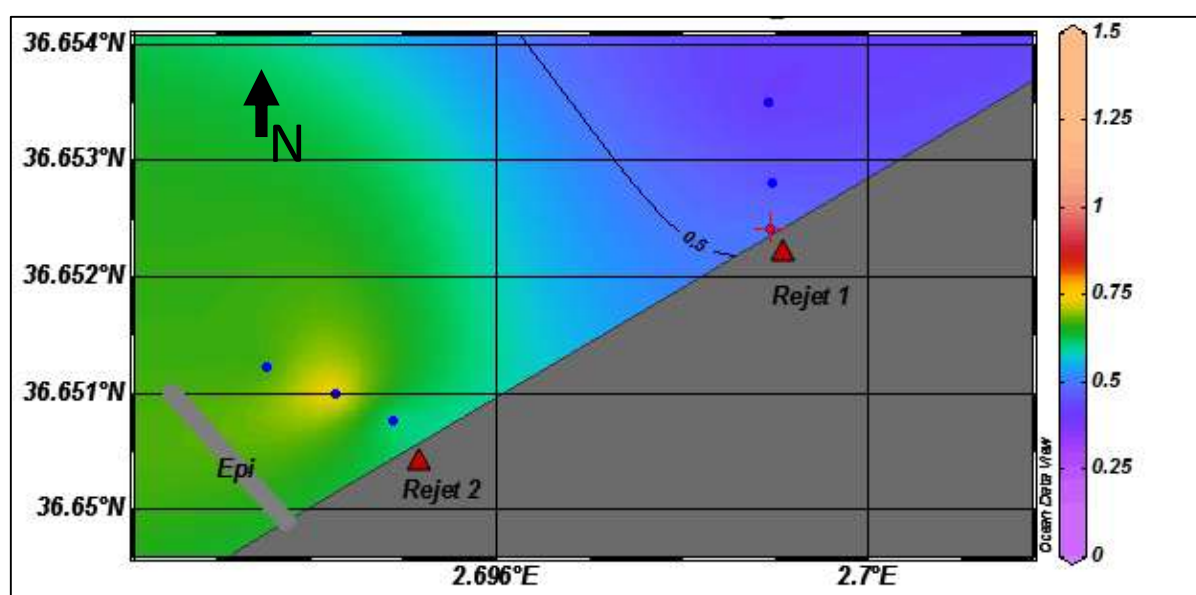


Figure IV.15 : Distribution horizontales des nitrites (µmol/l) dans les eaux de surface de la zone de Bou Ismail.

Les nutriments causent de majeurs dans l'environnement aquatique, l'azote reste la cause majeure dans l'environnement marin (WEIS, 2015).

Dans la zone de Bou Ismail, les teneurs en nitrites varient entre un minimum de 0,14 µmol/l dans la station S1 et un maximum de 1,44 µmol/l dans la station S2 : l'unique station qui dépasse les normes 1 µmol/l (AMINOT et CHAUSSPIED, 1983). Ceci est peut-être dû à une source polluante en nitrite, provenant du rejet 2 (figure IV.8).

Les faibles valeurs rencontrées, pourraient être expliquées par le fait que l'ion nitrite est un composé intermédiaire, dont la concentration est généralement très inférieure à celle des deux formes qui lui sont liées à savoir l'ammonium et les nitrates (THOMAS, 1985).

Dans la zone de la Corne d'Or les concentrations sont similaires entre elles, de l'ordre de 0,14 $\mu\text{mol/l}$. Elles sont inférieures aux normes, ceci est dû au comportement naturel des nitrites dans l'eau de mer. Ces derniers sont oxydés par les bactéries nitrifiantes les transformant en nitrates. Cela peut traduire aussi l'absence de source de pollution en nitrite.

Les concentrations des nitrates obtenues sont représentées dans l'histogramme ci-dessous :

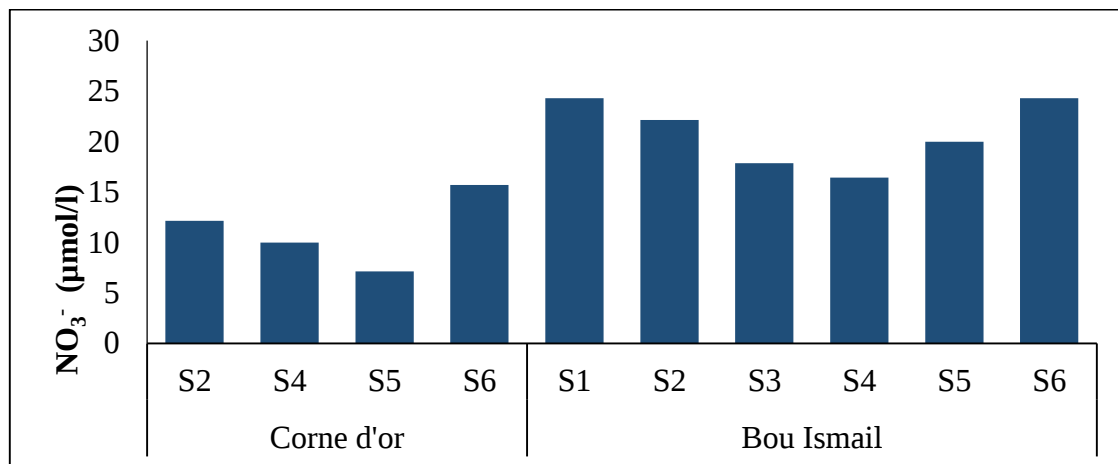


Figure IV.16 : Distribution des nitrates dans les deux zones d'études.

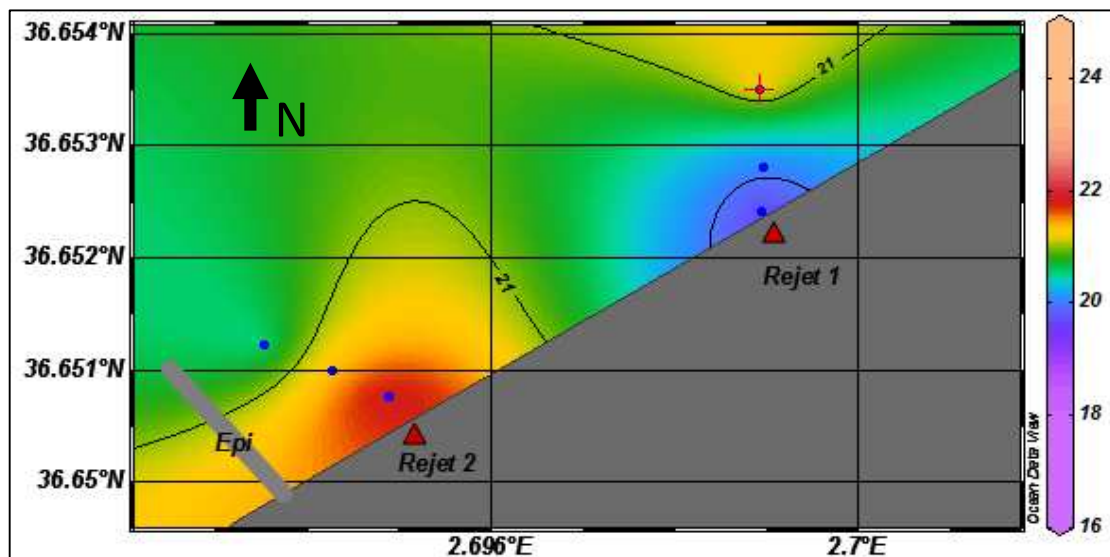


Figure IV.17 : Distribution horizontales des nitrates ($\mu\text{mol/l}$) dans les eaux de surface de la zone de Bou Ismail.

D'après la figure IV.9, on voit clairement que la zone de Bou Ismail est plus chargée en nitrates. En effet, les concentrations varient entre un minimum de 13,16 $\mu\text{mol/l}$ et un maximum de 20,34 $\mu\text{mol/l}$, très supérieures à la norme de 1 $\mu\text{mol/l}$ (AMINOT et KIROUEL, 2004).

Cet ensellement est peut être dû à un apport en matières organiques, qui s'est dégradés en matières minérales entre autre les nitrates. Mais éventuellement dû à la pluie qui a eu lieu juste avant notre sortie sur terrain, probablement à l'origine d'un apport massif en nitrates, par le drainage des terres agricoles provoquant un brassage des eaux et de très importants détritux entassés sur les plages.

Pour ce qui est du maximum rencontré dans la station 1 au niveau du rejet 2 (couleur rouge, figure IV.10), il est tout à fait normal, vu qu'il y a un apport constant d'eaux industrielles et usées chargées en matières en suspension, matières organiques et engrais chimiques liés à leurs utilisations intensives dans les terrains agricoles. Ce maximum coïncide aussi avec le minimum des nitrites de la même station, ce qui explique l'oxydation des nitrites en nitrates.

Dans la zone de la Corne d'Or les concentrations varient entre un minimum de 7,14 $\mu\text{mol/l}$ et un maximum de 15,71 $\mu\text{mol/l}$. Ces concentrations nettement supérieures à la norme (1 $\mu\text{mol/l}$) (AMINOT et KIROUEL, 2004) sont dues aussi à la pluie qui a pu provoquer un brassage des eaux et au courant de fond observé lors de notre plongée, ceci a probablement remis en suspension les nitrates accumulés au préalable dans le sédiment.

2.2. Orthophosphates

La figure suivante (figure IV.18) montre la distribution des ortho phosphates dans les deux zones d'étude.

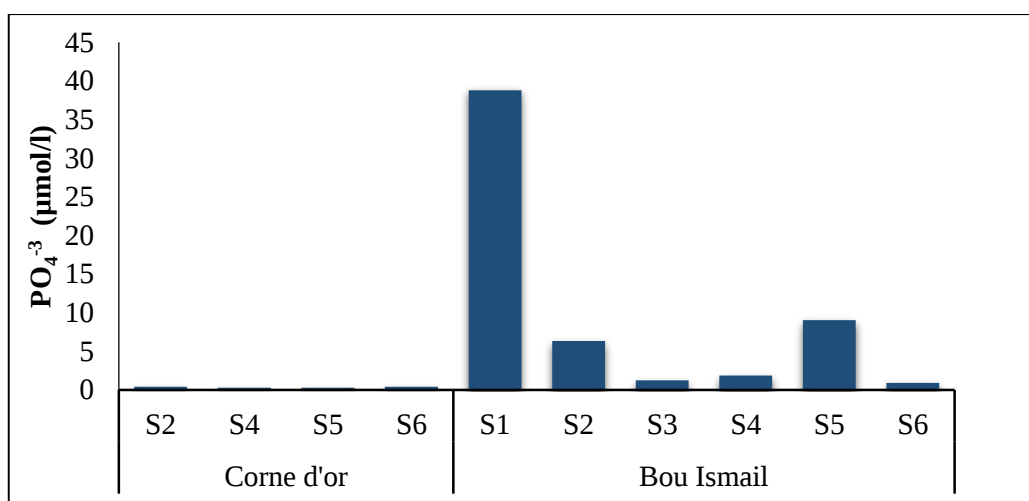


Figure IV.18 : Distribution des orthophosphates dans la Corne d'Or et le Front de mer et de Bou Ismail.

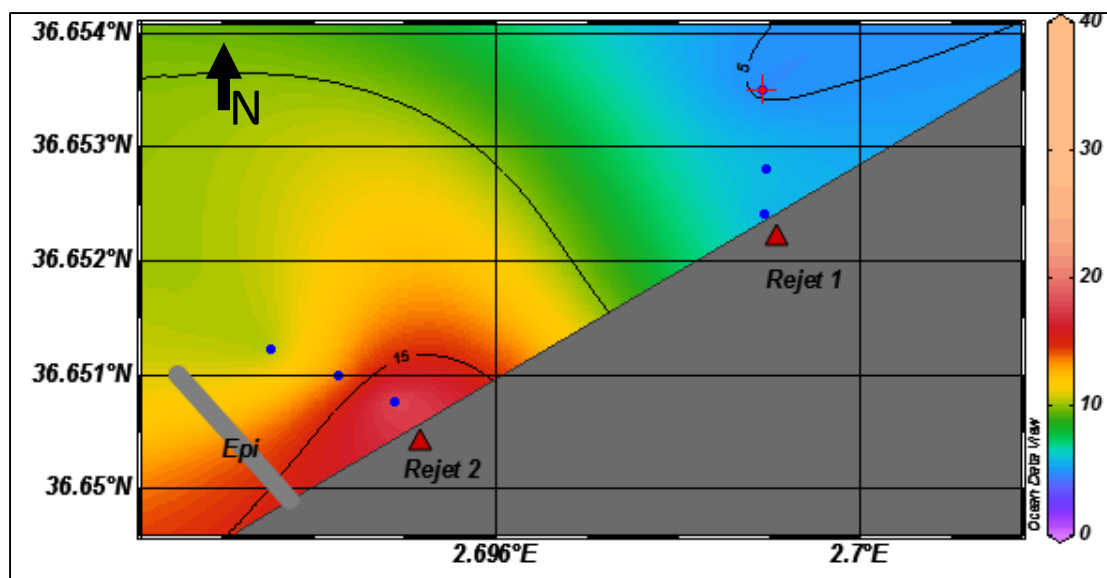


Figure IV.19 : Distribution horizontales des orthophosphates ($\mu\text{mol/l}$) dans les eaux de surface de la zone de Bou Ismail.

Le phosphore dans le milieu marin sous sa forme inorganique est présenté essentiellement par les ions orthophosphates.

Les valeurs obtenues au niveau de la Corne d'Or, sont autour d'une moyenne de $0.33 \mu\text{mol/l}$, alors que dans le Front de mer de Bou Ismail elles sont autour de $9.96 \mu\text{mol/l}$.

La valeur maximale qui est de $38.78 \mu\text{mol/l}$ se situe dans la station S1 de Bou Ismail à proximité du rejet 2.

Les eaux de surface de la Corne d'Or présentent des concentrations faibles ($<0,4 \mu\text{mol/l}$) ceci est tout à fait normal si on tient compte de la concentration des orthophosphates d'une eau côtière non polluée se situant entre 0 et $1 \mu\text{mol/l}$ (**AMINOT et CHAUSSPIED, 1983**). Ces faibles valeurs indiquent l'importance de l'activité photosynthétique qui les épuise dans cette période de l'année au même titre que les nitrites.

Concernant la forte valeur des orthophosphates (couleur rouge, figure IV.12) recensée au niveau du rejet 2 de Bou Ismail, elle coïncide avec les valeurs relativement fortes en sels azotés (NO_3^-) et les faibles valeurs de l'oxygène dissous. Cela peut être dû au lessivage des terres cultivées retenant engrais chimiques phosphatés ou traitées par certains pesticides (**RODIER, 1996**) et/ou les apports urbains chargés en détergents anioniques riches en polyphosphates apportés par le rejet 2. Les apports de ce rejet peuvent être à l'origine d'une eutrophisation très nocive pour l'herbier à posidonie.

2.3. Silicates

La figure ci-dessous représente la distribution des silicates dans les différentes stations, pour les deux zones d'étude.

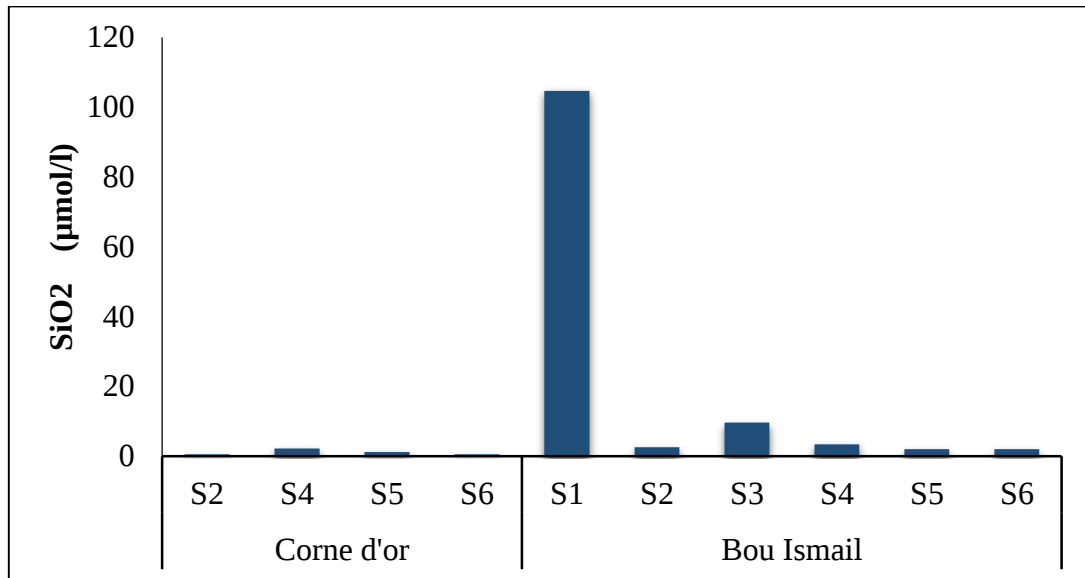


Figure IV.20 : Distribution des silicates dans la Corne d'Or et le Front de mer et de Bou Ismail.

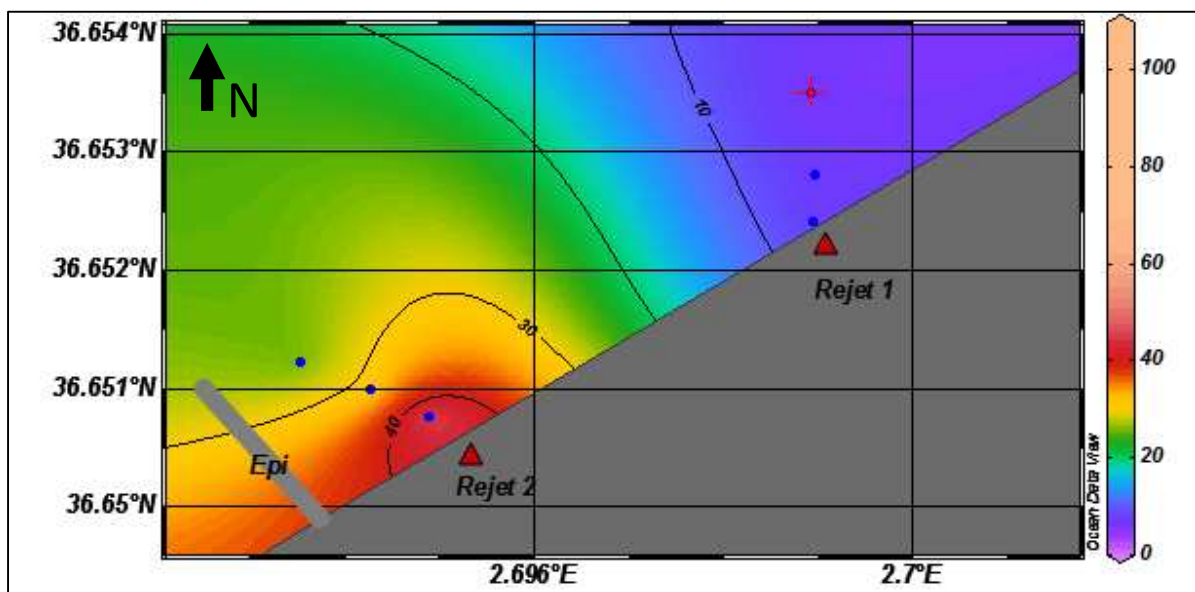


Figure IV.21 : Distribution horizontale des silicates (μmol/l) dans les eaux de surface de la zone de Bou Ismail.

Les résultats de l'analyse montrent des concentrations très faibles en silicates dans la zone de la Corne d'Or avec une moyenne de 1.15 μmol/l contre 20.73 μmol/l au niveau de Bou Ismail.

La concentration dans la zone de Bou Ismail varie entre un minimum de 2.07 μmol/l au niveau de la station S5 et S6 à proximité du rejet 1 et un maximum de 104.65 μmol/l au niveau de la

station S1 à proximité du rejet 2. Les valeurs importantes à proximité de ce rejet (couleur rouge, figure IV.14), s'expliquent probablement par des apports riches en silicates, provenant de l'industrie de la céramique et de poteries (TERRA Céramique voir tableau II.3) présente dans le bassin versant de la zone. Mais peut s'expliquer aussi par un apport tellurique par lessivage des sols et altération des roches silicatées vu qu'il a plu le jour précédant la sortie.

Après avoir comparé nos résultats avec ceux des études précédentes concernant la même zone, on remarque que :

Les teneurs en phosphates et en nitrates sont élevées par rapport à celles obtenues par **TARMOUL (2010)** ($\text{NO}_3^- = 1.5 \mu\text{mol/l}$; $\text{PO}_4^- = 12 \mu\text{mol/l}$).

Par contre pour les nitrites et les silicates, ils ont diminué ($\text{NO}_2^- = 2.1 \mu\text{mol/l}$ $\text{SiO}_2^- = 160 \mu\text{mol/l}$) (**TARMOUL, 2010**).

Les concentrations trouvées par **BOUDJEMEL ET BOUGHELLLA en 2012** dans le front de mer de Bou Ismail sont supérieures aux nôtres pour les nitrites et inférieures pour les orthophosphates qui étaient de $0,26 \mu\text{mol/l}$, les nitrates qui étaient de $0,39 \mu\text{mol/l}$ ainsi que légèrement pour la silice qui avait une valeur de $18,96 \mu\text{mol/l}$.

Pour **DAOUDI et HASNA (2015)** les valeurs des nitrates sont en dessous des nôtres, avec un maximum de $1,58 \mu\text{mol/l}$ et de $0,120 \mu\text{mol/l}$ dans la zone de la Corne d'or.

Pour les nitrites nous avons des valeurs qui dépassent de peu celles de **DAOUDI et HASNA (2015)** le maximum est de $0,72 \mu\text{mol/l}$ dans la zone de Bou Ismail.

Pour les phosphates, ils ont un maximum de $0,86 \mu\text{mol/l}$ largement inférieures aux nôtres qui sont obtenus près du rejet 2 dans la zone de Bou Ismail.

Pour le silicium la teneur maximale est de $7,66 \mu\text{mol/l}$ sont inférieure aux nôtres, dans la zone de Bou Ismail.

Nous pensons probablement que cette différence doit être en rapport avec l'appareil thermo scientifique Aquakem de L'A.N.R.H utilisé dans notre étude. Cela peut être dû aussi, à des travaux d'aménagements récents et à un amoncellement plus important sur les plages des restes de matériaux de construction et de déchets d'origines domestiques par rapport aux années précédentes.

3. Les matières en suspensions

Les matières en suspension présentes dans la colonne d'eau, qu'elles soient minérales ou organiques, ont un fort impact sur le fonctionnement des écosystèmes côtiers. Les MES minérales influencent la pénétration de la lumière, déterminante pour la production primaire et l'activité biologique (**DAVIES-COLLEY et SMITH, 2001**).

Les résultats des MES obtenus sont représentés par le tableau IV.10 et la figure IV.22

Tableau IV.7 : Valeurs extrêmes, moyennes et écarts types des MES dans la zone de Bou Ismail et la Corne d'or.

Paramètres	MES (mg/l)	
Zone	Bou Ismail	Corne d'Or
Moyenne	108,70	70,07
Min	5,66	12,60
Max	264	120,35
Ecart type	82,49	54,23
Norme	0,5-5 (AMINOT <i>et al</i> , 1983)	

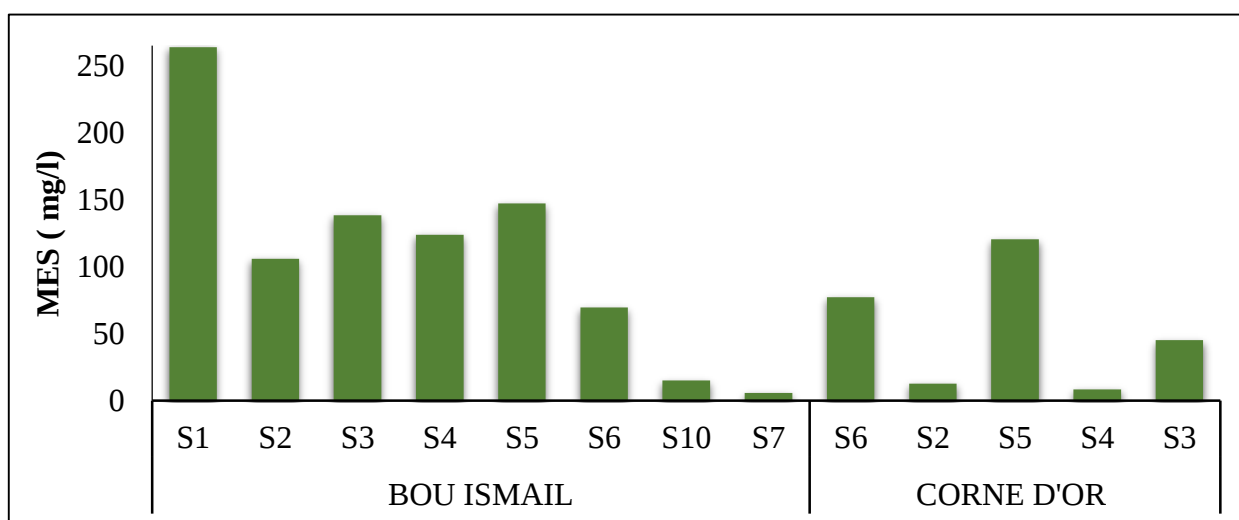


Figure IV.22 : Concentrations en MES dans la zone de Bou Ismail et la Corne d'Or.

Les concentrations en MES dans la zone de Bou Ismail varient entre un minimum de 5,66 mg /l au niveau de la station S10 et un max de 264 mg/l dans la station S1 au niveau du rejet. Les stations près du rejet sont caractérisées par une présence de fortes concentrations en matières en suspension alors que les stations loin du rejet, ont des concentrations plus ou moins faibles.

Les concentrations élevées près des côtes surtout à proximité du rejet 2 sont dues aux apports d'eaux urbaines de la ville sans traitement au préalable, mais aussi à la faible profondeur, la faible agitation lors de nos prélèvements et aussi à la présence d'un épi qui empêche la circulation des eaux et augmente ainsi par accumulation la concentration en matières en suspension.

Les stations S7 et S10 loin du rejet présentent des teneurs en matières en suspension qui diminuent fortement mais restent toujours supérieures aux normes, ceci est dû à la dilution au fur et à mesure que l'on s'éloigne des rejets.

En ce qui concerne la zone de Corne d'or les stations 1 et 3 sont chargées en MES ceci est probablement lié à la présence de débris de végétaux et divers déchets physiques dans la zone d'étude. Il faut noter aussi que les stations choisies n'étaient pas loin de la côte. Dans la station 3 des travaux d'aménagement d'un nouveau complexe sont en cours de réalisation et de ce fait des remblais ont pu pénétrer dans l'eau. La station 2, présente la valeur la plus faible.

Ces matières en suspension ne sont pas sans effet ; proportionnellement à leurs quantités elles rendent les eaux turbides. Leurs caractéristiques nocives principales font qu'elles empêchent la pénétration de la lumière en réduisant la photosynthèse ce qui affecte la flore marine en particulier le phytobenthos notamment la plante *Posidonia oceanica*. Ces matières sont des transporteurs de bactéries, de métaux-traces, de polluants fertilisants et donc contrôlent bien la biodisponibilité des micropolluants (LACAZE, 1996).

4. La matière organique

Les résultats obtenus pour la matière organique sont représentés ci-dessous par le tableau IV.11 et la figure IV.11 :

Tableau IV.8 : Valeurs extrêmes, moyennes et l'écart types du taux de la matière organique dans la zone de Bou Ismail et la Corne d'or

Paramètres	Taux de MO	
Zone	Bou Ismail	Corne d'or
Moyenne	93,35	85,79
Min	64,86	63,61
Max	99,64	99,92
Ecart type	17,12	15,67

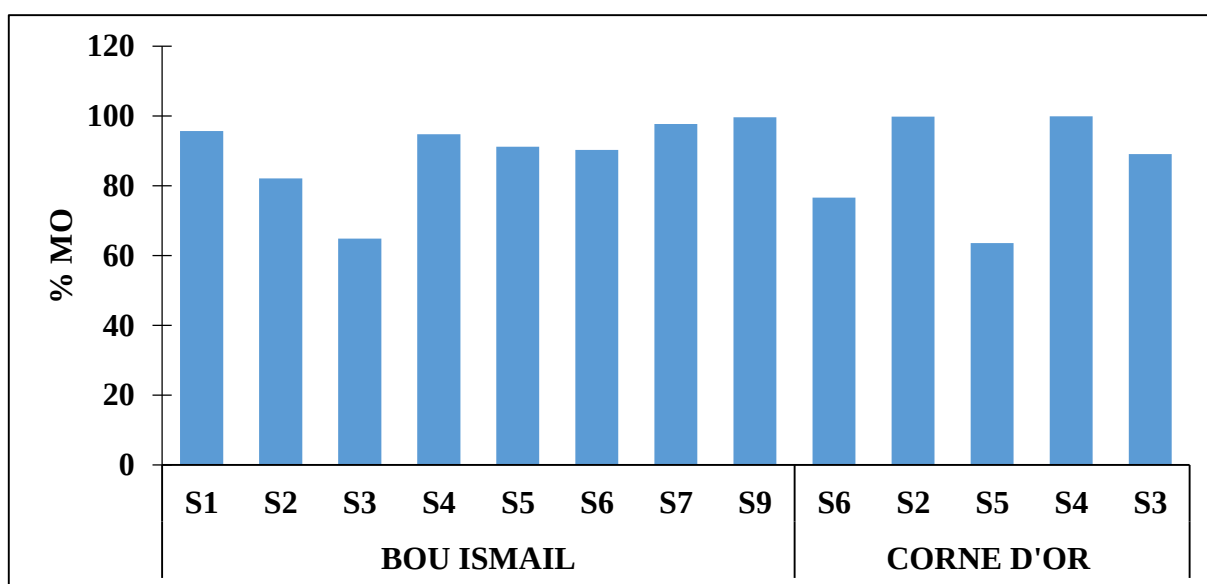


Figure IV.23 : Taux de matière organique dans la zone de Bou Ismail et la Corne d'or.

La matière organique dans les deux zones est assez élevée, elle présente une moyenne de 93,35 % dans la zone de Bou Ismail et une moyenne de 85,79 % dans la Corne d'Or. Cela confirme l'activité anthropique qui se trouve dans la zone de Bou Ismail (présence de rejets domestiques). Ces derniers représentent approximativement plus de la moitié des MES, donc il y a un apport important en matière organique par les rejets de cette zone.

Dans la zone de la Corne d'Or, ces importantes valeurs peuvent refléter l'apport des rejets d'eau domestique qui se déversent directement dans l'anse et au développement du phytoplancton (période printanière). Mais aussi la remise en suspension des particules organiques par l'hydrodynamisme, qui n'ont probablement pas trouvé le temps de s'oxyder vu la faible profondeur. L'oxydation de cette matière organique en surplus peut entraîner une désoxygénation voire l'anoxie ainsi qu'à la destruction des peuplements benthiques, mais dans notre cas les valeurs de l'oxygène dans la Corne d'Or restent élevées (sursaturation) ce qui traduit le bon état de la zone.

5. Oxygène dissous

Après l'analyse de l'oxygène dissous par la méthode de Winkler, on a pu calculer, le taux de saturation de surface dans les deux zones, les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.9 : Taux d'oxygène dissous dans la zone de Bou Ismail et la Corne d'Or.

Zone	Stations	O2(%)
Front de mer de Bou Ismail	S7	109,699
	S8	83,793
	S9	120,016
	S10	105,891
	S11	105,910
Corne d'Or	S3	106,643
	S4	111,706
	S7	101,580

A Bou Ismail, les stations S7, S9, S10 et S11 sont légèrement sursaturées en oxygène dissous, alors que la station S8 est sous-saturée. Il est possible que la sursaturation dans notre cas soit due à : une éventuelle compensation de l'oxygène dissous par l'échange air-mer, l'hydrodynamisme qui diffuse l'oxygène dans toute la zone, la période de prélèvement qui s'est déroulée au début du printemps où les températures sont relativement faibles et la solubilisation de l'oxygène est favorable, et ceci malgré les rejets présents riches en matière organique qui peuvent provoquer la diminution de sa teneur. Pour la sous-saturation obtenue au niveau de la station S8 en face du rejet numéro 1, elle est probablement due à la consommation de l'oxygène dissous par les micro-

organismes qui transforment les matières organiques en matières minérales ainsi qu'à la régénération des sels nutritifs.

Au niveau de la Corne d'Or, toutes les stations sont sursaturées en oxygène dissous cela est vraisemblablement dû à la présence de l'herbier à posidonie prospère surtout dans la station S4, et qui par sa photosynthèse produit de l'oxygène. De plus les prélèvements se sont effectués en début de printemps et dans les premiers mètres de surface où l'influence de l'échange air-mer est importante.

6. Les paramètres vitaux

Le tableau IV.10 récapitule les résultats des paramètres vitaux mesurés dans nos deux zones d'étude.

Tableau IV.10 : Résultats des paramètres vitaux dans les deux zones d'étude

Paramètre vitaux de l'herbier	Bou Ismail	Corne d'Or
Densité (Faisceaux /m ²)	/	795
Déchaussement	/	<5cm
Orientation des rhizomes	/	60%
Recouvrement	38,88 %	82,22 %

Au niveau du Front de mer de Bou Ismail, la densité moyenne, le déchaussement et l'orientation des rhizomes n'ont pas pu être réalisés, à cause des conditions du terrain, et ainsi que des conditions météorologiques.

6.1. Densité des herbiers

La densité moyenne, estimée à partir de 5 comptages est de 795 faisceaux par m². Selon la classification de **Pergent (2007)** l'herbier est de type I et est qualifié d'« Herbier bon » dans la Corne d'Or. Puisque la densité d'un herbier est fortement liée à la disponibilité de la lumière et la transparence de l'eau (**PERGEANT, et al, 1995**), cela confirme l'état de bonne qualité et la transparence des eaux.

Ce paramètre est expliqué en grand pourcentage par la profondeur et le reste par la pollution, l'hydrodynamisme et à la nature de substrat. Or, dans la zone de Bou Ismail un site très anthropisé, on suppose (par observation seulement) que la densité est faible et cela ne peut être dû qu'à la pollution principalement présente sous forme de matières organiques et minérales provoquant une turbidité, atténuant ainsi la pénétration de la lumière et l'hydrodynamisme qu'en témoigne le déchaussement important dans ce qui va arriver.

Pour bien situer l'herbier de la Corne d'Or nous avons comparé nos résultats avec des études faites dans littoral algérien comme l'illustre le tableau IV.14.

La valeur obtenue dans notre étude se rapproche de celles observées dans d'autres sites en Algérie.

Tableau IV.11 : Densités moyennes des herbiers à *Posidonia oceanica* relevées dans la littérature pour différentes localités en Algérie.

Densité (Faisceau /m ²)	Profondeur (m)	Type	Localité	Auteurs
472	2-3	II	Tamenfoust, plage militaire	GHOUL, 1995
422	2-3	II	Cap Carbon	HALLOUCH et KHODJA, 2010
520	2-3	II	Iles de Rachgoun	TEKTEK, 2012
807	5	I	Cap Blanc	KHOUDJA, 2013
798	4	I	Corne d'or	Présent travail, 2017

6.2. Estimation du recouvrement

Le taux du recouvrement moyen calculé à partir de 5 comptages dans la zone du Front de mer de Bou Ismail est de 38.89 % au niveau de la limite supérieure, il est alors classé de recouvrement faible. L'interprétation des résultats est compliquée en raison que le recouvrement est lié à plusieurs facteurs, mais dans notre cas l'importance des activités anthropiques reflète ces résultats, une turbidité importante et une érosion de la plage altérant l'équilibre sédimentaire sont la cause de ce faible recouvrement. Le chalutage et l'ancrage peuvent être des causes secondaires.

Alors que dans la zone de la Corne d'Or, le taux est de 82.22 % et il est considéré comme recouvrement fort pour une limite supérieure selon **CHARBONNEL et al, (2000)**. Ceci traduit le bon état de l'écosystème à posidonie.

La structure morphologique de l'herbier étudié dans la Corne d' Or se présente sous l'aspect de plaines et c'est le cas le plus courant en Méditerranée. La prairie est plus au moins continue, en pente douce.

6.3. Orientation des rhizomes

Le pourcentage des rhizomes plagiotropes calculé dans la zone de la corne d'Or est de 60% et est considéré selon **ROUANET *et al*, (2014)** comme étant fort, ceci traduit la tendance de l'herbier à vouloir coloniser de l'espace.

6.4. Déchaussement

Au niveau de la Corne d'Or il n'y a pratiquement pas de déchaussement, il est de 1cm (< 5cm) alors selon **DENIS *et al*, (2003)** il est considéré comme faible ce qui traduit l'équilibre sédimentaire qui se trouve dans cette plage. Alors que dans la zone de Bou Ismail, le déchaussement est important. De plus la densité faible des faisceaux, la position de la limite supérieur à 7m à Bou Ismail indique la turbidité importante de l'eau. Le déchaussement important, indique le déficit sédimentaire de la zone. En raison de la présence des aménagements qui font augmenter la vitesse de la houle et l'effet inefficace de l'épi assemblé à l'hydrodynamisme modéré qui existe.

Remarque :

On déclare pour la première fois la présence de *Caulerpa racemosa* dans la Corne d'Or.



Figure IV.24 : Récolte de *Caulerpa racemosa* au niveau de la Corne d'Or.

Conclusion

Le déversement direct des rejets dans l'eau de mer conduit à l'augmentation des teneurs en métaux-traces. En effet, les valeurs recensées surtout pour le Plomb et le Cadmium au niveau des différentes matrices étudiées, à savoir le sédiment, la posidonie et l'oursin montrent : l'existence d'une légère contamination en ces éléments par rapport aux études précédentes qui ont eu lieu sur le même site (Front de mer de Bou Ismail). Cela est dû probablement à l'arrêt des déversements des rejets industriels et l'existence seulement de rejets domestiques. Et donc une diminution des apports en métaux-traces lesquels au préalable ont contaminé le milieu marin.

Par contre pour le Zinc des teneurs élevées sont enregistrées dans le site de Bou Ismail, d'où l'existence probable d'une pollution apportée par les rejets présents ; On suspecte les insecticides utilisés dans les terres agricoles occupant le bassin versant.

Les teneurs élevées en éléments nutritifs (orthophosphates et nitrates) indiquent la richesse des sites étudiés en nutriments. Ces derniers sont importés au milieu marin soit par des rejets d'origine urbaine, par lessivage des terres cultivées ou par l'effet d'hydrodynamisme en provoquant l'altération de la qualité des eaux marines.

L'augmentation des concentrations des éléments nutritifs dans la mer favorise la prolifération des algues ainsi que les épiphytes ceci nuit à l'herbier à posidonie et peut être une conséquence à sa régression.

L'altération des sites par ces éléments pourrait être attribuée aux rejets ponctuels et dispersés des eaux usées domestiques, qui n'ont pas encore cessé ni fait l'objet d'aucun traitement au préalable. Les fortes concentrations en phosphates pourraient être expliquées par les rejets de l'industrie SARL PROCHIMAL qui évacue des produits chimiques et des savons. Les faibles valeurs obtenues pour les nitrites et les silicates surtout, peuvent confirmer l'arrêt des rejets de l'industrie TONIC EMBALAGE dans une moindres mesures ceux de TERRA CERAMIQUE.

Les analyses de la matière en suspension et de la matière organique montrent la présence de concentrations élevées provenant probablement de l'accumulation et la décomposition des organismes morts mais aussi des rejets domestiques. Lorsqu'elles sont en excès, elles atténuent la pénétration de la lumière et provoquent la régression de l'herbier comme c'est le cas de Bou Ismail où la limite supérieure a régressé est à -7m.



Conclusion

CONCLUSION GENERALE

Notre étude qui avait comme objectif de contribuer à connaître l'état actuel de la contamination métallique dans la zone de Bou Ismail et de la comparer avec la zone de la Corne d'Or, nous a permis de mettre en évidence la présence de quelques métaux-traces dans la zone d'étude et d'évaluer l'accumulation chez la magnoliphytes *Posidonia oceanica* et une espèce d'échinoderme *Paracentrotus lividus*.

Les conclusions principales que l'on peut tirer de cette étude sont les suivantes :

- ✓ Les teneurs en cadmium et en plomb pour les trois matrices étudiées, ont diminuées de façon importante dans la zone précédemment étudiée, c'est le contraire pour le Zinc.
- ✓ En général, les deux zones ne subissent pas de contamination métallique toxique, mais la zone de Bou Ismail est plus contaminée en Zinc.
- ✓ En se référant à des normes internationales fixées par l'AIEA, il est à noter que les concentrations des métaux étudiés dans les gonades de l'oursin sont au-dessous de la dose maximale admissible(D.M.A) exception faite pour le Zinc qui dépasse largement les normes.
- ✓ Dans les régions de Bou Ismail, la pollution d'origine domestique domine la pollution industrielle, cela est relevé par les fortes charges en matière en suspension, matières organiques et éléments nutritifs par rapport aux faibles teneurs en éléments traces métalliques toxiques (Plomb, Cadmium).
- ✓ Les paramètres vitaux mesurés dans la zone de la Corne d'Or justifient un bon état de santé de l'herbier à posidonie et ce malgré la charge en MES et en quelques éléments nutritifs qui sont peut-être dus à un phénomène périodique.
Or à Bou Ismail malgré le faible taux de contamination en ETM, l'herbier est dégradé à cause des apports importants en MES, MO et éléments nutritifs qui nuisent à l'état de bonne santé et la vitalité de ce dernier.
- ✓ Par leur résistance à la pollution, leur pouvoir élevé de concentration des métaux et leur large distribution, on constate que la posidonie et les oursins constituent de bons indicateurs de la pollution métallique.

L'ensemble de ces résultats reflètent bien les efforts de dépollution des industriels ainsi que de la commune de Bou Ismail.



Recommendations



RECOMMANDATIONS

D'après les résultats que nous avons obtenus, et par rapport aux études déjà effectuées dans les zones considérées, des mesures sont envisageables, pour une meilleure protection :

Bien que dans la Corne d'Or il n'y a pas présence d'une pollution préoccupante, un complexe touristique va voir le jour en été 2018, et par conséquent un audit devrait être élaboré pour apprécier l'impact de cette aménagement sur l'état de l'herbier.

Pour la zone de Bou Ismail la mise en marche de la station d'épuration prochainement prévu, il est ainsi recommandé de faire un suivi sur une éventuelle possibilité de régénération de l'herbier à posidonie, après une amélioration probable de la qualité de l'eau. Pour ce faire une fiche technique a été élaborée, contenant les paramètres à évaluer pour la concrétisation de ce travail.

Présentation du projet

Intitulé du plan d'action : Surveillance de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> en vue de sa protection et son utilisation comme bio-indicateur de la qualité du milieu marin.	Durée prévue : Ouvverte
2. Objectifs : L'évaluation de la qualité du milieu marin côtier par la surveillance de l'herbier à posidonie.	
3. Description du projet Analyses des paramètres vitaux de l'herbier de posidonie : -le taux de recouvrement -la densité -le déchaussement -l'orientation des rhizomes -Analyses biométrique de l'herbier de posidonie : -Coefficient A -Indice foliaires -Lépidochnologie - Longueur et largeur des feuilles -Balisage de la limite inférieure de l'herbier à posidonie Analyse chimique : -Analyse des métaux-traces dans <i>Posidonia oceanica</i>, l'oursin commun <i>Paracentrotus lividus</i> et la sape <i>Sarpa salpa</i>. - Analyse des pesticides dans <i>Posidonia oceanica</i>, l'oursin commun <i>Paracentrotus lividus</i> et la	

saupe *Sarpa salpa*.
 - Analyse des hydrocarbures dans la saupe *Sarpa salpa*.
 - Analyse des sels nutritifs, des matières en suspension et de la matière organique dans l'eau.

4. Résultats attendus

Des résultats sur l'évolution de la pollution ou sa régression ;
 Des résultats de l'impact de la pollution sur l'herbier ;
 Des résultats sur l'état et la qualité du milieu où baigne la posidonie ;
 Des résultats sur la pollution ancienne dans le milieu où se trouve l'herbier

II/ Moyens de réalisation des projets

1. Moyens matériels pour la réalisation des projets :

Désignation
→ Embarcation → Matériel de plongé (scaphandre, Palmes masque, combinaison) → Profondi-mètre → Camera sous-marine → Quadra → Plaque en PVC → Balise → Autoanalyseur San ++ → SAA → Rampe de filtration

3. Moyens humains

Personnel	Fonction	Nombre
Ingénieurs	Analyse biométriques et analyses chimiques (SN, ML, MES, MO)	02
Plongeurs	Analyse des paramètres vitaux et prélèvement du biote et du sédiment	02 (au moins P2/P2 ou P2/P1)
Technicien	Mesure des paramètres physico-chimiques et prélèvement d'eau	01



Références bibliographiques

Références bibliographiques

AGENCE NATIONAL DES RESSOURCES HYDRAULIQUE ANRH, (2017). Données des débits volumique annuelle (1980-2006) du Oued de Mazafran.

ALZIEU, Claude (1999). *Dragages et environnement marin : état des connaissances* [en ligne]. France : Ifremer. [Consulté le 10/06/2017]. Disponible sur le web : <archimer.ifremer.fr/doc/1999/rapport-1040.pdf>.

AMARA, Rachid (2010). Impact de l'anthropisation sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes marins exemple de la Manchemer du nord .*Vertigo la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Hors-série 8 | octobre 2010, [consulté le 18/03/ 2017]. Disponible sur le web : <<http://vertigo.revues.org/10129> ; DOI : 10.4000/vertigo.10129>.

AMINOT, A., CHAUSSEPIED M., (1983). *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. France : CNEXO, 395 p.

AMINOT, A., KEROUEL, R., (2004). *Hydrologie des ecosystèmes marin paramètres et analyses*. France : IFRMER, 335 p.

ANDROMEDE, (2012). Surveillance de l'herbier de posidonie : rapport d'activité. Document non publié. France : ANDROMEDE.

ANONYME, (2009). Plan Bleu : Etat de l'environnement et du développement en Méditerranée : Rapport d'activité. Document non publié. Athènes : PNUE/PAM-Plan Bleu.

ANONYME, (2009a). Pollution thermique. In : *l'encyclopédie du développement durable*. p.100.

ANONYME, (2006). *Priority issues in the Mediterranean environment*. N° 4. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, p.88.

ANONYME (2017). Pollution et tourisme [en ligne]. [Consulté le 2017-04-16]. Disponible sur le web : <<https://www.greenpeace.fr/pollution-et-tourisme/>>.

ANONYME (2012). Pollution Hot Spots along the Mediterranean Coast — European Environment Agency [en ligne]. [Consulté le: 16/04/2017]. Disponible sur le web : < <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/pollution-hot-spots-along-the-mediterranean-coast> >.

ARMELLE, Sabine (2012). *Ecosystème aquatique et pollution par les métaux toxiques*. Allemagne : édition universitaires européenne, p.20.

ASSO, A. (1982). *Contribution à l'étude de polluants métalliques chez la moule Perna perna dans la région d'Alger*. Thèse 3ème cycle. Oceano, bio. France : Université science et technique, 316 p.

AUBERT, AUBERT J. (1973). *Pollutions marines et aménagement des rivages*. France : C.E.R.B.O.M, 309 p.

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

Références bibliographiques

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*. Vol.7, p.85-113.

AUGIER, H., BOUDOURESQUE, CH.-F. (1967). Vegetation marine de l'île de Port-Cros (Parc national) XII : Documents pour la carte des peuplements benthiques. *Bull. Mus. Hist. nat. Marseille*. Vol. I, p. 27.

AUGIER, Henry et al. (1994). Etude de la pollution par les métaux lourds de la zone industrialo-portuaire du golfe de Fos-sur-Mer (Méditerranée, France) à l'aide de bio-indicateurs (moules et oursins). *Mar. Life*. Vol. 4, n°2, p. 59-67.

BACHARI, H. F. (2009). *Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire*. Thèse de doctorat. Sciences de l'univers et de l'environnement. Paris : Université du Val de Marne Paris XII, p. 32.

BACHET, Frédéric et al. (2003). Rapport sur les travaux scientifique : Rapport d'activité. Document non publié. France : Compte-rendu des travaux scientifiques du Parc Marin. Cote bleue : Syndicat Mixte Parc Marin de la Cote Bleu, SMPMCB.

BAIZE, D. (1997). *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols*. Paris : INRA, 408 p.

BELHAFIANE, Mohammed Yacine (2016). *Impact de la pollution marine par quelque métaux lourds (Cu, Zn, Cd) au niveau de la station de Marset Ben M' hidi chez un Echinoderme (Paracentrotus lividus)*. Mémoire de Master. Hydrobiologie marine et continentale. Tlemcen : Université de Aboubaker Belkaid, p.43.

BELKHAMSSA, Fatima Zahraa Sarah (2012). *Biodiversité associée à l'herbier de Posidonia oceanica Plage de Stidia/ Cote Ouest de Mostaganem*. Mémoire Master. Biologie. Mostaganem : Université de Mostaganem, p. 45.

BELLAN, G. (1993). Les indicateurs biologiques du milieu marin - Remarques introductives. In: **Boudouresque C.F., Avon M., Pergent-Martini C.** Qualité du milieu marin - Indicateurs biologiques et physico-chimiques. Rencontres scientifiques de la Côte Bleue. *GIS Posidonie pub 1*. p.335-42.

BELLAN-SAINTINI, D. ; LACAZE, J-C., POIZAT, C. (1994). *Les biocénose marines et littorales de Méditerranée, Synthèse, Menaces et Prospectives*. Paris : Museum National d'Histoire Naturelle, 246 p.

BEN ALAYA, Habib (1972). Répartition et conditions d'installation de l'herbier de *Posidonia oceanica* Delile et *Cymodocea nodosa* Asherson. *Bull. Inst. Océanogr. Pêche, Salammbo*. Vol. 2, n° 3, p. 331-415.

BENMANSOUR, Nasr-eddine (2009). *Contribution à l'étude de l'anchois (Engraulis encrasicolus, l.1758) de l'extrême ouest algérien (giiâzaouet et beni saf)*. Recherche de quelques métaux lourds. Mémoire de Magister. Ecologie et biologie des populations. Tlemcen : Université Aboubekr Belkaïd, p.189.

BLANDIN, (1986). Bio indicateurs et diagnostics des écosystèmes écologiques, *Bulletin d'écologie*. Vol. 22, n°4, p.15.

Références bibliographiques

BOUAZIZ, Thanina, DJERRAI, Noureddine (2010). *Etude des caractéristiques physicochimiques et bactériologiques des eaux de mer et des sédiments dans le port de plaisance de« Sidi Fredj», en vue d'une immersion.* Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, p.63.

BOUDEFOUA, Nassima et KADA, Mohamed (2007). *Les variations saisonnières des paramètres biométriques et lépidochnologiques des herbiers à Posidonia oceanica (Linnaeus) Delile dans la baie de Bou Ismail.* Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ISMAL, p. 7.

BOUDJEMAL, Nassima, BOUGHELLA, Meriem (2012). *Contribution à l'étude de la pollution chimique de l'écosystème à Posidonia oceanica dans la baie de Bou Ismail et la baie de Zemmouri (El-Marsa).* Mémoire d'ingénieur. Environnement . Alger : ENSSMAL, p. 7-18.

BOUDERSQUE, C.F. (1997). Situation de la biodiversité marine et lagunaire en Tunisie. Recommandations. *CAR/ASP Tunis et GIS Posidonie publ. Fr.* p. 1-154.

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

BOUDOURESQUE, C.F., GIRAUD G., PANYATIDIS P. (1980). Végétation marine de l'île de Port-Cors (parc national), XIX, mise en place d'un transect permanent. *Trav. Parc nation.* Vol.6, p.207-221.

BOUDOURESQUE, C.F., MEINESZ, A., LEDOYER, M., VITIELLO P., (1994a). Les herbiers à phanérogames marines. In **BELLAN-SAINTINI, D., LACAZE, J-C., POIZAT, C. (1994).** *Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, Synthèse, Menaces et Perspectives.* Paris : Museum National d'Histoire Naturelle, p. 246 .

BOUDOURESQUE, C.F. et al. (2006). *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica.* France, Italie, Monaco, Provence-Alpes-Côte d'Azur : Ramoge-pub, p. 1-202.

BOUDOURESQUE, C.F. (2005). Impact de l'ancrage des bateaux de plaisance sur la prairie à posidonie dans le parc national de port-cros (Méditerranée Nord-occidentale). *Sci rep.* Vol.21, p.147-162.

BOUDOURESQUE, C.F., (2015). La posidonie, un miracle en Méditerranée [en ligne]. [Consulté le 04/06/2017]. Disponible sur : [<http://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/nature-posidonie-miracle-mediterranee-2006/>].

BOUFHANEM, Hacen, NAIT TAIB, Akli (2012). *Mise en place d'un carré permanent dans l'herbier à Posidonia oceanica de la plage de la thalassothérapie Sidi Fredj.* Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, p. 56.

BOUTIBA, Z. (2004). *Guide de l'Environnement Marin.* N°1. Algérie : Dar El Gharb, 273 p.

BRYAN, J. R., RILEY, J. P., WILLIAMS, P. J. LeB. (1976). A Winkler procedure for making precise measurements of oxygen concentration for productivity and related studies. *J. Exp. mar. Biol. Ecol.* Vol.21, p. 191-197.

CAMPAGNE, Sylvie ; SALLES, Jean-Michel ; BOISSERY, Pierre, DETER, Julie (2015). Identification des services écosystémiques et évaluation économique des avantages tirés des herbiers marins : Cas de *Posidonia oceanica*. *Marine Pollution Bulletin.* Vol.4, n°1 p.23.

Références bibliographiques

CHAPMAN, P-M. ; WANG, F. JANSSEN, C., et al. (1998). Ecotoxicology of metals in aquatic sediments: binding and release, bioavailability, risk assessment, and remediation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol.55, n°10, p. 2221-2243.

CHESSA, L.A. P., d'ALADDIO, R., GINANNESCHI, (1984). A chemical , bacteriological and ecological study of the edible sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lam.) Nova Thalassisa, 6suppl.: p411-417. In **AUGIER, Henry et al. (1994).** Etude de la pollution par les métaux lourds de la zone industrialo-portuaire du golfe de Fos-sur-Mer (Méditerranée, France) à l'aide de bio-indicateurs (moules et oursins). *Mar. Life.*, Vol. 4, n°2, p. 59-67.

CLAISSE, D., JOANNY M., QUINTIN J.Y. (1992). Le Réseau National D'observation De La qualité Du Milieu Marin (RNO). *Analysis Magazine*. Vol. 20, n°6, p.22.

COURTEAU, Roland (2011). Rapport sur La pollution de la Méditerranée : état et perspectives à l'horizon 2030 : Rapport d'activité. Document non publié. France : Sénat.

CRISTIANI, G., GASSEND R., AUGIER H. (1980). Etude de la contamination expérimentale de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* (L.) delile par les composés mercuriques : Partie 1-modalites de la contamination par le chlorure mercurique. *Environmental Pollution (Série A)*. Vol.23, p. 153-162.

DAOUDI, Meriem Batoul, HASNA, Nadia (2012). *Contribution à l'étude des paramètres vitaux de l'herbier à Posidonie (Posidonia oceanica) en relation avec la pollution chimique du milieu.* Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, p.50.

DAVIES-COLLEY, R., SMITH D. (2001). Turbidity suspended sediment and water clarity. in **RIVIER, Aurelie (2013).** *Dynamique des matières en suspension minérales des eaux de surface de la Manche observée par satellite et modélisée numériquement.* Thèse de doctorat. Océanographie Physique. France : Université de Bretagne, 222 p.

DELMAS, P. (1992). *Etude des populations de Paracentrotus lividus (Lmk) (Echinodermata, Echinoidea) soumises à une pollution complexe en Provence Nord-Occidentale densités, structure, processus de détoxification (Zn, Cu, Pb, Cd, Fe).* Thèse de doctorat : France : université d'Aix-Marseille III, p.58.

DEMNATI, Salima et al. (2002). Bio-accumulation des métaux lourds chez l'oursin *Paracentrotus lividus* (Lamarck) sur la côte EST de la méditerranée marocaine. *Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc)*. Vol. 22. n° 2, p79-84.

DENIS, J., et al. (2003). *Guide méthodologique pour la cartographie des biocénoses marines Volet n°1 : l'herbier à Posidonia oceanica* [en ligne]. [Consulté le 06/05/2017]. Disponible sur le web : < Fdoc-oai.eaurmc.fr >.

DERMECHE, S. (1998). *Teneur en métaux lourds (Cd, Pd, Cu, Zn et Ni) chez l'oursin commun Paracentrotus lividus (Lmk) pêche dans le golfe d'Arzew,* Thèse de Magister. Sciences de l'environnement. Oran : Université d'Oran, p. 132. in **BELHAFIANE, Mohammed Yacine (2016).** *Impact de la pollution marine par quelque métaux lourds (Cu, Zn, Cd) au niveau de la station de Marset Ben M' hidi chez un Echinoderme (Paracentrotus lividus).* Mémoire de master. Hydrobiologie marine et continentale. Tlemcen : Université de Aboubakar Belkaid, p. 16.

Références bibliographiques

- DERMECHE, S. (2010).** *Indices physiologiques, métaux lourds et bio-essais chez l'oursin commun Paracentrotus lividus (Lmck, 1816) de la cote oranaise (Algérie Ouest).* Thèse de doctorat. Sciences de l'environnement. Oran : Université d'Oran, p. 60-106.
- DUARTE, C.M., MIDDELBURG, J.J., CARACO, N. (2004).** Major role of marine vegetation on the ocean carbon cycle. *Biogeosciences Discussions*. Vol. 1, p. 173–180.
- DUSQUENE, S. (1992).** *Bioaccumulation métallique et métallothioneines chez trois espèces de poissons du littoral Nord-Pas De Calais.* Thèse de Doctorat. Biologie et Santé. Lille : Université des Sciences et Techniques de Lille. p.70.
- FAHSSI, Aouatif et CHAFI, Abdelhafid (2015).** Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et les organismes aquatiques du littoral de Saidia (Maroc oriental). *European Scientific Journal July*. vol.11, n°.21. p. 334-360.
- FERHI, Hakim, GHIBOUB, Abdelhamid (2000).** *Surveillance de la limite inferieur de l'herbier à Posidonia oceanica de la région d'El Djamila : suivi 200.* Mémoire DEUA. Environnement. Alger : ISMAL, p. 87.
- FERRAT, Lila (2010).** *Bioindicateurs des variations environnementales chez les végétaux.* Mémoire Habilitation à Diriger des Recherches. Biologie des populations et Ecologie. France, Corse : Université Pascal Paoli, p.79.
- FORBES, VE., FORBES, TL., RIVIERE, JL. (1997).** *Ecotoxicologie : théorie et applications[en ligne].* Paris : INRA Editions. [Consulté le 05/05/2017]. Disponible sur le web :< <https://books.google.dz/books/about/Ecotoxicologie> >.
- FRANCOUR, P., SOLTAN, D. (2000).** Suivi des ancrages de type 'Harmony' dans les herbiers à *Posidonia oceanica* de la rade d'Agay et du Parc national de Port-Cros (Var, Méditerranée nord-occidentale). *LEML publ.* p.34
- FOURQUIREAN, James W. et al. (2012).** Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature geoscience*. Vol.5, p. 505-509.
- GANTEAUME, Anne et al. (2005).** Impact sur la prairie à *Posidonia oceanica* de l'amarrage des bateaux de croisiere, au large du port Porquerolles (Provence, France, Méditerranée). *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, Fr.* Vol.21 , p. 163-173.
- GEOFFREY, lean (2007).** *Symphonies des mers. Notre planète* [en ligne], [Consulté le 02/06/2017], p. 10-12. Disponible sur le web :< www.ourplanet.com >
- GHEDDAH, Doria (2003).** *Evaluation de la pollution industrielle et urbaine dans la région de Skikda: impact sur l'écosystème marin cotier.* These de Magister. Science de la mer. Annaba : Université Badji Mokhtar, p. 81-99.
- GOBERT, Sylvie (2002).** *Variation spaciale et temporelle de l'herbier de Posidonia oceanica Delile.* These de doctorat. Océanographie biologique. Liege : Université de Liege, p. 50-100.
- GOSSELIN, M., BOUQUEGNEAU, JM., LEFEBVRE, F., et al. (2006).** Trace metal concentrations in *Posidonia oceanica* of North Corsica (northwestern Mediterranean Sea): use as a biological monitor? . *BMC ecology*. Vol.6, n°12, 19 p.

Références bibliographiques

- GUENDOUZI, Y. ; GHALMI, R. ; BOUDJELLAL, M. ; EL MORHIT, M. (2015).** Impact des métaux traces sur l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans La Baie d'Alger. *J. Mater. Environ. Sci.* Vol. 6. n°4, p. 918-923.
- HALLOUCH, A., KHOUDJA, A. (2010).** *Phenologie, lépidochnologie, et biomasse de l'herbier à Posidonia oceanica (L). Délile aa cap carbon (Arzew Algérie). Mémoire d'ingénieur .Ecologie vegetal et environnement aquatique.* Sidi BelaBes : Djillali Liabes, 85 p. in
- KHOUDJA, Adel (2013).** *Caractérisation de l'herbier à Posidonia oceanica (L.) Delil (1813) de la côte occidentale algérienne (Cap Blanc).* Thèse de Magister. Science de l'environnement. Oran: Université d'Oran, p. 100.
- HARTOG, C. (1970).** The sea-grasses of the world. *North Holland publ.*Vol.1, p.63-275.
- HILY, C., et al. (2010).** *Les herbiers de phanérogames marines de l'outre-mer français.* France : IFRECOR, 120 p.
- HURBAL, (2016).** Rapport concernat les prises de descison contenant l'établissement de la listes des plages autorisés et interdites à la baignade : Rapportd'avtivité. Document non publié. Algérie : HURBAL.
- IFREMER, (2005).** *Contrôle de surveillance des eaux côtière : Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE.* France : IFREMER. Vol.4, p.1-10.
- INAL, Ahmed (2011).** *Les métaux traces des sédiments de la baie de Bou-Ismaïl : surveillance de la pollution et étude des processus géochimiques.* Mémoire de Magister. Gestion et surveillance de l'environnement Marin et Littoral. Alger : ENSSMAL, p. 37.
- KANTIN, Roger et PERGENT, Gerard (2007).** Rapport gestion des écosystèmes littoraux méditerranéens (rapport final) : Rapport d'activité Document non publié. France : Ifremer.
- KAISER, J. (2001).** *Bioindicators and biomarkers of environmental pollutions and risk assessment.* Hartford: Science Publishers, 304 p.
- KERCKHOVE, (2012).** *Espèces ou association d'espèces de poissons en tant que bio indicateur de l'état de santé des récifs coralliens.* Essai. Grade de maître en écologie internationale. Canada : faculté des sciences, 103 p.
- KHOUDJA, Adel (2013).** *Caractérisation de l'herbier à Posidonia oceanica (L.) Delil (1813) de la côte occidentale algérienne (Cap Blanc).* Thèse de Magister. Science de l'environnement. Oran : Université d'Oran, p. 100.
- LACAZE, J. C. (1993).** *La degradation de l'environnement cotier :Conséquences écologique.* Paris : Masson, p. 130.
- LACAZE, Jean-claude (1996).** *La pollution des mers.* France: Flammarion, p.126.
- LAHAYE, Virginie, et al. (2005).** Long-term dietary segregation of common dolphins *Delphinus delphis* in the Bay of Biscay, determined using cadmium as an ecological tracer. *Marine Ecology Progress Series* [en ligne], [consulté le 05/05/2017]. Disponible sur le web : <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00226655/document> >.
- LAFABRIE, C. (2007).** *Marine Utilisation de Posidonia oceanica (L.) Delile comme bio-indicateur de la contamination métallique.* Thèse de Doctorat. Ecologie. Corse : Université de Corse, p. 17.

Références bibliographiques

LALAMI- TALEB, R. (1970). Facteur de répartition verticale du phyto-plancton au large d'Alger. Thèse de doctorat. Biologie. Alger : Université d'Alger, p. 168. In **TARMOUL, Fateh (2010).** Contribution à l'étude de l'impact de la pollution chimique sur l'herbier à *Posidonia oceanica* dans la baie de Bou Ismail. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, p.50.

LAMOUTI, Souad (2006). Essai de Cartographie des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la zone du PAC (Plage de la thalassothérapie Sidi Fredj). Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ISMAL, p.32.

LAUTENBACHER, Conrad C. (2007). Symphonies des mers. *Notre planète* [en ligne], [Consulté le 02/06/2017], p.9-11. Disponible sur le web : < www.ourplanet.com >

LECLAIRE, L. (1972). La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares. Paris : Mémoire Museum histoire Naturelle, p.391.

LEVEQUE, C. et MOUNOLOU, J.-C. (2008). Biodiversité : Dynamique biologique et conservation. 2e édition. Paris: Dunod, p. 259.

LONG, ER. (2000). Degraded sediment quality in US estuaries a review of magnitude and ecological implications. *Ecol Appl.* Vol.10, N°2, p. 338-350.

MARKERT, B.A., BREURE, A.M., ZECHMEISTER, H.G. (2003). Bioindicators and Biomonitoring. Principles, concepts and applications. Vienne : Elsevier, p.997.

MARCHAND, M., KANTIN, R., (1997). Contaminants chimiques en milieux aquatiques. *Oceanis.* Vol. 21, N°2. p.22.

M.A.T.E., (2002). Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD) : Rapport d'activité. Document non publié. Algérie: M.A.T.E.

MEYBECK, M., et al. (2007). Historical perspective of heavy metals contamination (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) in the Seine River basin (France) following a DPSIR approach (1950-2005). *Science of the total environment.* Vol.1, n°375(1-3), 204-310 p.

MDDEP, (2008) in BENOIT-CHABOT (2014). Les facteurs de sélection des bio-indicateurs de la qualité des Écosystèmes aquatiques : élaboration d'un outil d'aide à la décision. Grade de maître en environnement. Environnement et développement durable. Canada : Université de Sherbrooke, p.5.

MEINESZ, A., LAURENT, R. (1978). Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica*. *Botanica Marina.* Vol. XXI, p. 513-526.

MELQUIOT, BERTOLINI, (2003). 1.001 mots et abréviations de l'Environnement et du Développement Durable. France : Recyconsult, p.89.

MC CAULEY, D-J., DE GRAEVE, G-M., LINTON, TK. (2000). Sediment quality guidelines and assessment: Over view and research needs. *Environmental Science & Policy.* Vol.3, n°1, p.133-144.

MIQUEL, G. (2001). Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. France : l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.p.100.

Références bibliographiques

- NEFF, J-M. (2002).** Bioaccumulation in Marine Organisms. In **RUITTON, HARMELIN (2013).** Influence des apports anthropiques sur les flux de carbone et de contaminants dans les réseaux trophiques de poissons de l'écosystème à *Posidonia oceanica*. p 23.
- NOVONTNY, V. (1995).** Heavy Metals. *Springer Berlin Heidelberg*. Vol.3. p. 33-52
- OFFICE NATIONALE de la METEOROLOGIE ONM, (2017).** Données statistiques météorologiques annuelles (2006-2015): Rapport d'activité. Document non publié. Alger: ONM.
- PAC., (2005).** Lutte contre la pollution liée aux déchets solides - diagnostic – Plan d'aménagement côtier PAC « Zone Côtière Algéroise »: Rapport d'activité. Document non publié. Alger : PAP-PAC.
- PANAYOTIDIS, P., BOUDOURESQUE, C.F., MARCOT-COQUEUGNIOT, J. (1981).** Microstructure de l'herbier à *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delille. *Bot. mar.* Vol.24, n°3, p.115-124.
- PAILLARD, M., GRAVEZ, V., CLABAUT, P., et al. (1993).** Cartographie de l'herbier de Posidonie et des fonds marins environnants de Toulon à Hyères (Var, France). Reconnaissance par sonar latéral et photographie aérienne. Notice de présentation. *Ifremer & GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., Fr.:* p. 1-36. In : **BOUDOURESQUE, C.F. et al. (2006).** *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. France, Italie, Monaco, Provence-Alpes-Côte d'Azur : Ramoge-pub. p. 1-202.
- PERGENT, Gerard, PERGENT-MARTINI, Christine, BOUDOURESQUE, Charles-François (1995).** Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu en méditerranée : Etat des connaissances. *Mésogée*. Vol. 54, p. 3-27.
- PERGENT, G., PERGENT-MARTINI C. (1999).** Mercury levels and fluxes in *Posidonia oceanica* meadows. *Environ. Poll.* Vol.106, p. 33-37.
- 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.* Vol.13, n°1-6, p.126-147.
- PERGENT, G. (2007).** *Protocole pour la mise en place d'une surveillance des herbiers de posidonies*. France : medposidonia nautilus-okianos, 21 p.
- PERGENT, et al. (2004-2008).** *Mise en oeuvre d'un Réseau de Surveillance Posidonies le long du littoral de la Corse*. Rapport de synthèse. p. 13-25.
- PERGENT, G. et al. (2008).** Competition between the invasive macrophyte *Caulerpa taxifolia*. *BioMed Central*. Vol.8, p. 1-13.
- PERGENT, G., BAZAIRI, H. ; BIANCHI, C.N., et al. (2012).** *Les herbiers de Magnoliophytes marines de Méditerranée : résilience et contribution à l'atténuation des changements climatiques*. Gland, Suisse et Malaga, Espagne : IUCN. p. 80.
- PERGENT-MARTINI, C., LE RAVALLEC, C. (2007).** *Lignes directrices pour les études d'impacts sur les herbiers marins*. Rapport d'activité : document non publié. France :CAR/ASP, PNUE, PAM,

Références bibliographiques

- PERGENT-MARTINI, C., PERGENT, G. (2000).** Marine phanerogams as a tool in the evaluation of marine trace-metal contamination: an example from the Mediterranean. *Int. J. Environment and Pollution*. Vol.13, p 1-6.
- PERES, J.M, PICARD, J. (1975).** Causes de la raréfaction et la disparition de l'herbier *Posidonia oceanica* dans les cotes francaises de la Méditerranée. *Aquatic Botany*. Vol.1, p. 133-139.
- PERES, J-M. (1978).** Vulnérabilité des Ecosystèmes Méditerranéens à la Pollution. *Elsevier Scientific*. Vol.3, n°13007, 205-217 p.
- PEREZ, T. et al. (2000).** Etude bibliographique sur les bioindicateurs de l'état du milieu marin. *Système d'évaluation de la qualité des milieux littoraux- volet biologique : Rapport Agences de l'eau*, 4 fascicules, p. 642.
- PERGENT-MARTINI, Christine (2013).** *Atténuer l'impact des changements climatiques: quel role pour les herbiers de Posidonies ?*. Corse : Université de Corse, p. 1-4.
- PIOVETTI, L., SERVE, L., COMBAUT, et al. (1984).** Analyse des substances phénoliques des restes de *Posidonia oceanica* (L.) Delille provenant de sédiments holocènes et de dépôts actuels. In : **Boudouresque, et al. (2006).** *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. RAMOGE pub, p. 1-202.
- RODIER, J. et al. (1996).** *Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. 8^{ème} édition. Paris : DUNOD, 1983 p.
- RAMADE, F. (1992).** *Précis d'écotoxicologie*. N°1. Paris : Dunod, p. 300.
- REDACTION NATIONAL, (2009).** Les herbiers à posidonie font la joie des pêcheurs à la ligne à El-Kala. *Journal Liberté*, p. 9.
- RECORD, (2002).** Etat de l'art concernant la mesure des émissions et le traitement des métaux dans les fumées (Cas du cadmium, du mercure et du plomb). 214 p.
- ROONEY, C.P., MCLAREN, R.G., CRESSWELL, R.J (1999).** Distribution and Phytoavailability of Lead in a Soil Contaminated with Lead Shot. *Water, Air, & Soil Pollution*. Vol. 22. p. 116-535
- ROUANET, E., BONHOMME, D., ASTRUCH, P. (2013).** Diagnostic de l'herbier de posidonie (*Posidonia oceanica*) en vue d'une opération de travaux dans l'anse de la Potinière. Contrat Mairie de Hyères les Palmiers & GIS Posidonie. *GIS Posidonie publ. Fr.* p.1-49.
- ROUANE-HACENE, OMAR (2013).** *Bio surveillance de la qualité des eaux côtières du littoral occidental algérien, par le suivi des indices biologiques, de la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pb et Cd) chez la moule Mytilus galloprovincialis et l'oursin Paracentrotus lividus*. Thèse de doctorat. Option science de l'environnement. Oran : université d'Oran, p.187.
- RUITTON et HARMELIN (2013).** Influence des apports anthropiques sur les flux de carbone et de contaminants dans les réseaux trophiques de poissons de l'écosystème à *Posidonia oceanica*. p.23.
- SARTORETTO, Stéphane, BAUCOUR, Colombe, PERGENT, Gérard (2012).** Habitats particuliers de l'infra-littoral: Herbier à *Posidonia oceanica*, p. 13.

Références bibliographiques

SEMROUD, R., BELBACHA, S., DUPUY DE LA GRANDRIVE, R. et al. (2004). *Faisabilité d'une extension marine du Parc National d'El Kala – Algérie*. Rapport de mission. UNEP-MAP / CAR-ASP / ATEN / PNEK, Fr., p. 1-68.

SENOUCI, Khelil Bachir (2015). *Les paramètres physicochimiques et les sels nutritifs dans la baie de Bou-Ismaïl*. Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, p. 44-46.

SOUDAN, F. (1977). *Action des polluants sur les organismes et les peuplements marins*. Nantes : Institut scientifique et technique des pêches maritimes, p. 76.

SOUDAN, France (1968). Incidences de la pollution sur la vie marine . *Science et pêche, Bull. Inst. Pêches maritime*. N° 169, p. 2-10.

TARMOUL, Fateh (2010). *Contribution à l'étude de l'impact de la pollution chimique sur l'herbier à Posidonia oceanica dans la baie de Bou Ismaïl*. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, p.50.

TARMOUL, Fateh (2014). *Évaluation de la Qualité du Milieu Marin dans la Baie d'El Djamila en Vue de la Mise en Place d'un Réseau de Surveillance*. Mémoire de Magister. Option : Gestion et Surveillance du Milieu Marin et Littoral. Alger : ENSSMAL, p.100.

TEKTEK, F.Z. (2012). *Phénologie, l'épidochnologie, et biomasse de l'herbier à Posidonia oceanica (L.) Delille dans l'île de Rachgoun (Beni Saf, Algérie)*. Mémoire de Master. Ecologie marine. Oran : Université d'Oran. 87p. in **KHOUDJA, Adel (2013).** *Caractérisation de l'herbier à Posidonia oceanica (L.) Delille (1813) de la côte occidentale algérienne (Cap Blanc)*. Thèse de Magister. Science de l'environnement. Oran : Université d'Oran, p. 100.

THOMAS, O. (1985). *Métrologie des eaux résiduaire*. ED. Ceb. Doc. / Tec. Et Doc. 11 ? LIEGE -75384. Paris in **TAGHEZOUT, Fatima (2015).** *Impact environnemental des rejets d'eau le long du littoral occidental Algérien*. Mémoire de Magister. Science de l'environnement. Oran : Université d'Oran, p. 137.

UNEP/IAEA, (1985a). Determination of total chromium in marine sediments by flameless atomic absorption spectrophotometry. (Draft) Reference Methods for Marine Pollution Studies, N° 38, UNEP.

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

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

VAISSIERE, Raymond, FREDJ, Gaston(1963). Contribution à l'étude de la faune benthique du plateau continental de l'Algérie. *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*. N° 1272, p. 1-83.

VAN GESTEL, C.A.M., VAN BRUMMELEN, T.C. (1996). Incorporation of the biomarker concept in ecotoxicology calls for redefinition of terms. *Ecotoxicology*. Vol.5, 217-225 p.

VEITH, G-D., DEFOE, D-L., BERGSTEDT, B-J. (1979). Measuring and estimating the bio concentration factor of chemicals in fish. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* .Vol.36, n°9, p.1040-1048.

Références bibliographiques

ZERROUK, Chabane (2016). *Cartographie de la limite supérieure de l'herbier à Posidonia oceanica et du trottoir à Vermets dans la région de Tipaza.* Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, p.66.

WAALKES, Michael p. et al. (2000). Metals and Disorders of Cell Accumulation: Modulation of Apoptosis and Cell Proliferation. *Toxicological sciences* : Vol. 56, p. 255-261.

WARNAU, M., ALI TEMARA, G.L., BOUQUEGNEAU, J.M., et al. (1995). Heavy metals in *Posidonia oceanica* and *Paracentrotus lividus* from seagrass beds of the northwestern Mediterranean. *Journal of sea research*. Vol. 171. p. 95-99.

WEIS, Judith. (2015). *Marine pollution what everyone needs to know.* Les états unis d'Amérique: acid-free paper, p.253.



Annexes

Conservation des échantillons :

Une fois les échantillons prélevés ils sont mis dans des sachets avec zip en plastique (polyéthylène) sont fermés, étiquetés et conservés dans une glacière. Dès l'arrivée au laboratoire ils sont conservés à une très basse température (congélation -18°C), elle est favorisée par rapport à une simple conservation au frais (4°C) pour éviter toute perte surtout pour les métaux volatils (Charlou et Joanny, 1983).

Les échantillons peuvent être conservés sous forme de poudre, au sec après lyophilisation sans risque de détérioration.

Procédures de Nettoyage :**1. Nettoyage du matériel de digestion en Téflon pour la détermination des métaux traces Réactifs**

- HNO₃ (65% pour analyse, ISO, Merck) ;
- HCl (25% pour analyses, Merck) ;
- Détergent spécial de laboratoire (Micro) ;
- Eau Milli-Q déionisée (>18 MΩ cm, Millipore).

Procédure

- 1) Laisser tremper le matériel (bombes Téflon) toute une nuit dans une solution de savon (Micro 2% dans l'eau du robinet) dans un bac en plastique ;
- 2) Rincer abondamment d'abord avec de l'eau du robinet puis avec de l'eau Milli-Q ;
- 3) Verser 4 ml d'acide chlorhydrique concentré dans chaque bombe, puis les fermer hermétiquement en utilisant une pince ;
- 4) Les placer sur une plaque chauffante pendant 2h30 ;
- 5) Laisser refroidir les bombes puis ouvrir les bombes doucement. Rincer minutieusement les bombes avec de l'eau Milli-Q (au moins 4 fois).
- 6) Mettre les bombes à sécher sous une hotte à flux laminaire ;
- 7) Une fois sèches les bombes doivent être fermées et rangées dans des sacs en polyéthylène pour prévenir les risques de contamination. Les bombes doivent être séparées selon leur utilisation pour la digestion des sédiments ou des biotas.

IV.1.2. Matériels :

Pour la lyophilisation :

- Piluliers en verre (conditionné).
- Spatule en plastique.
- Un lyophilisateur muni d'une jauge à vide, ne contenant pas de mercure.

Pour la minéralisation :

- Bombes et godets en téflons (conditionnée annexe 1).
- Plaque chauffante.
- Tubes conique de 50ml.
- Des fioles jaugées de 100ml.
- Micropipettes à embout jetables.

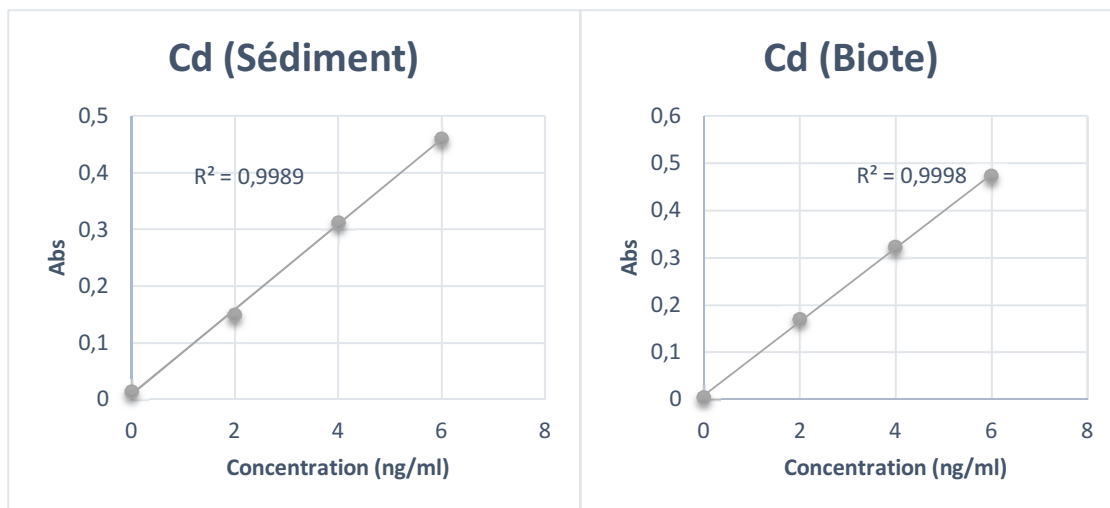


Figure 1: Courbe d'étalonnage du cadmium pour le sédiment à gauche et pour le biote à droite.

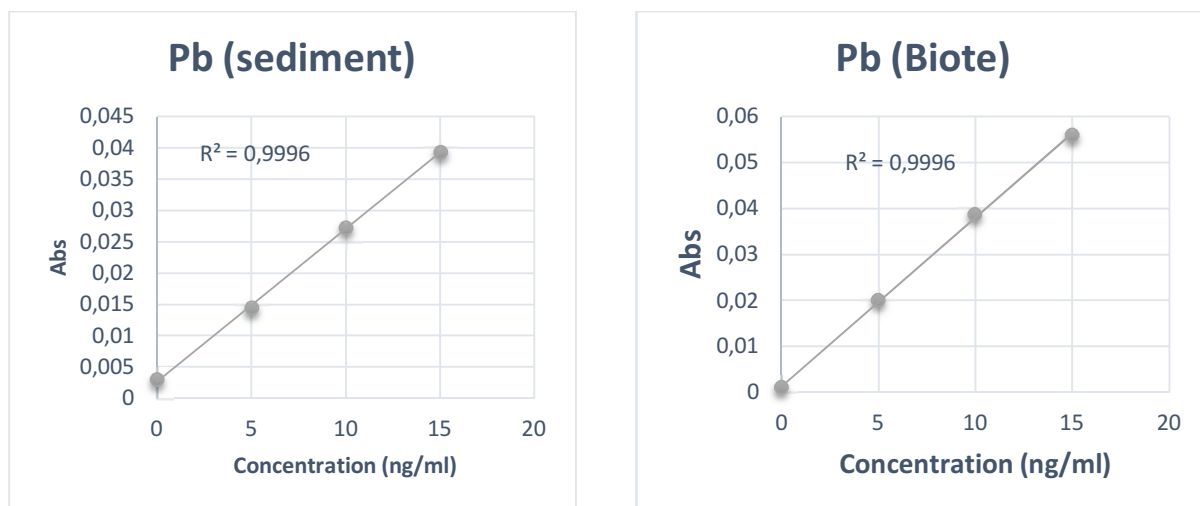


Figure 2: Courbe d'étalonnage du plomb pour le sédiment à gauche et pour le biote à droite.

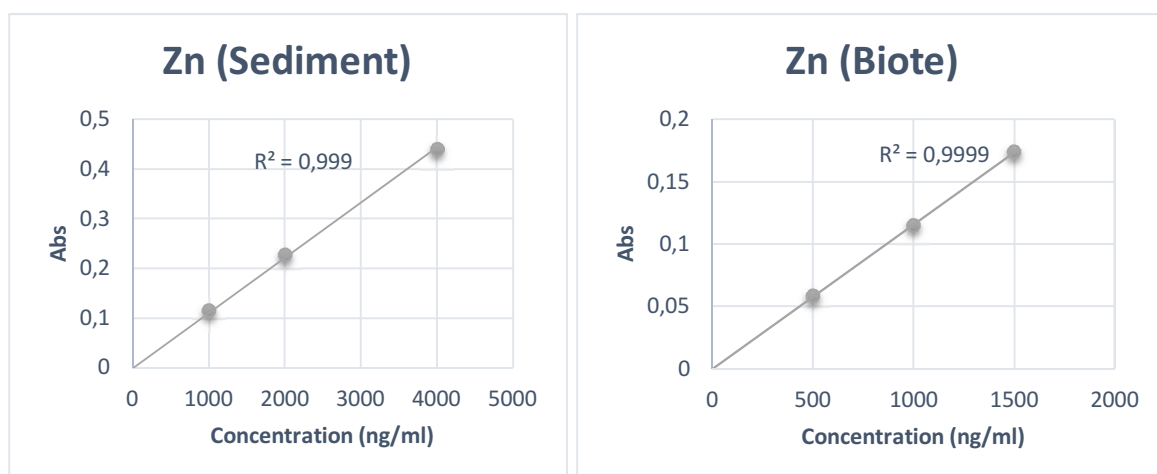


Figure 3: Courbe d'étalonnage du plomb pour le sédiment à gauche et pour le biote à droite.

Dosage des nitrites :

Le dosage des nitrites (NO_2^-) est réalisé selon la méthode de GRIESS, réaction de diazotation spécifique de l'acide nitreux, qui s'effectue en deux étapes :

- **Etape 1** : L'ion nitrite réagit avec le sulfanilamide ($4-H_2NC_6H_4SO_2NH_2$) pour former un composé diazoïque (sel de diazonium).
- **Etape 2** : le composé diazoïque se combine ensuite en milieu acide ($pH < 2$) avec le NED pour former un composé rosé dont l'absorbance à 540nm (**BENSCHNEIDER et ROBINSON, 1952 ; LOURGUIOUI, 2006**) est proportionnelle à la concentration des ions nitrite.

Dosage des nitrates :

La détermination des nitrates se fait indirectement. Il y a d'abord passage des échantillons dans une colonne de cadmium traité au cuivre pour la réduction des nitrates (NO_3^-) en nitrites (NO_2^-) (**WOOD et al., 1967 in LOURGUIOUI, 2006**). Ces dernières (NO_2^- initiaux + NO_3^- réduits) seront ensuite dosées par colorimétrie selon la méthode décrite plus haut. Les concentrations de nitrates sont obtenues après la soustraction des concentrations de nitrites déterminés, antérieurement, avant le passage des échantillons dans la colonne réductrice D'après **RODIER et al., (1996)**.

Dosage des orthophosphates :

Dans un premier temps, en milieu acide l'ion orthophosphate (PO_4^{3-}) réagit avec l'ion molybdate d'ammonium et l'ion oxydante de potassium (Antimoine), il en résulte la formation de l'acide phosphomolybdique. Ensuite, Ce dernier est réduit par l'acide ascorbique en bleu de molybdène dont l'absorbance à 880nm est proportionnelle à la concentration de l'ion orthophosphate présent dans un échantillon (**MURPHY et RILEY, 1962 in LOURGUIOUI 2006**).

Dosage du silicium dissout :

Il se présente à 95 % sous forme d'acide orthosilicique $Si(OH)_4$ (**AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983**) en milieu acide, le silicium dissous réagit avec le molybdate d'ammonium afin de donner un complexe silicomolybdique qui sera ensuite réduit par l'acide ascorbique, donne à la fin un composé coloré en bleu, absorbant à 810 nm (**MULLIN et RILEY, 1955 in LOURGUIOUI, 2006**). L'ajout de l'acide oxalique évite l'interférence des phosphates.

Réactifs : les réactifs 1, 2 et 3 utilisés sont acheté chez le fabricant, ils contiennent les proportions suivantes de réactifs.

	Nitrites		Phosphates		Silicates
R1	Phosphoric acid	9%	Acide sulfurique	16,5%	Molybdate d'ammonium
	Sulfanilamide	$\leq 1\%$	Antimoine	$\leq 1\%$	Acide sulfurique
	NED	$\leq 0,1\%$	Molybdate d'ammonium	$\leq 1\%$	

R2	/	Acide ascorbique	$\leq 2\%$	Acide oxalique
R3		/	/	Acide ascorbique

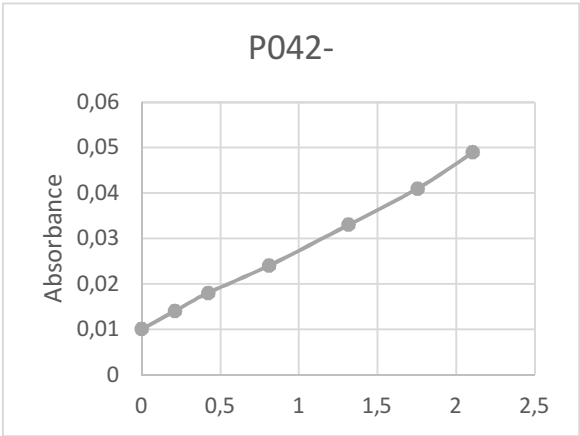
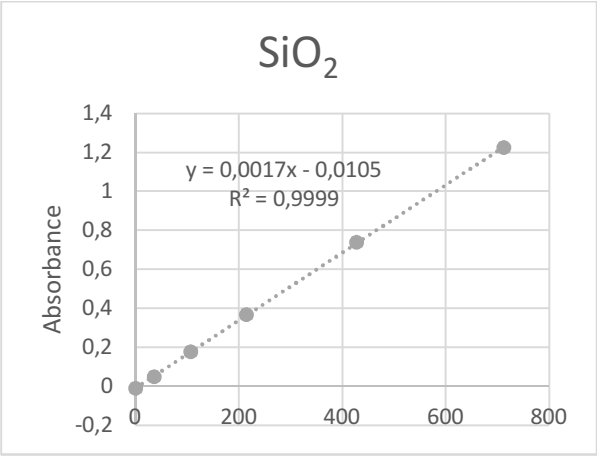
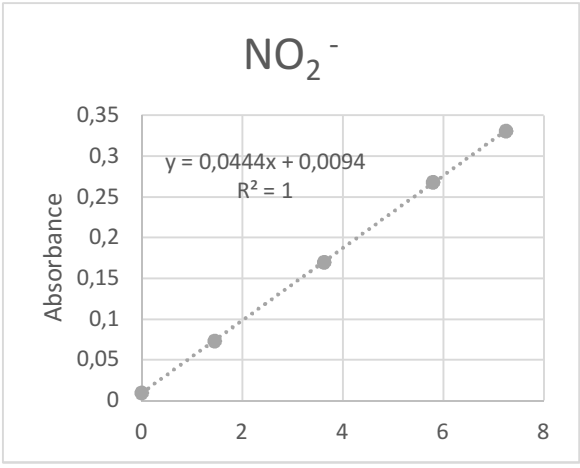
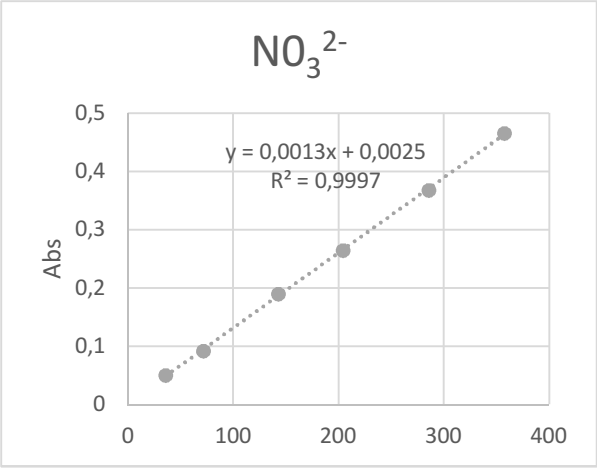


Tableau 1: Classification des densités au m2 de l'herbier de posidonie en fonction de la profondeur (profondeur en mètres). La densité d'un herbier est classée en « très bonne », « bonne », « moyenne », « médiocre » ou « mauvaise » (PERGENT, 2007).

Profondeur (m)	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
1	>1195	1195-964	964-732	732-501	<501
2	>1126	1126-903	903-679	679-456	<456
3	>1061	1061-846	846-630	630-415	<415
4	>1000	1000-792	792-585	585-377	<377
5	>942	942-742	742-543	543-343	<343
6	>887	887-696	696-504	504-312	<312
7	>836	836-652	652-468	468-284	<284
8	>788	788-611	611-435	435-259	<259
9	>742	742-573	573-404	404-235	<235
10	>699	699-538	538-376	376-214	<214
11	>659	659-504	504-350	350-195	<195
12	>621	621-473	473-325	325-177	<177
13	>585	585-444	444-303	303-161	<161
14	>551	551-416	416-282	282-147	<147
15	>519	519-391	391-262	262-134	<134
)	>489	489-367	367-244	244-122	<122
17	>461	461-344	344-227	227-111	<111
18	>434	434-323	323-212	212-101	<101
19	>409	409-303	303-197	197-92	<92
20	>385	385-285	285-184	184-83	<83
21	>363	363-267	267-172	172-76	<76
22	>342	342-251	251-160	160-69	<69
23	>322	322-236	236-149	149-63	<63
24	>304	304-221	221-139	139-57	<57
25	>286	286-208	208-130	130-52	<52
26	>269	269-195	195-121	121-47	<47
27	>254	254-184	184-113	113-43	<43
28	>239	239-173	173-106	106-39	<39
29	>225	225-162	162-99	99-36	<36
30	>212	212-152	152-92	92-32	<32
31	>200	200-143	143-86	86-30	<30
32	>188	188-135	135-81	81-27	<27
33	>178	178-127	127-76	76-24	<24
34	>167	167-119	119-71	71-22	<22
35	>158	158-112	112-66	66-20	<20
36	>148	148-105	105-62	62-18	<18
37	>140	140-99	99-58	58-17	<17
38	>132	132-93	93-54	54-15	<15
39	>124	124-87	87-51	51-14	<14
40	>117	117-82	82-47	47-13	<13

Contribution à l'étude de la pollution chimique et les paramètres vitaux de l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans le front de mer de Bou- Ismail et de la Corne d'or de Tipaza.

RESUME :

L'objectif de cette étude est l'appréciation d'une éventuelle progression ou régression de la pollution chimique, par le biais de bio-indicateurs (*Posidonia oceanica* *Paracentrotus lividus*), dans la zone de Bou Ismail et la Corne d'Or. Pour cela une comparaison des résultats trouvés dans les deux zones d'études et une autre comparaison de ces résultats par rapport aux travaux antérieurs de la même zone ont été effectuées. Les teneurs en Cadmium, en Plomb et en Zinc ont été déterminées par la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique, dans l'écosystème à *Posidonia oceanica* (sédiment, rhizomes, oursins). Les paramètres physico-chimiques ont été également mesurés et analysés dans l'eau de mer, les paramètres vitaux de l'herbier ont été mesurés pour conforter nos résultats. Les résultats ainsi obtenus ont montré une régression significative des concentrations du Plomb et du Cadmium pour toutes les matrices utilisées, ainsi qu'une bioaccumulation significative du Zinc au niveau des gonades de l'oursin *Paracentrotus lividus*. Nos résultats témoignent une diminution de la pollution chimique par les éléments traces métalliques dans la zone de Bou Ismail. Tandis que pour la matrice eau, ces derniers révèlent une charge importante en matières en suspensions et en sels nutritifs notamment les nitrates, les orthophosphates et les silicates. Ces résultats sont en correspondance avec le taux de recouvrement faible trouvé dans la zone de Bou Ismail.

Mots clés :

Ecosystème à *Posidonia océanica*, Bio-indicateur, Eléments Traces Métalliques, Bioaccumulation, Paramètres vitaux, Bou Ismail, Corne d'Or.

Abstract:

The objective of this study is the assessment of a possible progression or regression of chemical pollution, through bioindicators (*Posidonia oceanica* *Paracentrotus lividus*), in the area of Bou Ismail and Corne d'Or. For this purpose, a comparison of the results found in the two study areas and another comparison of these results with the previous works of the same zone was carried out. Atomic Absorption Spectrophotometry determined the cadmium, lead and zinc contents in the *Posidonia oceanica* ecosystem (sediment, rhizomes and sea urchins). Physico-chemical parameters were also measured and analyzed in seawater; the vital parameters of the herbarium were measured to confirm our results. The results thus obtained showed a significant regression of the concentrations of Lead and Cadmium for all the matrices used, as well as a significant bioaccumulation of the Zinc in the gonads of the sea urchin *Paracentrotus lividus*. Our results show a decrease in chemical pollution by metal trace elements in the Bou Ismail area. While for the water matrix, the latter reveal a high load of materials in suspensions and in nutritive salts in particular the nitrates, the orthophosphates and the silicates. These results are in line with the low recovery rate found in the Bou Ismail area.

Keywords:

Ecosystem of *Posidonia océanica*, Bio-indicator, Metallic trace elements, Bioaccumulation, Vital parameters, Bou Ismail, Corne d'Or.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم احتمالية الزيادة أو النقصان في التلوث الكيميائي عن طريق دراسة المؤشرات البيولوجية (البوزيدونيا أوسيانیکا، قنفذ البحر الأرجواني). في منطقة بوسماعيل والقرن الذهبي. وفي هذا السياق تم مقارنة النتائج المحصلة بين المنطقتين ومقارنتها أيضا مع الدراسات السابقة. تم قياس محتويات الكاديوم والرصاص والزنك بواسطة جهاز مطيافية الامتصاص الذري، في النظام البيئي للبوزيدونيا أوسيانیکا (الراسب، جذمور، قنفذ البحر). وقد تم أيضا تحليل فزيائي وكيميائي ماء البحر، تم قياس المؤشرات الحيوية الخاصة بالبوزيدونيا لتعزيز النتائج المحصلة. هاته النتائج تظهر تناقص ملحوظ في تركيزي الرصاص والكاديوم في جميع المصفوفات المستعملة، وأيضا قد تم ملاحظة تراكم حيوي ملحوظ للزنك على مستوى الغدة التناسلية لقنفذ البحر البنفسجي. نتائجا شاهدة على تناقص مستوى التلوث الكيميائي بالفلزات الثقيلة في منطقة بوسماعيل. في حين مصفوفة ماء البحر كشفت عن كمية معتبرة من المواد المعلقة والأملاح المغذية خاصة النترات، الفوسفات، والسيليكات. وتتماشى هذه النتائج مع معدل التغطية المنخفض الموجود في منطقة بوسماعيل.

الكلمات المفتاحية:

النظام البيئي للبوزيدونيا أوسيانیکا، المؤشرات البيولوجية، الفلزات الثقيلة، المؤشرات الحيوية، بوسماعيل، القرن الذهبي.