

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 لعلوم البحر وتهيئة الساحل
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

Spécialité : ENVIRONNEMENT

Sujet :

Biosurveillance des métaux traces chez deux espèces de moules (*Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819) et *Perna perna* (Linnaeus 1758)) dans le littoral algérois

Présenté par

- Halilou Noura
- Laib Moufida

Soutenu le jeudi 08/11/2018 devant le jury suivant :

Mr	LOURGUIOUI Hichem	Maître Assistant A	ENSSMAL	Président
Mr	BENHALIMA Moustafa	Doctorant	ENSSMAL	Encadreur
Mr	BOULAHDID Mostefa	Professeur	ENSSMAL	Co-encadreur
Mme	GHAZI Malika	Maître de conférences B	ENSSMAL	Examinatrice
Mr	ZERROUKI Mohamed	Maître Assistant B	ENSSMAL	Examineur
Mr	AROUA Mohamed	Doctorant	ENSSMAL	Invité

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ



Remerciement :

Le grand merci c'est à Dieu (الله) Le puissant qui nous a aidé à réaliser ce travail

Ce mémoire n'aurait jamais pu être réalisé sans le soutien et l'assistance de nombreuses personnes :

Tout d'abord nous voudrions adresser nos vifs remerciements à notre encadreur « **Mr Benhalima Moustafa** » pour nous avoir guidé, encadré et formé à la recherche et la réalisation de ce travail. Qu'il soit remercié pour nous avoir aidé et accompagné en manifestant une disponibilité continue et une patience sans limite.

Nous présentons notre dévouement à « **Mr Boulahdid** » pour son soutien et son accompagnement. Nous citons également tout le personnel de l'administration.

Nous voudrions montrer notre immense gratitude aux membres du jury d'avoir accepté l'évaluation de notre travail et d'avoir lu examiné les pages de notre manuscrit.

Nous exprimons bien évidemment notre ultime reconnaissance aux ingénieurs de laboratoire au niveau de Sidi Fredj et tous les ingénieurs des laboratoires de l'ENSSMAL pour leurs soutiens et la mise à notre disposition de tout le matériel nécessaire.

Nous citons également les chauffeurs, messieurs « **Nabil, Nassim, Kamel** et leurs chef **Mr Yacine** » pour nous avoir consacré une grande partie de leurs temps et nous avoir aidé lors des sorties sur le terrain.

Nous remercions très profondément nos collègues **Mm Yahia Meddah Rabia, Nemiche Nour El Houda, Hammaoui Ahlem** et **Mr Abdelmadjid Boudjebieur** pour leur aide et accompagnement.

Nous consacrons aussi ce passage pour montrer notre gratitude à tous le personnel qui nous ont accompagnés, aidé, orienté, conseillé, qu'ils ont fourni leurs efforts sans hésitation pour nous faciliter une multitude de tâches.

Pour terminer, on remercie tous ceux qu'on a oubliés involontairement

Dédicace :

A mes chers parents

A mes frères et sœurs

A l'âme de mon adorable amie

Et tous qui me sont chers pour leur soutien et amour

Laib Moutida

Dédicace

A mes chers parents

A mes frères et sœurs

A mon mari

A tous mes chères amies

Halilou Noura

LISTE DES TABLEAUX :	V
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE D'ABREVIATION	7
INTRODUCTION	1
1 GENERALITES SUR LA POLLUTION	3
1.1 Définition de la pollution marine	3
1.2 Les types de la pollution	3
1.2.1 Pollution chimique.....	3
1.2.2 Pollution microbiologique	3
1.2.3 Pollution physique	3
1.3 Les sources de la pollution	4
1.3.1 La pollution chronique.....	4
1.3.1.1 Ponctuels.....	4
1.3.1.2 Diffus.....	4
1.3.1.3 Intégrés	4
1.3.2 Pollution accidentelle	4
1.3.2.1 La pollution urbaine	4
1.3.2.2 La pollution industrielle	4
1.3.2.3 La pollution agricole	5
2 POLLUTION PAR LES METAUX LOURDS	5
2.1 Définition d'un métal	5
2.2 Problématique de la notion de 'métaux lourds'	5
2.3 Classification des métaux traces	5
2.3.1 Métaux traces essentiels.....	5
2.3.2 Métaux non-essentiels	6
2.4 Origine des métaux traces	6
2.4.1 Les sources naturelles	6
2.4.1.1 Les gisements de métaux lourds	6
2.4.1.2 Le passage du minerai au contaminant	6
2.4.2 Les sources anthropiques	7
2.4.2.1 Emission et utilisation	7
2.4.2.2 Les rejets physiques	7
2.4.2.3 Les rejets atmosphériques.....	7
2.5 Utilisation des métaux	8

2.6	Cycle biogéochimique des métaux traces dans le milieu marin	8
2.7	La spéciation des métaux traces	9
2.8	Propriétés physico-chimiques des métaux trace	10
2.9	La bioaccumulation des métaux traces	11
2.9.1	L'assimilation.....	12
2.9.2	La bioconcentration	12
2.9.3	La bioamplification (ou biomagnification)	12
2.10	Impact des métaux traces	12
2.10.1	L'homme (Toxicité)	12
2.10.2	Les organismes marins (Écotoxicité)	13
2.11	Quelques réseaux de surveillance.....	14
2.11.1	Réseau national d'observation de la qualité du milieu marin (RNO)	14
2.11.2	Réseau Intégrateurs Biologiques (RINBIO).....	14
2.12	Le choix des moules comme bio indicateur.....	14
3	GENERALITE SUR LA MOULE.....	15
3.1	Systématique	15
3.2	Morphologie	15
3.3	Anatomie	16
3.4	Physiologie :	18
3.4.1	Nutrition.....	18
3.4.2	Respiration :	18
3.4.3	Reproduction.....	18
3.5	Ecologie	18
3.5.1	Habitat.....	18
3.5.2	Distribution	19
1	CHOIX ET LOCALISATION DES STATIONS DE PRELEVEMENT	20
2	PRESENTATION DE LITTORAL ALGEROIS.....	21
2.1	La baie d'Alger	21
2.1.1	Aspect climatique et hydrodynamique	21
2.1.2	L'aspect hydrographique	22
2.1.3	Le site d'échantillonnage	22
2.1.4	La pollution de la Baie d'Alger.....	23
2.2	La baie de Bousmail.....	24
2.2.1	Aspect Climatique et hydrodynamique	24
2.2.2	Aspect Hydrographique	25
2.2.3	Les Sites d'échantillonnage	25

2.2.3.1	Zeralda.....	25
2.2.3.2	Station de dessalement de Fouka	26
2.2.3.3	La ferme aquacole de Berrard.....	26
2.2.3.4	La ferme aquacole de Cult Mar	26
2.2.4	La pollution de la Baie de Bousmail	26
2.3	La baie de Zemmouri.....	27
2.3.1	Aspect climatique et hydrodynamique	28
2.3.2	L'aspect hydrographique	29
2.3.3	Les sites d'échantillonnage	29
2.3.3.1	Boudouaou El Bahri.....	29
2.3.3.2	El Karma.....	30
2.3.4	La pollution de la baie de Zemmouri :.....	30
3	LA STATION DE REFERENCE	30
3.1	Le golfe d'Annaba.....	30
3.1.1	Les sites d'échantillonnage	31
3.1.1.1	Hnaya	31
3.1.2	Les sources de pollution	32
1	TRAVAUX SUR LE TERRAIN	33
1.1	Préparation du matériel	33
1.2	Echantillonnage	33
2	TRAVAIL AUX LABORATOIRES.....	33
2.1	Préparation et conditionnement de matériel	33
2.2	La dissection et le dé-coquillage	34
2.2.1	Nettoyage des moules.....	34
2.2.2	Les mesures biométriques.....	35
2.2.3	La pesé des moules.....	35
2.3	Lyophilisation	36
2.4	Broyage	37
2.5	La minéralisation	37
2.5.1	Minéralisation à blanc.....	37
2.5.2	Minéralisation des échantillons.....	37
2.6	Analyse par la SAA (lecture des concentrations).....	38
2.6.1	Principe de la SAA	38
2.6.2	Equipement de la SAA	39
2.6.3	Mode de calcul	39
3	LES METAUX TRACE ETUDIES	40

1	PARAMETRES STATISTIQUES.....	41
1.1	Comparaison inter-sites des tailles moyennes.....	41
2	LES TENEURS EN METAUX TRACES.....	42
2.1	Le Zinc	42
2.2	Le Manganèse	43
2.3	Le Fer	43
2.4	Le cadmium.....	44
2.5	Corrélation inter-métaux.....	45
2.6	La corrélation positive	46
2.7	La corrélation non significative.....	46
3	EVALUATION DU NIVEAU DE CONTAMINATION DES MOULES DU LITTORALE ALGEROIS PAR LES METAUX TRACES.....	46
3.1	Le niveau de pollution par le Zinc dans le littoral Algérois	46
3.1.1	La baie de Zemmouri.....	46
3.1.2	La baie d'Alger.....	47
3.1.3	La baie de Bou Ismail.....	47
3.2	Le niveau de pollution par le Cadmium dans le littoral Algérois	47
3.2.1	La baie de Zemmouri.....	47
3.2.2	La baie d'Alger.....	47
3.2.3	La baie de Bou Ismail.....	48
3.3	Le niveau de pollution par le zinc et le cadmium dans le site d'El Hnaya.....	48
4	ETUDE RETROSPECTIVE.....	48
4.1	Evolution des teneurs des métaux traces dans les stations étudiés au cours des dernières années.....	48
4.1.1	Le zinc	48
4.1.2	Le Manganèse	49
4.1.3	Le Fer.....	49
4.1.4	Le Cadmium.....	50
	CONCLUSION	4-51
	BIBLIOGRAPHIE	53

Liste des tableaux :

Tableau 1: Les propriétés physico-chimiques des métaux trace (Roger, 2011)	11
Tableau 2: Les caractères différentiels entre musculatures de <i>M.galloprovincialis</i> et <i>P.perna</i> (FAO, 2006)	17
Tableau 3 : Localisation des stations de prélèvement.	20
Tableau 4: Les différents paramètres statistiques des stations	41
Tableau 5: L'intervalle critique du coefficient de corrélation	45
Tableau 6: Tableau 1: Tableau de la corrélation inter-métaux	45

Liste des figures

Figure 1 :L'anatomie de <i>M.galloprovincialis</i> et <i>P.perna</i>	16
Figure 2: Disposition des insertions musculaire sur la coquille de <i>M. galloprovincialis</i> (b) et <i>P. perna</i> (a). (FAO, 2006)	17
Figure 5 : Carte représentant la localisation des stations de prélèvement	20
Figure 6 : Carte de la baie d'Alger	21
Figure 7: Point de prélèvement au niveau de port d'Alger	23
Figure 8 : Carte de la baie de Bou-Ismaïl.....	24
Figure 9: Point de prélèvement au niveau de Zeralda.....	25
Figure 10: Point de prélèvement au niveau de la ferme Cultmar.....	26
Figure 11: Carte de la baie de Zemmouri.....	28
Figure 12: Point de prélèvement au niveau de Boudouaou El Bahri.....	29
Figure 13:Point de prélèvement au niveau de Figulier.....	30
Figure 14:Carte de golfe d'Annaba.....	31
Figure 15: Point de prélèvement au niveau d' Hnaya.....	32
Figure 16: Le nettoyage des moules	34
Figure 17: Photo de l'espèce <i>P. perna</i>	
Figure 18: Photo de l'espèce <i>M. galloprovincialis</i>	34
Figure 19: La méthode de mesure biométrique par le pied coulisse.....	35
Figure 20: L'étape de pesé	35
Figure 21: Diagramme représentant la variation de pression en fonction de la température	36
Figure 22: Photos montrant l'opération de lyophilisation des échantillons.	36
Figure 23: Photo montre le matériel utilisé lors de broyage.	37
Figure 24: Schéma représentant les composants de SAA.....	38
Figure 25: Comparaison inter-sites des tailles moyennes dans les différentes stations d'études.....	41
Figure 26: Les concentrations du Zinc en ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes stations d'études	42
Figure 27: Les concentrations du Manganèse en ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes stations d'études	43
Figure 28: Les concentrations du Fer en ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes stations d'études	44
Figure 29: Les concentrations de Cadmium en ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes stations d'études.....	45
Figure 30: Le niveau de pollution par le Zinc dans le littoral Algérois	46
Figure 31: Le niveau de pollution par le Cadmium dans le littoral Algérois.....	47
Figure 32: Le niveau de pollution par le Zinc et le Cadmium dans le site d'Hnaya.....	48
Figure 33: L'évolution des concentrations du Zinc dans les différentes stations d'étude de 2013 jusqu'à 2018.....	49
Figure 36: L'évolution de concentration de Cadmium dans les différentes stations d'étude entre 2017et 2018	50

Liste d'abréviation

AFNOR : Association française de normalisation

Ag: L'argent

As : Arsenic

B : Bore

Ba : Baryum

Be : Béryllium

Cd : Cadmium

CGDD : Commissariat général au développement durable

Co : Cobalt

Cr : le chrome

Cu : le cuivre

ETM : Élément Trace Métallique

FAO : Organisation Des Nations Unies Pour L'alimentation Et L'agriculture

Fe : le fer

GESAMP : Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection

Hg : le mercure

IRSN : l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

LEM : Laboratoire Etudes Maritimes

Mn : Manganèse

Mo : Molybdène

Ni : Nickel

ONAB : Office National des Aliments de Bétails

ONM : Office National de Météorologie

Pb : le plomb

RINBIO : Réseau Intégrateurs Biologiques

RLM : Réseau Littoral Méditerranéen

RMC : Rhône Méditerranée Corse

Sb : Antimoine

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

Se Sélénium

Sn : Etain

SSMO : Summary Of Synoptic Meteorological Observation

Te : Tellure

Ti : Titane

Tl : Thallium

U : l'uranium

U.S : États-Unis

UNESCO : Organisation des Nations unies pour l'Education, la Science et la Culture

V : Vanadium

Zn : Zinc

INTRODUCTION

Introduction

Au cours des dernières décennies, l'activité anthropique exercée sur les zones côtières dans le monde a entraîné des bouleversements notables de la qualité biologique et chimique des eaux marines côtières. Ces milieux sont de plus en plus affectés à cause des rejets urbains, agricoles et industriels et l'utilisation de l'océan comme dépotoir pouvant mener à des hauts niveaux de pollution (Diop, et al., 2012), notamment dans les zones estuariennes et côtières qui sont les plus touchées par cette contamination.

Parmi les nombreux composés chimiques déversés dans le milieu marin côtier on trouve les métaux traces. Ces derniers sont omniprésents dans les eaux de surface avec des concentrations très faibles, en général sont de l'ordre de quelques nanogrammes par litre d'eau (ng/l) (Stellio, 2005) ; ce qui explique leur dénomination de «métaux traces» ou « éléments traces métalliques » (ETM) (Miguel, 2009).

Selon leur effet sur le biotope dans les écosystèmes marins, les éléments traces métalliques (et métalloïdes) peuvent être classés en deux grandes catégories. La première catégorie regroupe les éléments considérés comme des oligoéléments (Fe, Mn, Co, Cu, Zn...) qui sont essentiels aux métabolismes des organismes marins. La deuxième catégorie englobe des éléments métalliques toxiques (Hg, Pb, Cd...). Lorsqu'ils sont apportés en excès et concentrés le long de la chaîne alimentaire, ces éléments représentent une menace pour l'équilibre des écosystèmes et pour la santé humaine. En effet, beaucoup d'éléments métalliques présentent à la fois un caractère essentiel et toxique ; ces deux caractères étant en fonction de leurs concentrations mais surtout de leur spéciation (Tanguy, 2012).

Afin de connaître et de suivre l'évolution de la contamination chimique des différentes matrices (eau, sédiments et biotes) du milieu marin côtier par ces ETMs, nombreux programmes de recherche et de surveillance de l'environnement marin côtier ont été mis en œuvre. L'une des méthodes appliquées par ces programmes de recherche et de surveillance est l'utilisation des indicateurs biologiques, indispensable et adéquate pour l'évaluation de la qualité du milieu marin côtier.

Dans le travail présent on est focalisé sur la biosurveillance des métaux traces chez deux espèces de moules (*Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna*) dans le littoral algérois. Ce mémoire est structuré en quatre chapitres comme suit :

- Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique (généralités) qui se compose de trois principaux volets, à savoir i) des généralités sur la pollution d'une manière générale (définition, types de pollution ...etc.), ii) un regard sur la pollution par les métaux traces en abordant sa définition, ses sources, l'utilisation des métaux traces, leur impact sur l'homme et les organismes marins... constitue le deuxième volet. iii) Le troisième volet est spécifique à la biologie, la répartition et le choix des organismes utilisés dans la biosurveillance de cette étude à savoir la moule *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819) et la moule *Perna perna* (Linnaeus 1758).

- Le deuxième chapitre présente et description les zones d'étude ainsi que leurs environnements.
- Le chapitre trois présente les parties expérimentales du mémoire en décrivant le matériel et les méthodes spécifiques utilisées dans chaque manipulation effectuée au laboratoire,
- Le quatrième et dernier chapitre présente les résultats obtenus, leur discussion et un essai de leur interprétation.
- Le mémoire est clôturé avec une conclusion générale et des annexes.

GÉNÉRALITÉ

1 Généralités sur la pollution

1.1 Définition de la pollution marine

La pollution marine a été définie lors de la convention de MONTEGO-BAY 1982 des nations unies sur le droit de la mer, le terme de pollution fait l'objet d'une définition, reconnue par l'ensemble de la communauté scientifique internationale (GESAMP), comme étant : «l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans le milieu marin (y compris les estuaires) occasionnant des effets néfastes tels que des nuisances envers les ressources biologiques, des risques pour la santé de l'homme, des entraves aux activités maritimes (y compris la pêche), une altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et une dégradation des valeurs d'agréments (Ramade, 2000)».

Elle est aussi définie comme : «l'introduction directe ou indirecte de déchets, de substances, ou d'énergie, y compris de sources sonores sous-marines d'origine humaine, qui entraîne ou qui est susceptible d'entraîner des effets nuisibles pour les ressources vivantes et les écosystèmes marins, avec pour conséquence, un appauvrissement de la biodiversité, des risques pour la santé humaine, des obstacles pour les activités maritimes, et notamment la pêche, le tourisme et les loisirs ainsi que les autres utilisations de la mer, une altération de la qualité des eaux du point de vue de leur utilisation, et une réduction de la valeur d'agrément du milieu marin» (David, 2014).

1.2 Les types de la pollution

Les pollutions engendrées sont très diverses, une classification basée sur leur nature physico-chimique prédominante et les usages de l'eau qui sont à l'origine des pollutions est établie. (Ramade, 2000) A partir de la nature prédominante de la pollution, on distingue plusieurs catégories :

1.2.1 Pollution chimique

Cette pollution est due à l'entrée d'un ou plusieurs éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau marine (kankou, 2004) Ces éléments peuvent être soit des composés minéraux (engrais, métaux toxiques...), organiques (hydrocarbures, molécules de synthèses...) ou des composés organochlorés tels que les amines et les phénols... (Ramade, 2000).

1.2.2 Pollution microbiologique

Cette pollution est une forme de pollution organique, parmi ses agents causals, nous citons : Les micro-organismes pathogènes tels que les bactéries et les virus : Ils sont apportés par les eaux usées directement rejetées en mer. Les proliférations non pathogènes de micro algues causant des déséquilibres du milieu naturel et des modifications dans les chaînes alimentaires (bloom phytoplanctonique, eutrophisation). La principale cause de ces proliférations planctoniques est les apports des déchets industriels, domestiques et agricoles riches en nitrates et phosphates (kankou, 2004) .

1.2.3 Pollution physique

La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température, la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau (kankou, 2004) , ainsi que les rejets d'eau chaude des centrales nucléaires, les nappes pétrolières et les radiations ionisantes (Lacaze, 1996). Les apports des eaux chaudes diminuent

la solubilité de l'oxygène dissous du milieu, ainsi provoquant des perturbations dans le métabolisme phytoplanctonique par inhibition de la photosynthèse.

1.3 Les sources de la pollution

On estime qu'environ 80% des débris marins sont d'origine terrestre (David, 2014). Les zones côtières comptent parmi les zones les plus exposées aux différents types de pollution: qu'il s'agit d'apports directs liés à l'urbanisation et l'industrie ou d'apports indirects par les cours d'eau entre autres les rivières et par voie atmosphérique. Les 20% restant ont pour origine les activités en mer dont les rejets des hydrocarbures ou d'autres substances chimiques, les pertes de cargaison ou les immersions de déchets et des rejets atmosphériques. Ces derniers correspondent surtout à la combustion des moteurs (plomb tétra éthyle, soufre contenu dans les hydrocarbures ...) et des incinérateurs (composés aromatiques). (CGDD)

1.3.1 La pollution chronique

C'est la pollution reçue continuellement par le milieu marin d'une manière plus ou moins régulière dans le temps. Ce type de pollution nécessite une lutte au quotidien. Ces apports sont multiples et peuvent être:

1.3.1.1 Ponctuels

Se localisent généralement sur une faible superficie. Elles sont relativement faciles à identifier, à mesurer et à traiter (Brémond, et al., 2005). Elles proviennent soit d'un déversement permanent ou intermittent plus ou moins important, soit d'un événement exceptionnel imprévisible. Elles sont issues par exemple des rejets industriels, rejets urbains ...

1.3.1.2 Diffus

Correspond à l'infiltration d'eau polluée en faible concentration sur des superficies étendues, leurs mesures et leurs traitements posent donc problème particulièrement ardu (Brémond, et al., 2005).

1.3.1.3 Intégrés

Constituées des apports d'eau douce qui proviennent des fleuves et qui sont chargés par les différents types de polluants (Brémond, et al., 2005); (USEPA, 2006)

1.3.2 Pollution accidentelle

Cette pollution est exceptionnelle. Elle peut avoir des conséquences irréversibles sur la faune et la flore. Elle intervient essentiellement sur les sites industriels et cours de transport des matières dangereuses, les hydrocarbures, les produits chimiques et bio-actifs (Brémond, et al., 2005). Les polluants issus des différentes voies que se soient chroniques ou accidentelles sont d'origines multiples, on distingue :

1.3.2.1 La pollution urbaine

Elle est issue des grandes agglomérations et se manifeste par la propagation continue à partir des réseaux d'assainissement qui rejettent les eaux domestiques dans l'eau de la mer (des villes côtières) le plus souvent sans traitement préalable, ce qui conduit à la saturation de son pouvoir auto-épurateur.

1.3.2.2 La pollution industrielle

Les établissements industriels provoquent toujours des nuisances sur l'environnement malgré la multiplicité des processus et les stations de traitement..

1.3.2.3 La pollution agricole

Elle affecte les eaux souterraines et superficielles, due à l'utilisation intensive des engrais chimiques (les principaux étant les nitrates, les chlorures de potassium, les phosphates et les superphosphates). Dans cette catégorie nous trouvons aussi les pesticides (herbicides, insecticides et fongicides). Dans le passé, le mercure était largement utilisé à cause de ses propriétés fongitoxiques qui vont finir par se retrouver dans les cours d'eaux à cause de leurs solubilités.

2 Pollution par les métaux lourds

2.1 Définition d'un métal

Un métal est un élément chimique, issu le plus souvent d'un minerai. Il est doté d'un éclat particulier (dit éclat métallique), bon conducteur de la chaleur et de l'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisés par l'homme depuis l'Antiquité (Stellio, 2005). Dans le milieu aquatique, il peut former des liaisons métalliques et perdre des électrons pour former des cations (Thomas, 2007). Il est qualifié de « lourd » si sa masse volumique est supérieure à 5 g.cm^{-3} et s'il présente des risques de toxicité pour les organismes vivants (Oursel, 2015). Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles. On dit que les métaux sont présents « en traces ». Les éléments traces métalliques (ETM) correspondent aux éléments métalliques qui sont présents dans la croûte terrestre à des concentrations inférieures à 0,1% (katerine, et al., 2009).

2.2 Problématique de la notion de «métaux lourds»

Il est à noter que dans la littérature le terme «métaux lourds» est souvent utilisé comme synonyme des ETM ou éléments traces (Hodson, 2004); (John, 2002), la notion de métaux lourds est apparue lorsque les premiers biologistes ont cherché à caractériser les protéines qui contenaient du soufre. Les sels solubles dans l'eau du plomb, du mercure et du cadmium, ajoutés à une solution aqueuse d'une protéine, conduisent à la formation de précipités volumineux blancs et très denses dus à une combinaison solide entre les fonctions soufrées de ces protéines comme « albumines caséine ...) et ces ions métalliques (Picot, 2015). L'appellation métaux lourds est cependant une appellation courante et classique (Picot, 2015) mal définie qui n'a ni fondement scientifique ni source juridique. C'est la raison pour laquelle la notion d'éléments-traces métalliques, ou ETM tend à la remplacer la notion de «métaux lourds» ainsi que du fait que certains métaux toxiques ne sont pas particulièrement « lourds » (ex : le zinc), tandis que certains éléments toxiques ne sont pas des métaux mais des métalloïdes (ex : l'arsenic). Pour ces différentes raisons, la plupart des scientifiques préfèrent à l'appellation métaux lourds, l'appellation «Éléments traces Métalliques» (ETM) ou par extension « éléments traces ». (Miquel, 2001).

2.3 Classification des métaux traces

2.3.1 Métaux traces essentiels

Ils jouent souvent un rôle essentiel au développement des êtres vivants ils interviennent dans le déroulement des processus biologiques (oligo-éléments) (Miquel, 2001) leur absorption en petite quantité est indispensable au métabolisme cellulaire (Fillips, et al., 1994). Nombre d'entre eux peut s'avérer contaminants pour diverses formes de vie, lorsque leur concentration dépasse un seuil, lui-même fonction de l'état physico-chimique (spéciation) de l'élément considéré. C'est le cas du fer (Fe), du cuivre (Cu), du zinc (Zn), du nickel (Ni), du cobalt (Co),

du vanadium (V), du sélénium (Se), du molybdène (Mo), du manganèse (Mn), du chrome (Cr) et du titane (Ti) (Miquel, 2001). Les métaux essentiels influencent également le développement algal : une carence ou un excès en ces oligo-éléments indispensables au fonctionnement cellulaire sont susceptibles d'engendrer un stress physiologique chez les organismes (Lee, et al., 1995 ; in Soizic, 2006).

2.3.2 Métaux non-essentiels

Certains métaux traces dont le caractère indispensable n'a pas été démontré sont potentiellement toxiques (Adriano, 1986). Ils ne sont pas nécessaires à la vie et peuvent être même préjudiciables à des faibles teneurs (de l'ordre du $\mu\text{g/l}$) (Sigg, et al., 2001), comme le mercure (Hg), du plomb (Pb), du cadmium (Cd) et de l'antimoine (Sb) (Chiffolleau, et al., 2001). Lorsqu'ils sont apportés en excès et concentrés le long de la chaîne alimentaire, ces éléments représentent une menace pour l'équilibre des écosystèmes (Virginie, 2012) et ils sont considérés comme des contaminants stricts (Dauguet, et al., 2011).

2.4 Origine des métaux traces

Les métaux traces sont des éléments naturels, présents dans tous les compartiments de notre environnement, l'air, les sols, l'eau (Miquel, 2001). Les milieux marins sont de plus en plus affectés par l'activité humaine. L'industrialisation et le développement urbain, agricole ou touristique implantées dans les zones côtières sont les principales causes de l'augmentation de la pression exercée sur ces milieux (Diop, et al., 2012).

En effet, les sources de métaux traces peuvent être d'origine naturelle qui est issu de l'héritage des fonds géochimiques ou du cumul de l'activité anthropique.

2.4.1 Les sources naturelles

La plupart des métaux traces sont des éléments constitutifs de la croûte terrestre présents au sein des minerais. Ils sont aussi très répandus dans les sédiments océaniques. De manière générale, la resuspension des poussières contribue pour une part importante à l'émission de métaux dans l'air (Magali, 2007). Ils peuvent être mis en suspension en plus ou moins grande quantité soit par érosion éolienne soit au cours d'éruptions volcaniques, soit lors de l'exploitation des minerais qui vont finir par se déposer dans le milieu marin.

2.4.1.1 Les gisements de métaux lourds

Les gisements à caractère économique des métaux traces au sein de la lithosphère se chiffrent par millions de tonnes. Les métaux lourds sont diffusés avec l'érosion. Ils sont fixés dans les roches sous deux formes. Il y a d'une part les oxydes sont libérés de la roche par érosion et transportés tels quels dans les sols et sédiments. Il y a d'autre part, les sulfures et carbonates, très altérables, qui seront attaqués chimiquement. Une concentration anormale d'un métal peut signifier la présence d'un gisement exploitable. Mais, il existe un grand nombre d'anomalies naturelles en métaux qui n'ont pas fait l'objet d'une exploitation et qui constituent pourtant des réservoirs en métaux importants (Miquel, 2001)

2.4.1.2 Le passage du minerai au contaminant

Ces **gisements naturels** enfouis dans les roches deviennent accessibles et contaminants potentiels à quatre occasions :

- l'exploitation (les mines) et l'utilisation,

- l'érosion qui transporte les métaux vers les sols, les eaux de surface et les sédiments,
- les prélèvements d'eau. En puisant dans des nappes phréatiques de plus en plus profondes, on peut tomber sur une nappe contaminée par une roche très chargée en métaux lourds.

Cette source de mobilisation des métaux traces est la moins connue, mais aujourd'hui l'une des plus fréquentes,

- les éruptions volcaniques terrestres ou sous-marines. Une éruption volcanique libère surtout de grosses quantités de gaz carbonique et de soufre, mais aussi des métaux lourds. Une fois en circulation, les métaux se distribuent dans tous les compartiments qui intègrent la biosphère : terre, air, océan. (Miquel, 2001).

2.4.2 Les sources anthropiques

Les rejets urbains et l'utilisation de l'océan comme dépotoir peuvent mener à de hauts niveaux de pollution dans les écosystèmes marins côtiers (D'adamo, *et al.*, 2008) ; (Sabeeha, *et al.*, 2007). En effet, les eaux usées qui, dans de nombreux pays, ne sont que peu ou pas traitées, transportent et déversent une charge polluante dans les eaux côtières. (Boening, 1999) ; Daby, 2006). Les plus importantes sont les activités faisant appel à la combustion de fioul lourd ou de combustibles minéraux, les incinérateurs de déchets, les industries manufacturières de type fonderie, usines métallurgiques pour les métaux ferreux et non ferreux, l'érosion des caténaires dans le transport ferroviaire et l'érosion des plaquettes dans tout système de freinage ... Les activités de recyclage de produits périmés ou obsolètes contenant des métaux lourds. Dans tout ce processus, l'activité humaine n'a apporté aucune amélioration ou réduction dans les volumes et les quantités des métaux traces rejetées dans la nature. Elle a surtout changé la répartition des métaux, les formes chimiques (ou spéciations) et l'augmentation des flux de libération dans la nature par l'introduction de nouveaux modes de dispersion (fumées, égouts, voitures...) (Miquel, 2001).

2.4.2.1 Emission et utilisation

Il faut distinguer les utilisations présentées ci-dessus et les émissions. Dans certains cas, l'utilisation et l'émission sont égales et concomitantes. Enfin, dans d'autres cas, l'émission est retardée par rapport à l'utilisation.

2.4.2.2 Les rejets physiques

Concernent essentiellement le plomb, et dans une moindre mesure, le cadmium. Ils sont dus à deux phénomènes : d'une part, l'activité métallurgique et minière. D'autre part, les rejets sont liés au sort des produits en fin de cycle d'utilisation, chargés en plomb. C'est le cas des batteries d'automobiles. Chaque année, 7,5 millions de batteries sont remplacées ou abandonnées, soit 75.000 tonnes de plomb. Les rejets de mercure liquide sont beaucoup moins importants. Le mercure se retrouve toutefois dans les canalisations en sortie de sites d'utilisation (hôpitaux, cabinets dentaires, ...).

2.4.2.3 Les rejets atmosphériques

Les métaux et certains éléments toxiques représentent des masses importantes qui se chiffrent par dizaines (mercure, arsenic, cadmium), par centaines (chrome) ou par milliers de tonnes (plomb, cuivre ...). Les émissions atmosphériques de métaux traces ont diminué de 50 % entre 1990 et 1998 passant de 7.356 tonnes à 3.336 tonnes en 1998, dont près de la moitié pour le zinc, et un peu plus du tiers pour les trois métaux considérés. (Miquel, 2001).

2.5 Utilisation des métaux

Les Éléments Traces Métalliques (ou ETM) ont été ou sont encore utilisés dans de très nombreuses applications (industrielles, médicales, agricoles...) (Gouzy, *et al.*, 2008).

- **le fer (Fe)** et ses alliages, aciers, aciers inoxydables ; armatures du béton armé, industrie de automobile et ses accessoires, les grandes infrastructures (chemins de fer, pipeline, constructions métalliques ...), artisanat ...
- **le plomb (Pb)** destiné à plusieurs applications importantes (équipements électriques et électroniques, coloration et stabilisation de certains produits, traitement de surface de produits métalliques). pour les batteries et accumulateurs (en particulier pour les engins et automobiles, infrastructures mobiles ...), la tuyauterie, les soudures, les peintures anticorrosion et les munitions de chasse et carburants automobile (le plomb tétra éthyle ajouté à l'essence comme antidétonant) (Miquel, 2001).
- **le mercure (Hg)** pour de très nombreux usages dont les amalgames dentaires et les piles électriques, lampes fluorescentes, les produits pharmaceutiques, les pièces détachées d'automobiles, les instruments de mesures, Pesticides, industrie de chlore (Miquel, 2001).
- **l'uranium (U)** pour les quilles de certains bateaux, les munitions anti-blindage (uranium appauvri), fabrication des bombe nucléaires, et propulsion des bateaux (Brignon, 2015).
- **le chrome (Cr)**, comme pigment rouge et pour le chromage de pièces ; dans l'industrie des tanneries, des huileries, et dans les alliages avec le fer, le nickel ou le cobalt (Bouthir, *et al.*, 2004).
- **le cuivre (Cu)**, dans le domaine de l'industrie et la distribution/transport de l'énergie électronique ainsi que comme fongicide (sulfate de cuivre, notamment utilisé lors du traitement des vignes) ;
- **le cadmium (Cd)** utilisé entre autres pour les accumulateurs électriques (« piles » rechargeables) Ni-Cd (Gouzy, *et al.*, 2008) ainsi qu'en tant que cadmiage anti corrosion dans aéronautique et pour la fabrication des engrais phosphatés (Bouthir, *et al.*, 2004).
- **l'argent (Ag)** pour la bijouterie et l'argenterie, la photographie argentique, les miroirs, de nombreux usages industriels (en particulier électriques et électroniques), les monnaies et médailles (Brignon, 2015).
- **l'or (Au)** pour la bijouterie, les objets précieux, les contacts électriques, en dentisterie, instrument de mesure ...
- **le zinc (Zn)** pour la galvanisation de l'acier, pour des pièces moulées utilisées dans l'automobile, dans la protection anodique des grandes infrastructure d'acier (bateau, pipeline, chemin de fer ...) ;
- **le titane (Ti)** en raison de son inertie chimique pour la construction de réacteurs chimiques, ou pour la confection de prothèses (prothèse de hanche par exemple) ;
- **le nickel (Ni)** pour les aciers inoxydables, et divers alliages dans les batteries, les circuits électriques.
- **l'arsenic (As)** est utilisé pour traitement du bois ; batteries électriques ; semi-conducteurs ; divers équipements électriques et électroniques ; agent décolorant dans l'industrie du verre ; pigments de peinture ; fabrication de plombs de chasse.

2.6 Cycle biogéochimique des métaux traces dans le milieu marin

Les polluants métalliques parviennent à la mer aussi bien par la voie éolienne que s par les cours d'eau. Ils sont transportés dans l'atmosphère, parfois très loin du milieu d'origine, sous forme d'aérosols produits soit par les différents processus d'érosion, soit par les activités anthropiques (fumées, poussières) (Pèrés, *et al.*, 1976). Arrivé en mer (par dissolution au contact

de l'eau ou par des précipitations atmosphériques), ils seront biodisponibles et peuvent être assimilés et concentrés de ce fait par les organismes marins.

Le temps de résidence dans l'atmosphère et la distance parcourus dépendent des précipitations (qui tendent à accélérer la chute des polluants), des courants atmosphériques et en particulier des propriétés physiques ou chimiques des polluants (nature, taille, poids moléculaire ...)

La distribution de nombreux métaux dans le milieu océanique dépend largement des courants marins et des mécanismes d'adsorption. Les ions métalliques se fixent ainsi à la surface des particules en suspension qui se décantent vers le fond marin (flux particulaire) ce qui conduit à leur concentration sur le fond pour enrichir les sédiments marins (phénomène de sédimentation). Cette concentration et cet enrichissement peuvent être aussi l'œuvre de processus biologique. En effet, les animaux pélagiques participent à la sédimentation des métaux traces dans le milieu marin. [Lowan et al, \(1971\)](#) ont démontrés que 90 % du transport vertical des métaux traces est effectué sous forme de pelotes fécales, de détritits et déchets organiques d'algues et d'animaux.

Certains métaux peuvent être libérés et remis en solution bien avant d'atteindre le fond. Les polluants concentrés au niveau du sédiment du fond marin peuvent également être remobilisés dans la masse d'eau sus-jacente par l'action mécanique de remise en suspension de sédiment ou sous formes de substances chimiques issues de métabolisme des êtres vivants (bactéries).

[Olausson \(1970\)](#) souligne que 25 à 75% des métaux traces retenus par les sédiments sont libérés dans l'eau et deviennent bio-disponibles et accessibles aux organismes.

2.7 La spéciation des métaux traces

Pour bien cerner la problématique des métaux lourds, il faut avoir à l'esprit que ces éléments sont ubiquistes dans notre environnement quotidien sous différentes formes chimiques, pouvant chacune conférer une propriété particulière (solubilité, toxicité...) au métal étudié. En effet, à côté des formes minérales les plus simples, les métaux traces peuvent aussi être apportés au compartiment aquatique sous forme organique ou sous forme de complexes organométalliques (chélates) [\(Benedetto, 1997\)](#) ou encore sous de multiples formes physiques (particulaire, dissoute ou colloïdale). Une fois arrivée à destination, ils peuvent subir diverses réactions physico-chimiques et biologiques qui vont influencer leur spéciation [\(Oursel, 2013\)](#).

- **Le cadmium**

La spéciation du cadmium (Cd) est relativement plus simple que celle du mercure ou du plomb, car il ne possède qu'une seule forme ionique libre : le cation divalent (Cd^{2+}). Le cadmium à l'état fondamental (atome) n'est pas toxique pour les organismes vivants, mais il le devient après transformation à l'état ionisé (Cd^{2+}) par oxydation [\(Picot, 2015\)](#). Dans le milieu aquatique, sa spéciation et ses transformations sont gouvernées par un ensemble de variables physicochimiques du milieu (salinité, pH, potentiel redox, caractéristiques sédimentologies, nature géochimique des particules, concentration en chlorures) ou formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimiques (minérale ou organique). Le cadmium peut se retrouver sous diverses formes : Cd^{2+} ; $CdCl^+$; $CdCl_2$; $CdCl_3^-$; CdS ; $Cd(HS)^+$; $Cd(HS)^2$; $Cd(HS)^{-3}$; $Cd(OH)^+$; $Cd(OH)_2$; $CdCO_3$... [\(Stellio, 2005\)](#).

- **Le zinc**

Le zinc existe dans l'eau de mer sous diverses formes : ion hydraté ($\text{Zn}, (\text{H}_2\text{O})^{2+}$), zinc complexé par les ligands organiques (acides fulviques et humiques) et zinc adsorbé sur de la matière solide en suspension (Stellio, 2005).

Le cation libre Zn^{2+} présent dans les eaux de surface pour les conditions environnementales de pH au-dessous 8 ; tandis que l'espèce carbonatée neutre ZnCO_3 (smithsonite) est abondante dans les eaux à pH supérieur à 8. Sous l'ancien vocable de calamine, on trouve ce carbonate de zinc (smithsonite) et l'hémimorphite (silicate de zinc, $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2, \text{H}_2\text{O}$). Les deux minéraux peuvent être associés, et le premier était une des premières sources exploitées pour l'obtention de Zn. En outre, quand les eaux sont acides, Zn va être complexé avec les sulfates (SO_4^{2-}). Si les conditions environnementales sont extrêmes en acidité ou en évapotranspiration, elles peuvent provoquer la précipitation de sels sulfatés (Miguel, 2009).

- **Le manganèse**

Les états d'oxydation les plus communs pour le manganèse sont +2, +3, +4, +6 et +7. Dans le milieu aquatique, il peut se retrouver sous ces différentes formes : ($\text{Mn}^{2+}; \text{MnS}$). Il se combine avec les ions chlorures pour former le MnCl^+ ou avec les ions carbonates pour donner le carbonate de manganèse (MnCO_3) ou simplement il se lie avec l'ion hydroxyle ($\text{Mn}(\text{OH})_2$) ou aussi avec l'oxygène pour donner l'oxyde de manganèse (MnO_2) (Ghiasse et al., 2008).

- **Le fer**

Aujourd'hui, la spéciation du fer dans l'eau de mer n'est pas parfaitement connue. Dans le milieu marin, le degré d'oxydation du fer peut revêtir deux états d'oxydation : +(II) et +(III). Pour le bien cerner, il faut se contenter de ces différents types de spéciation (physique, chimique).

La spéciation physique se base essentiellement sur les catégories de taille du fer : on trouve le fer particulaire (FeP) qui rassemble les particules biogéniques et lithogéniques, le fer colloïdal (FeC) et le fer réellement dissous (FeD).

Pour le Fe^{3+} : les espèces prédominantes sont : $\text{Fe}(\text{OH})_3, \text{Fe}(\text{OH})^{2+}, \text{Fe}(\text{OH})^{4-}$ et Fe^{3+} , alors que le Fe^{2+} : peut donner les espèces hydrolysées suivantes : $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}, \text{FeCO}_3, \text{FeOH}^+$. (Vong, 2008).

2.8 Propriétés physico-chimiques des métaux trace

La réactivité des éléments traces métalliques, leurs comportements et leur transformation dans les différents milieux sont largement liés à leurs propriétés physico-chimiques qui sont présentées dans le tableau N°1

Tableau 2: Les propriétés physico-chimiques des métaux trace (Roger, 2011)

Nom	Cas	Symbole	Valence	Masse atomique	série	Densité
L'argent	7440-22-4	Ag	0, 1	107.868	Métal transitoire	10.49
Arsenic	7440-38-2	As	0, 3, 5	74.92	Métalloïde	5.73
Antimoine	7440-36-0	Sb	0, -3, 3, 5	121.7	Metal/Metalloids	6.69
Baryum	7440-69-3	Ba	2	137.32	Alcalino-terreux	3.5
Béryllium	7440-41-7	Be	2	9.012	Alcalino-terreux	1.848
Bore	7440-42-8	B	3	10.81	Métalloïde	2.3
Cadmium	7440-43-9	Cd	2	112.41	Métal transitoire	8.64
Chrome	7440-47-3	Cr	2, 3, 6	52	Métal transitoire	6.69
Cobalt	7440-48-4	Co	2, 3	58.93	Métal transitoire	8.9
Cuivre	7440-50-8	Cu	0, 1, 2	63.54	Métal transitoire	8.89
Etain	7440-31-5	Sn	2, 4	118.69	Métal transitoire	7.31
Manganèse	7439-96-5	Mn	2,3,4,6,7	54.93	Métal transitoire	7.47
Mercure	7439-97-6	Hg	0, 1, 2	200.99	Métal transitoire	13.55
Molybdène	7439-98-7	Mo	2, 3, 6	95.94	Métal transitoire	10.21
Nickel	7440-02-0	Ni	2(1,3,4)	58.69	Métal transitoire	8.9
Plomb		Pb	2, 4	207.19	Métal	11.37
Sélénium	7782-49-2	Se	-2,0,4, 6	78.96	Métalloïde	4.71
Tellure	13494-80-9	Te	2,4,6	127.6	Métalloïde Non métal	6.24
Thallium	7440-28-0	Tl	1,3,-4	204.383	Métal	11.85
Titane	7440-32-6	Ti	4	47.9	Métal transitoire	4.51
Uranium	7440-61-1	U	6,4	238.028	Métal	19.3
Vanadium	7440-62-2	V	2,3,4,5	50.94	Métal	6.11
Zinc	7440-66-6	Zn	2	65.39	Métal transitoire	7.14

2.9 La bioaccumulation des métaux traces

La bioaccumulation est le processus par lequel un organisme vivant absorbe une substance à une vitesse plus grande que celle avec laquelle il l'excrète ou la métabolise. Elle désigne donc la somme des absorptions d'un élément par voie directe et alimentaire par les espèces animales aquatiques ou terrestres (Ramade, 2000).

Elle désigne donc une combinaison des mécanismes d'excrétion vers l'environnement et de biotransformation endogène (Ribeyre, et al., 1989 in Stellio, 2005).

De nombreux paramètres sont connus pour influencer le comportement des organismes vis-à-vis des métaux en particulier leur absorption, assimilation et excrétion. Ces facteurs se répartissent en deux classes, les facteurs biotiques et les facteurs abiotiques (Cossa, 1989).

Les micropolluants ne s'accumulent pas uniquement dans l'eau (réceptrice) elle-même, ils vont être rapidement piégés dans les sédiments où ils sont en partie assimilés par différentes voies par les organismes vivants et transférés dans les chaînes alimentaires, ce qui peut engendrer l'augmentation de leur toxicité.

Le processus de la bioaccumulation se déroule en 3 étapes :

2.9.1 L'assimilation

Il existe deux voies principales d'exposition aux polluants : la voie externe (par contact) qui provoque un phénomène d'absorption, et la voie interne par assimilation ou absorption.

La concentration et la fraction soluble du polluant dans l'organisme jouent un rôle principal après avoir éliminé la fraction insoluble par les processus d'excrétion : (fèces, urine ou sueur...etc (Miquel, 2001)., Cette partie biodisponible (assimilable), se rencontre dans certains organes (organotropisme), cette réceptivité est due soit à une fonction particulière (foie ; principal siège de la métabolisation, reins ; siège de l'excrétion) soit à la composition physico-chimique de l'organe et leur affinité qui favorise le stockage du contaminant ou permettant les accumulations.

2.9.2 La bioconcentration

Elle est définie comme étant le processus par lequel une substance (ou un élément) se trouve présente dans un organisme vivant à une concentration supérieure à celle de son milieu environnant. Tous les métaux traces en général sont concernés par la bioconcentration mais plus particulièrement le mercure, lorsqu'il est présent sous sa forme organique (méthyle mercure). Ce processus d'accumulation s'exprime par un ratio entre la concentration du contaminant étudié dans le milieu et sa concentration dans l'organisme et ce ratio est dit « facteur de bioconcentration (FBC) » (Ramade, 1992).

2.9.3 La bioamplification (ou biomagnification)

Cette amplification est favorisée par les transferts trophiques des métaux entre les individus. Les concentrations peuvent augmenter au fur et à mesure que l'on progresse dans la chaîne trophique. Le polluant présent dans les producteurs primaires et les micro-organismes est ingéré par un herbivore, lui-même proie pour un carnivore, lui-même proie d'un super carnivore, animal ou homme. Au bout de la chaîne alimentaire, le consommateur final aura bioaccumulé les formes solubles des métaux (Nakib, 2010).

2.10 Impact des métaux traces

2.10.1 L'homme (Toxicité)

Les éléments traces métalliques sont particulièrement toxiques pour l'environnement et l'homme (katerine, et al., 2009). Ceci va dépendre de la nature de l'élément, car l'impact d'un métal peut largement être corrélée à sa teneur en ion libre, c'est à dire lié à la quantité de métal ionisé libre en solution et du tissu de l'organisme considéré. Ces polluants peuvent pénétrer dans le corps humain par inhalation, ingestion ou exposition cutanée (Papp, 2011). Leur toxicité est majoritairement observée dans les organes qu'elles ciblent, comme :

- **Le cadmium** qui est préférentiellement accumulé dans le rein entraînant à partir d'un certain seuil des dysfonctionnements au niveau du néphron proximal et peut être à l'origine d'une insuffisance rénale (Gagneux, 2006).
- L'excès de **manganèse** dans l'eau peut causer cirrhose du foie chez l'homme. Toutefois l'inhalation est beaucoup plus dangereuse parce qu'elle génère des pneumonies, et si l'exposition est chronique il peut causer des problèmes neurologiques (Miguel, 2009).
- **Le zinc** peut engendrer des troubles physiologiques humains qui vont comprendre des nausées et des troubles du système gastro-intestinal, et seront suivis de complications dans le système respiratoire ainsi que par des affections cutanées il est aussi soupçonné être cancérigène pour l'homme (Miguel, 2009).

Ils sont responsables de bon nombre de maladies, comme le saturnisme pour le plomb, la maladie de Minamata (en 1956 au Japon) pour le mercure, la maladie du pied noir (en 1960 à Taïwan) pour l'arsenic. Beaucoup d'entre eux ont des propriétés mutagènes et agissent par exemple sur l'appareil reproducteur (plomb), le placenta (cadmium), l'embryon (mercure) et provoquent des malformations diverses : chromosomiques, du système musculaire, du squelette chez l'enfant. L'arsenic et le zinc provoquent également des lésions cutanées très graves (katerine, et al., 2009).

2.10.2 Les organismes marins (Écotoxicité)

Les contaminants métalliques sont des micro-polluants de nature à entraîner des nuisances sur la vie aquatique qui est gouvernée par la spéciation du métal et sa concentration, les conditions physico-chimiques du milieu, les voies d'exposition et l'excrétion. La dangerosité de ces éléments dépend aussi de la mobilité, la biodisponibilité, ainsi que de la solubilité, puisque les composés en solution sont très mobiles donc facilement bio-disponibles (Mazini, 2012). Certaines espèces ont développé des moyens pour réduire leur effet comme les coraux qui éliminent la majorité des métaux traces par hypersécrétion des mucus évacuées sous forme de boulettes (Brungneaux, et al., 2004), mais l'efficacité d'autres processus biochimiques (excrétion rénale, branchiale ...) reste toujours réduite. En effet, les métaux traces sont responsables des multiples perturbations physiologiques et comportementales :

- **Le cadmium**: les individus exposés au cadmium peuvent subir des perturbations comme l'érosion des nageoires des poissons plats ou des mal fonctionnements respiratoires ou reproductrice chez les invertébrés marins qui peuvent apparaître à des concentrations de quelques microgrammes par litre, il provoque des inhibitions de croissance et anomalies dans le développement embryonnaire et larvaire chez les mollusques bivalves à partir de la concentration 0,05 à 1,2 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Boutier, et al., 1989.).

Si sa concentration dépasse 1000 $\mu\text{g/l}$, il peut affecter la fertilité des coraux, il peut également influencer le développement des larves de crustacés et du plancton (Migneaux, 2010).

- **Le zinc** : Les poissons sont relativement résistants face à l'exposition au zinc, contrairement aux mollusques et crustacés. Chez les cnidaires et particulièrement les coraux : les fortes teneurs du zinc à partir de 100 $\mu\text{g/l}$ peuvent causer une diminution de la fécondité et malformation chez les juvéniles. Il peut aussi affecter la reproduction des huîtres et la croissance des larves (Brungneaux, et al., 2004). Le zinc exerce une action toxique sur une vaste gamme d'organismes marins à partir de quelques faibles concentrations. Il inhibe la photosynthèse des phytoplanctons et des algues macrophytes. Il est aussi responsable de

diverses lésions tissulaires particulièrement chez les invertébrés aquatiques et chez les poissons (Ramade, 2005).

- **Le cuivre :** Il peut affecter de nombreux organismes : algues, mousses, micro-organismes marins, champignons microscopiques. Sa toxicité en milieu marin dépend de sa forme chimique et de son état d'oxydation. Il provoque l'inhibition de croissance du phytoplancton à partir de 4 µg/l (Miguel, 2009).

2.11 Quelques réseaux de surveillance

2.11.1 Réseau national d'observation de la qualité du milieu marin (RNO)

C'est un réseau coordonné par l'**IFREMER** a été mis en place en France par le ministère chargé de l'environnement destiné à l'évaluation des niveaux et des tendances de contamination et des paramètres généraux de la qualité du milieu dont les métaux sont inclus. C'est un réseau de type « passif » dont les premiers prélèvements ont débuté en juin 1974 et ont essentiellement porté jusqu'en 1978 sur les eaux marines. Par la suite, se sont développés les programmes de surveillance des contaminants dans la matière vivante, compartiment mieux adapté pour répondre aux objectifs du RNO. Ce réseau d'observation a été arrêté en 2006 pour être remplacé par le Réseau d'Observation de la Contamination CHimique du littoral (ROCCH). Depuis 2008 ce dispositif est l'un des rares en Europe à comporter une surveillance pérenne en routine, les organismes marins, moules et huîtres, sont alors utilisés comme indicateurs quantitatifs de la contamination (Stellio, 2005).

2.11.2 Réseau Intégrateurs Biologiques (RINBIO)

Le réseau Intégrateurs Biologiques (RINBIO), c'est un réseau de type actif, a été développé en partenariat entre l'Ifremer, l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC) et l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) depuis 1996. Il a pour objectif d'évaluer les niveaux de contamination chimique et radiochimique dans chaque unité du référentiel géographique du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Rhône Méditerranée Corse (Le SDAGE du bassin RMC délimite le littoral par une double bande terrestre et marine, découpée en cinquante zones homogènes. C'est à travers ces cadres territoriaux qu'a été conçu le Réseau Littoral Méditerranéen (RLM) pour disposer d'un dispositif intégré de connaissance et d'évaluation de la qualité des eaux littorales à l'échelle de la façade. Parmi les propositions opérationnelles du RLM, le premier objectif concrétisé a porté sur la connaissance du niveau moyen de la contamination chimique dans la zone de dilution des apports polluants affectant la partie marine de la zone côtière (champ moyen), en utilisant un organisme biointégrateur notamment les moules (Stellio, 2005).

2.12 Le choix des moules comme bio indicateur

Dans le cadre de suivi de l'évolution de la qualité des eaux marines, les démarches physico-chimiques sont primordiales car elles informent sur la présence, la nature et la quantité des contaminants. Comme les organismes aquatiques sont en constante interaction physique, chimique et biologique avec leur écosystème, l'étude et l'évaluation d'une contamination quel que soit sa source se base donc sur le choix d'organismes bio indicateurs (Pichaud, 2005), qui indique non seulement des changements environnementaux, mais fournit également des informations au sujet de l'intensité d'exposition à certaines substances par des réponses "mesurables", physiologiques, biochimiques

ou comportementales. Les informations peuvent ainsi être déduites de leur contenu en composés ou éléments particuliers, de leur structure cellulaire ou morphologique, de modifications métaboliques ou biochimiques, d'études comportementales ou de la structure des populations (Morin, 2007). En tant que filtreurs et en raison de leurs caractéristiques, les mollusques et plus particulièrement les bivalves, sont réputés être les bons indicateurs les plus fréquemment utilisés dans les programmes d'évaluation de la qualité de l'environnement (Bélanger, 2009). Selon Stellio (2005) on distingue parmi ces caractéristiques :

- Leur importance écologique et la stabilité de leur population.
- Leur abondance et leur large répartition géographique.
- Leur mode de vie sessile et euryhalin.
- leur faculté d'accumuler des métaux présents dans l'environnement dans un facteur de concentration de l'ordre de 10^3 à 10^5 par rapport à l'eau environnante.
- leur longévité et leur tolérance à différents stress.
- la facilité d'être collectés et la possibilité de les transplanter.
- leur consommation par l'homme donc vecteur de contamination.

3 Généralité sur la moule

3.1 Systématique

- Règne : Animal
- Embranchement : Mollusques
- Classe : bivalves (pélicypodes)
- Sous classe : Ptériomorphes
- Ordre : Mytiloidés
- Famille : Mytilidés
- Genre : Mytilus // Perna

Espèce : *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819) // *Perna perna* (Linnaeus, 1758).

3.2 Morphologie

Tous les *Mytilus* ont des coquilles distinctives allant du noir avec des teintes bleues ou violacées au brun foncé et parfois au marron clair. Bien que la forme de *M. galloprovincialis* diffère de celle des autres espèces de *Mytilus*, les analyses de plusieurs caractères morphologiques combinés (morphométrie) sont le plus souvent utilisées pour distinguer *M. galloprovincialis* des autres espèces de *Mytilus* (Beaumont, 2008), et permet les caractères morphologiques distinctifs de *M. galloprovincialis* définis par Lewis (1969) : Petite taille de l'empreinte du muscle adducteur antérieur; couleur violette ou pourpre du bord du manteau; la forme et la petite taille du plateau cardinal; l'extrémité antérieure pointue; le profil transversal et l'aplatissement de la

surface ventrale à l'endroit du plateau cardinal et juste en arrière de celui-ci; la bordure dorsale arrondie de la coquille.

3.3 Anatomie

La moule est un bivalve (corps mou non segmenté). Sa coquille est lisse, composée principalement de carbonate de calcium et d'oligoéléments tels que le fer et le magnésium. Grâce à deux puissants muscles, celle-ci s'ouvre pour faire entrer l'eau et se referme pour protéger l'animal des prédateurs et se maintenir fermée hors de l'eau.

La moule possède un manteau permettant de fabriquer la coquille, d'être sensible au milieu extérieur et d'enserrer les branchies (lamellibranches =branchies en lamelles) dans une cavité où circule l'eau. Grâce à ses branchies, elle filtre l'eau pour respirer et pour retenir le plancton dont elle se nourrit. Cette circulation constante est assurée par le battement de nombreux cils vibratiles recouvrant la surface des branchies.

La moule possède aussi un byssus associé à son pied : c'est un écheveau de filaments se terminant par des micro-ventouses et qui lui permet de se fixer.

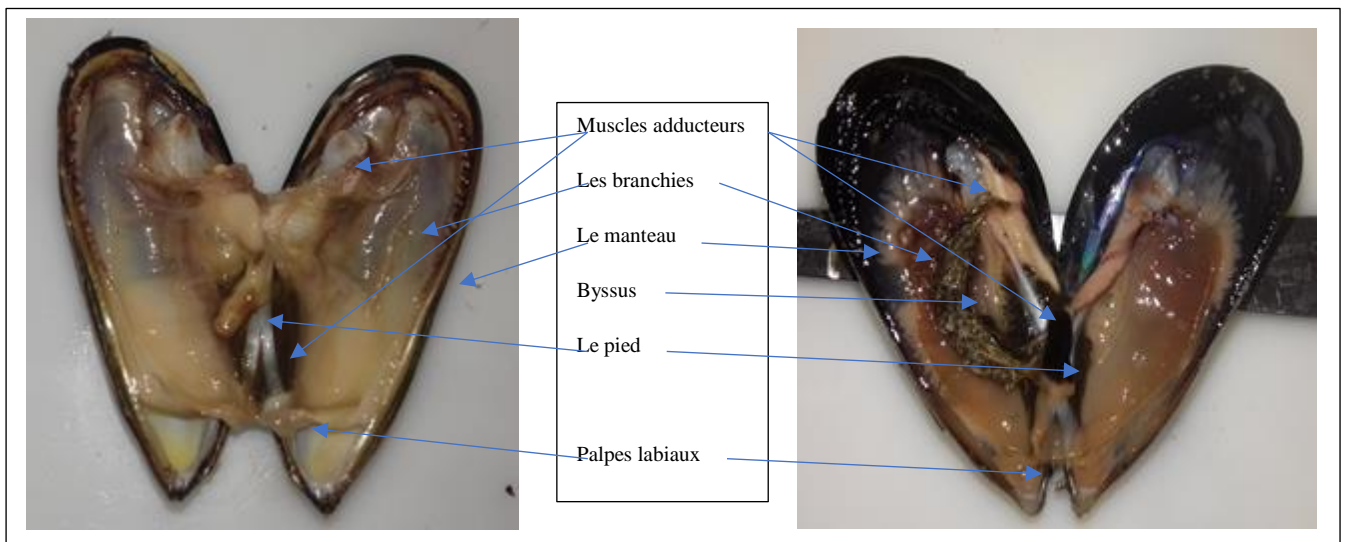


Figure 1 :L'anatomie de *M.galloprovincialis* et *P.perna*

Le tableau suivant représente les caractères différentiels entre musculatures de *M.galloprovincialis* et *P.perna*

Tableau 3: Les caractères différentiels entre musculatures de *M.galloprovincialis* et *P.perna* (FAO, 2006)

	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	<i>Perna perna</i>
Muscle adducteur antérieur	Petit	Absent
Muscle adducteur postérieur	Grande taille	Grande taille
Muscles adducteurs de pied	1 paire s'insérant dorsalement dans la région postérieure.	1 paire s'insérant dorsalement dans la région postérieure.
Muscles adducteurs de byssus (3points)	Rétracteur moyens : 1 paire formé de deux faisceaux, s'incirant dorsalement dans la région moyenne contre les rétracteurs postérieurs.	Rétracteur moyens : 1 paire muscles très épais formée de nombreux faisceaux, empreinte distincte.
	Rétracteurs postérieurs : 1 paire de deux faisceaux, s'incirant postérieurement entre les précédents et l'adducteur postérieur.	Rétracteurs postérieurs : 1 paire formé de deux faisceaux à s'insertion distincte contre l'adducteur postérieur.
	Rétracteur antérieur : 1 paire s'incirant antérieurement.	Rétracteur antérieur : 1 paire s'incirant antérieurement.

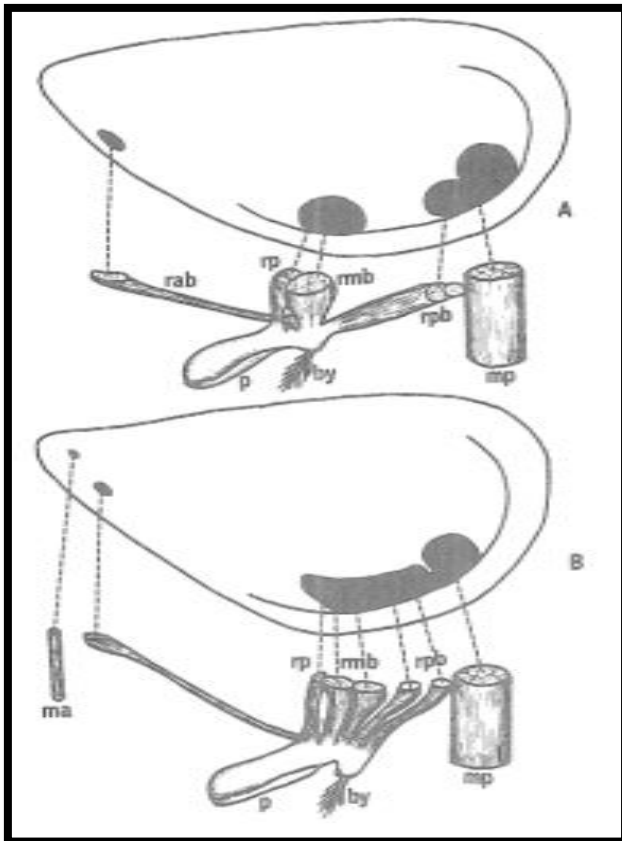


Figure 2: Disposition des insertions musculaire sur la coquille de *M. galloprovincialis* (b) et *P. perna* (a). (FAO, 2006)

ma : muscle adducteur antérieur. / **mp** : muscle adducteur postérieur.
rab : rétracteur antérieur du byssus. / **rmb** : rétracteurs moyens du byssus.
rpb : rétracteurs postérieur du byssus. / **rp** : rétracteur de pied.

3.4 Physiologie :

3.4.1 Nutrition

Les moules se nourrissent par filtration d'éléments microscopiques et des petites particules en suspension dans l'eau de mer (le phytoplancton qui sont des algues microscopiques végétales) à travers leurs branchies (Devauchelle *et al.*, 1995) . Etant donné leur fixation, ce sont des collecteurs passifs et leur nutrition est conditionnée par la circulation d'eau qui véhicule les particules alimentaires. Le taux de pompage est très élevé chez ces mollusques (de 50 à 70 litres environ par vingt-quatre heures, selon les auteurs). Lorsque l'eau véhicule des particules alimentaires, celles-ci, après passage sur le filtre branchial, sont guidées vers la région antérieure de l'animal et canalisées vers la bouche par le jeu des palpes labiaux (Arlette, 1969).

3.4.2 Respiration :

La respiration se fait par l'intermédiaire des branchies chez les Mollusques vivant dans les eaux douces ou salées, mais il faut en excepter les Pulmonés aquatiques, soit marins, soit d'eau douce. Pour les Lamellibranches, les branchies se présentent sous la forme de deux lames placées de chaque côté du corps ; en arrière se trouvent deux tubes nommés siphons, dont l'un est destiné à amener aux branchies l'eau nécessaire à la respiration et l'autre à rejeter le liquide aspiré du dehors.

Lorsque la moule est dans l'air, sa coquille reste en permanence fermée mais lorsque la moule est dans l'eau, sa coquille reste entrouverte en permanence.

Dans l'eau, les moules respirent avec deux paires de branchies qui portent de très nombreux cils. Les battements permanents de ces cils créent constamment un courant d'eau à l'intérieur de la coquille. Ainsi, les branchies peuvent absorber le dioxygène contenu dans l'eau

3.4.3 Reproduction

Chez la moule, les sexes sont séparés. Au printemps, lorsque l'eau a atteint une température suffisante, c'est le temps pour les moules de se reproduire (les lobes du manteau sont orange chez la femelle et blanchâtre chez le male). La fécondation est externe, les moules des deux sexes produisent respectivement des millions d'ovules et de spermatozoïdes qui sont déversés dans l'eau et dérivent avec le courant. Là où ils se rencontrent, ils forment un embryon qui devient après une larve. Et après quelques jours, la formation de la coquille débute (elle durera environ un mois). Les petites des moules s'attachent les unes aux autres et à leur substrat par les byssus. A chaque pente, une bonne quantité de naissain se perd, en raison des mauvaises conditions climatiques ou parce qu'il sert de nourriture à la faune marine. Ou encore, parce qu'il n'a pas trouvé d'endroit adapté pour s'y accrocher.

3.5 Ecologie

3.5.1 Habitat

C'est une espèce rencontrée sur des fonds très variés, des substrats durs (rocheux ou graveleux), ou bien meubles (sableux, vaseux). Elle est présente dans des régions soumises à des hivers rudes 7 à 8 °C de moyenne qu'à des étés chauds 26 à 29 °C (Haouchine, 1995).

Elle est capable aussi de vivre dans des zones à marées grâce à une série d'adaptations. Elle vit fixée par son byssus aux substrats solides comme la roche ou d'autres supports, tels que les cordages. Elle supporte de rester hors de l'eau un certain temps car elle garde une réserve d'eau

entre ses deux valves. Elle occupe principalement la zone intertidale et sub-tidale relativement pas profonds.

3.5.2 Distribution

M. galloprovincialis vit sur des substrats durs de la zone intertidale. On le trouve le long des côtes et des côtes rocheuses, et dans les ports abrités et les estuaires.

L'aire de répartition des espèces indigènes se trouve en Méditerranée (Barsotti *et al.*, 1968) et dans l'Atlantique Est (Gosling, 1992) et en l'Afrique du Nord (Comesana, *et al.*, 1998); il est vraisemblable que l'expansion de l'aire de répartition dans l'Atlantique a été naturelle. Cette espèce est également présente sur la côte Pacifique de l'Amérique du Nord (Donald, *et al.*, 1988), en Afrique du Sud (Grant, *et al.*, 1985) et en Australie (Hilbish, *et al.*, 2000). L'introduction dans ces régions a sans doute été due aux activités humaines. Les introductions historiques ont probablement été accidentelles, mais cette espèce est activement cultivée, de sorte que l'aquaculture peut également être la source d'introductions secondaires (Wonham, 2004).

Le genre *Perna* se cantonne en atlantique tropicale et subtropicale : Maroc, Mauritanie, Sénégal, côtes de l'Amérique du Sud. Dans le bassin méditerranéen, elle est largement répandue sur les côtes d'Afrique du nord et, particulièrement, sur le littoral Algérois (Pérès, *et al.*, 1964). La présence de cette espèce a été signalée pour la première fois par Pallery (1921) et confirmée par (Gruvel, 1926). Son aire va de Gibraltar au golfe de Tunis en Méditerranée.

**ZONE
D'ÉTUDE**

1 Choix et localisation des stations de prélèvement

Puisque ce mémoire s'inscrit dans l'optique de la biosurveillance du littoral Algérois, les localisations géographiques des stations sont proches de celles qui ont été effectuées durant les années précédentes (baie d'Alger, la baie de Bousmail et la baie de Zemouri), Sept (7) points de prélèvements ont été effectués au niveau de trois sites choisis selon le degré de pollution. Cette année un quatrième site de référence au niveau de Golf de Annaba a été rajouté. Le tableau 3 : illustre la localisation des sites de prélèvement :

Tableau 4 : Localisation des stations de prélèvement.

Les baies	Sites d'échantillonnage	Station (Cordonnées géographiques)
Alger	Port d'Alger	36°47'0.95''N et 3°3'52.03''E
Bousmail	Fouka marine	36°67'57.86''N et 2°74'65.78'' E
	Zeralda	36°43'48.52''N et 2°49'59.74''E
	ferme Berrard	36°36'44.04''N et 2°37'25.21'' E.
	La ferme CultMar	36°53'35.28''N et 2°30'39.66''E
Zemouri	El Karma	36°47'.7''N et 3°31'.25''E
	Boudouaou El Bahri	36°46'23.88''N et °24'12.58''E
Station de référence	El hnaya	36°54'44.8''N et 8°08'32.0''E

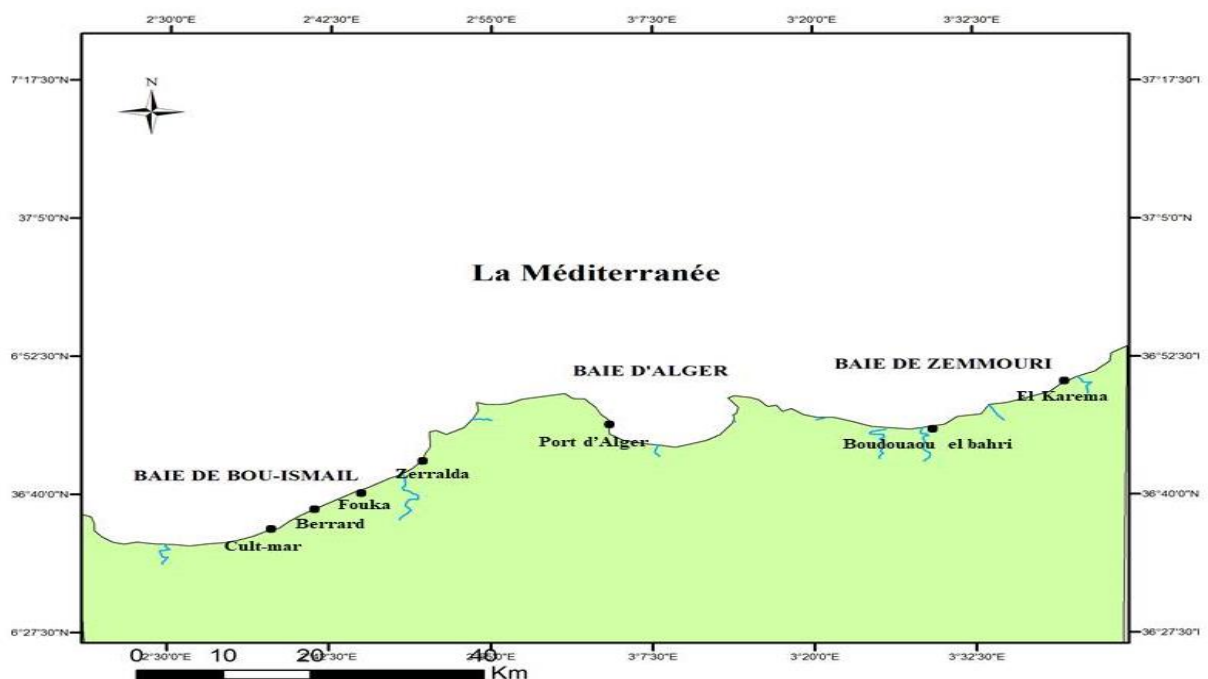


Figure 3 : Carte représentant la localisation des stations de prélèvement

2 Présentation de littoral Algérois

2.1 La baie d'Alger

La baie d'Alger (Figure 6) occupe la partie centrale de la côte algérienne. Elle s'étend au débouché du bassin de la Mitidja sur 16,09 d'Est en Ouest, et de 4.83 du Nord au Sud. Elle est délimitée géographiquement par :

- Nord : la mer méditerranée.
- Est : le cap Matifou (3°18'' Est).
- Sud : le bassin Metidja et la ville d'Alger.
- Ouest : la pointe Pescade 'Rais Hamidou' (3° 00'' Est).

(Leclair, 1972)

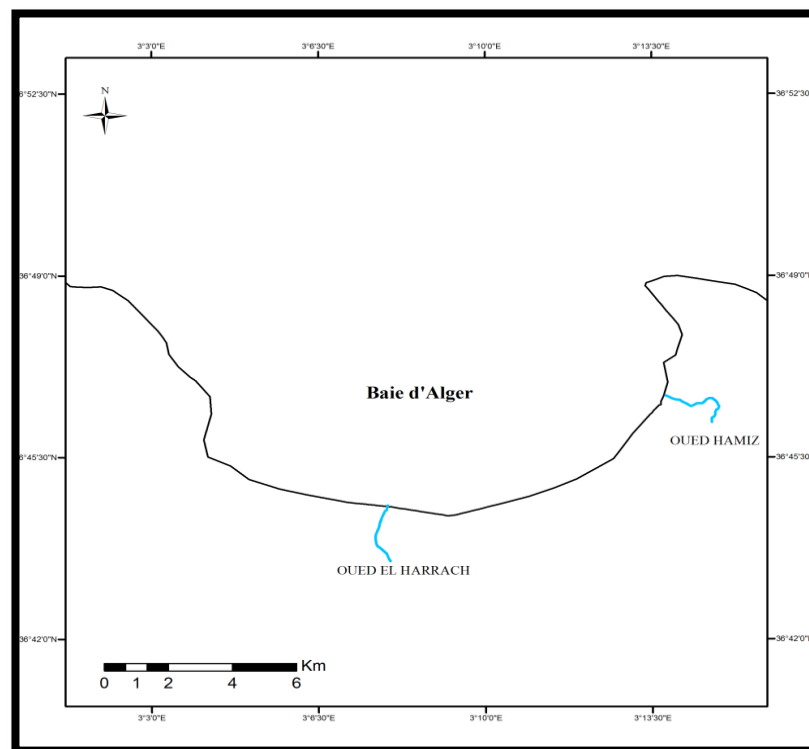


Figure 4 : Carte de la baie d'Alger

2.1.1 Aspect climatique et hydrodynamique

La connaissance des conditions météorologiques et hydrologiques est très importante pour une bonne compréhension des différents facteurs influençant l'interprétation des résultats de notre étude.

Les vents

Le régime et la vitesse des vents dans la région d'Alger sont caractérisés par :

- Des vents de secteur NE et NW : qui sont les plus fréquents et mieux marqués en été, leur vitesse se répartit entre 1 et 30 nœuds.
- Des vents de secteur W-SW, bien représentés eux aussi, soufflent principalement en hiver, de 6 à 10 nœuds.

- Des vents de secteur S-SE : qui sont les moins représentés, ils sont marqués en automne et en hiver, leur vitesse est de 6 à 10 nœuds.

(Maouche, 1987); (Leclaire, 1972)

La houle :

La houle correspond en grande partie à celle des vents, qui est un régime saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne (Leclaire, 1972). En hiver, les houles sont de direction W-NW (300°) et en été elles sont de direction N-NE (20°-40) (Madi, 2009).

D'après des études faites par le LEM en se basant sur le résultat d'une synthèse des données de la houle requises d'un document de l'U.S Naval Weather Command intitulé «summary of synoptic météorological observation »SSMO on constat que :

- Les houles de Nord-Est sont les plus fréquemment observées.
- Les fréquences d'observations sur l'année des houles d'Est et Ouest sont sensiblement identiques toujours avec une légère prédominance du secteur (Khedimi, et al, 2008).

D'une manière globale, la proximité de la mer confère à cette région un climat remarquablement tempéré, dû à l'effet modérateur de la mer. Avec une période d'hiver caractérisé par une agitation quasi permanente et une saison estivale relativement plus calme et peu agitée.

2.1.2 L'aspect hydrographique

Le réseau hydrographique de la région est constitué essentiellement de deux cours d'eau importants oued el Harrach et oued el Hamiz. Les régimes hydrauliques de ces oueds se caractérisent par un long étiage et des crues observées surtout en hivers et rarement au printemps.

- **Oued El Harrach**

Possédant un bassin versant qui couvre une superficie de 970 km², il englobe en plus d'oued El Harrach lui-même les oueds Djemââ, Smar à l'Est et Terro à l'Ouest. Il est caractérisé par de fortes dénivelées, une végétation peu dense et une pluviométrie relativement importante.

Le bilan des écoulements moyens annuels est de 5.4 m³/s. Ce dernier reçoit tous les rejets urbains, industriels et agricoles, qui influent sur la qualité physico-chimique et microbiologiques du milieu marin de la baie d'Alger. Ainsi il provoque la rupture de l'équilibre du milieu naturel (Madi, 2009).

- **Oued El Hamiz**

La superficie du bassin versant est de 160 km². Son embouchure se situe près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant vers la Mer (LEM, 1999) ; in (Khedimi, et al, 2008).

2.1.3 Le site d'échantillonnage

- ❖ **Le Port d'Alger (le 22 mai 2018)**

Le Port d'Alger est localisé à Ouest de la baie d'Alger, au pied du massif de la Bouzaréah. Il est surplombé par la ville d'Alger ayant une très forte densité.

Les coordonnées géographiques du station au port sont :

*longitude :3°3'52.03''Est

*latitude :36°47 '0.95''Nord

les activités qui y sont menées sont :

- activité de pêche et activités de commerce. le port d'Alger dessert plusieurs wilayas et assure le traitement de différentes catégories de marchandises: vracs, solides et liquides, les conteneurs, les véhicules et engins lourds, ainsi que les passagers et véhicules légers (gare maritime) (Rezgui *et al.* 2008) ; in (Moumene, 2017)

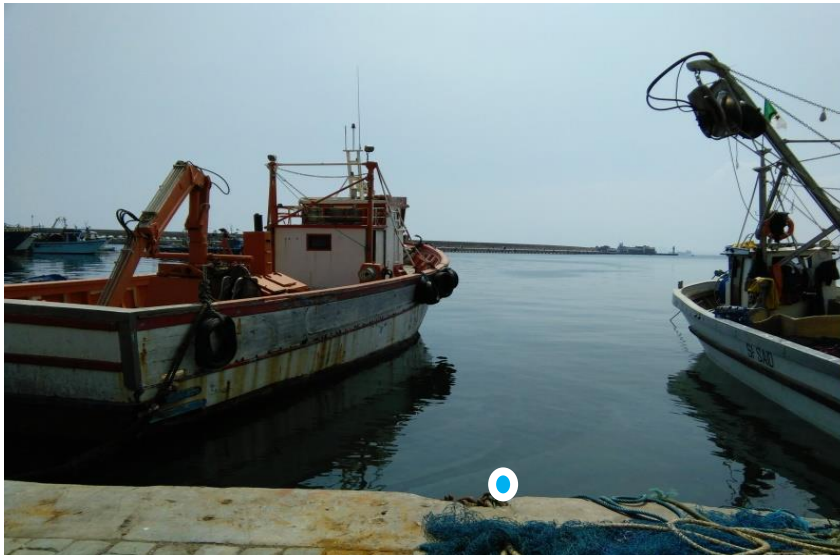


Figure 5: Point de prélèvement au niveau de port d'Alger

2.1.4 La pollution de la Baie d'Alger

La baie d'Alger reçoit une forte charge polluante par les rejets urbains, industriels et portuaires de toutes les agglomérations algéroises.

L'amplification de plusieurs activités et usages autour de la baie contribuent énormément à la dégradation de cette baie citant,

- Les activités portuaires au niveau du Port d'Alger et les égouts qui s'y déversent.

Oued El-Harrach par ses eaux qui sont chargées de déchets domestiques et industriels de toute la zone Est. Il draine la partie Est de la plaine de la Mitidja.

- Les émissaires urbains du secteur Hussein-Dey qui véhiculent les rejets domestiques et industriels de la ville d'Alger.
- Une station de traitement des eaux usées est située en amont de l'embouchure de cet oued (Baraki). Elle possède une capacité de 700 000 habitants.
- Les nombreux navires en mouillage dans la rade, constituent également un risque de pollution des eaux de la baie.
- Les apports atmosphériques, en relation avec l'intense circulation automobile, particulièrement dans la ville d'Alger (secteur Ouest).

(LEM, 1998) ; in (Moumene, 2017)

2.2 La baie de Bousmail

La baie de Bou-Ismaïl (ex Castiglione) se situe dans la partie Ouest du littoral algérois. Elle est délimitée à l'ouest par le cap du Mont Chenoua [$36^{\circ}37'54.13''N - 2^{\circ}24'13.42''E$] et elle s'étend jusqu'au cap Caxine dans la baie d'El Djamila, où elle est interrompue par la presqu'île de Sidi Fredj à l'est [$36^{\circ}48'15.98''N - 2^{\circ}53'44.16''E$]. Ayant un plateau continental de 509km², elle est très ouverte et fortement soumise aux influences du large. Avec une ouverture d'ordre de 40 km et une orientation du sud-ouest vers nord-est (Dagorne, *et al*, 1988)

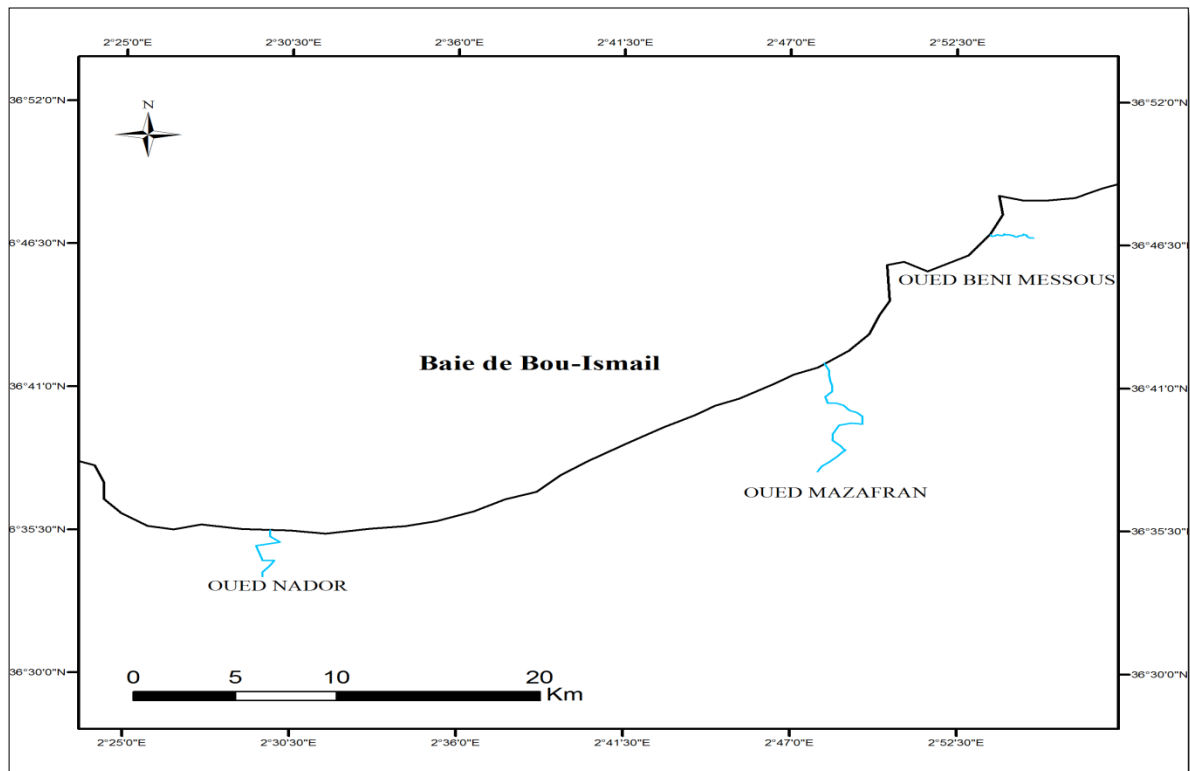


Figure 6 : Carte de la baie de Bou-Ismaïl

2.2.1 Aspect Climatique et hydrodynamique

Les vents :

Au large de la baie de Bou-Ismaïl, les vents soufflent pendant environ 90 % de l'année. Ils sont considérés comme facteur déterminant affectant de manière significative le nombre et la durée des sorties en mer (ONM). La vitesse du vent moyen annuel à Alger estimée par l'ONM (2007) sur une période allant de 1970 à 2006 est de 3.09m/s.

Une analyse globale des observations des régimes des vents faite sur 5 ans par le C.R.O.P (1983) montre que :

- Les vents de secteur Nord-Nord West ($N315^{\circ} - 360^{\circ}$) à ouest ($N270^{\circ}$ à 315°) sont les plus fréquents (représentés à 18.06 % en été, à 45,64 % en hiver). Ils s'étalent sur une longue période (de Décembre à Mai) et se caractérisent par leur violence (de 6 à 10 nœuds) (Leclaire, 1972).

- Les vents du secteur Est (N 45°-90°), peu fréquents (de 18,27 % en hiver et 57,63% en été), de durée moindre (de Juin à Octobre), ils ont des vitesses plus atténuées (de 4 à 6 nœuds).

La houle :

Les houles dominantes dans la baie de Bou-Ismaïl sont de direction West et Nord-West. (Hadouche, 2003). En hiver les houles les plus importantes sont d'origine Ouest et Nord-W est avec des amplitudes de 2 à 2,5 m. Les houles estivales sont directions Est et Nord Est avec des amplitudes généralement plus faibles 0,5 à 1,5 (Moumene, 2017).

2.2.2 Aspect Hydrographique

La baie de Bou-Ismaïl est le réceptacle de trois principaux oueds à régime irrégulier ; Oued Mazagran, Oued Nador et Oued Beni-Messous.

- **Oued Mazafran** est considéré comme étant le plus important des Oueds qui débouchent dans la baie de Bou-Ismaïl. Il est formé par la réunion des Oueds Chiffa, Djer et Bouroumi. Le régime hydrologique de cet Oued est marqué par un long étiage de Juin à début Décembre avec des débits représentant 17.38% du débit liquide annuel. Entre Décembre et Avril, ces débits sont de 82.61% selon (Braïk, 1989). Il débouche au niveau d'une plage sablonneuse entre Douaouda marine et Zéralda.

- **Oued Nador** présente un bassin versant d'une superficie de 200 à 300 km² (Braïk, 1989), il est côtier et est situé dans la partie occidentale de la baie et débouche sur la petite baie de Chenoua. Cet Oued regroupe les Oueds Bou Yersen, et Oued Merad. Son débit est de 0.89 m³/s.

- **Oued Beni-Messous** est situé entre El Djamilia et Sahel. Il traverse les communes de Beni Messous et Chéraga au nord, de Bouzaréah au nord-est, Dély Brahim à l'est, Ain Benian à l'ouest et débouche au niveau d'une plage appelée « les Dunes » qui fait partie de la baie d'El Djamilia. Son débit est faible par rapport aux deux autres Oueds et est estimé à 0.245 m³/s (Braïk, 1989).

2.2.3 Les Sites d'échantillonnage

2.2.3.1 Zéralda

Les coordonnées géographiques de positionnement sont : 36°43'48.52''N 2°49'59.74''E

Zéralda est une commune située à environ 24 km au sud-ouest d'Alger. Les prélèvements sont effectués au niveau de la plage Zéralda, en face du complexe touristique en cours de réalisation.



Figure 7: Point de prélèvement au niveau de Zéralda

2.2.3.2 Station de dessalement de Fouka

Les coordonnées géographiques de positionnement sont : 36°67'57.86'' N et 2°74'65.78'' E.

La station de dessalement de Fouka, est située dans le quartier dit "Hai Mouaz" dans la commune de Fouka (daira de Douaouda) sur une superficie de 10 ha. Cette station a une production de 120000 m³/jour

2.2.3.3 La ferme aquacole de Berrard

La localité de Berrard dispose d'une ferme conchylicole et piscicole qui a pour objectif l'élevage des moules *Mytilus galloprovincialis* et les huitres *Grassostrea gigas*.

Actuellement, il n'y a que l'élevage des moules. la ferme possède 8 filières, un grand hangar (bureaux administratifs, espaces technique pour le traitement du produit, des bassins de stockage et d'épuration et une chambre froide) une barge de 13,90m un bateau d'alimentation, 2 embarcations). C'est une possession de 1800 m² sur terre et 15 hectares de pisciculture. En 2015, la ferme a réalisé l'extension pour l'élevage piscicole en cages flottantes. Les espèces ciblées sont le bar commun, *Dicentrarcus labrax* et la daurade royale *Sparus aurata* .

2.2.3.4 La ferme aquacole de Cult Mar

Le point de prélèvement se situe à 36°53'35.28''N 2°30'39.66''E.

Cultures marines Spa (Cultmare) est une société par action La société a pour objectif l'élevage des moules (*Mytilus galloprovincialis*) et des huitres (*Ostrea gigas*) à Tipaza sur un site en concession et localisé au niveau du lieudit Kouali 3.

L'espace en mer est de 36 hectares : 20 filières conchylicole sub-surface visant une production annuelle de 400 tonnes de moules et de 50 tonnes de huitres.

Le site à terre a une superficie de 2000 m² et abrite un bâtiment de production (purification et conditionnement de coquillages).



Figure 8: Point de prélèvement au niveau de la ferme Cultmar

2.2.4 La pollution de la Baie de Bousmail

La baie de Bou-Ismaïl est une zone à vocation touristique et agricole. Elle est soumise principalement à une pollution domestique et agricole. Les rejets d'eaux usées domestique issues des agglomérations et des complexes touristiques très importants, surtout en période estivale.

L'Oued Mazafran est un vecteur important de la pollution de cette zone car il draine vers la mer tous les rejets issus des zones urbaines, industrielles et agricoles se trouvant dans le secteur ouest de la plaine de la Mitidja. A ces sources de pollutions potentielles, il convient d'ajouter les rejets de l'ensemble des unités industrielles de la zone côtière de la baie de Bou-Ismaïl.

Parmi les sources de pollution les plus importantes nous citant :

- les eaux usées des tanneries du moulin. qui se déversent dans l'oued de Beni Azza pour verser dans la baie à travers l'oued Makhlouf.
- Base centrale logistique de Beni Mered (rejet de cyanure, nickel et cuivre)
- Les ouvrages portuaires existants dans la baie : Port de Bouharoun, Khemisti, Tipaza, Sidi Fredj, El Djamila.
- Les rejets de l' **GESAMP** d'Attabla (ONAB).
- Les rejets d'Unité de tissage.
- d'une unité de transformation de plastique.

2.3 La baie de Zemmouri

La baie de Zemmouri se situe à une soixantaine de km à l'est d'Alger. C'est une baie ouverte d'environ 40 Km. Le rivage est orienté SW-NE et ses limites sont fixées par les coordonnées Lambert suivants :

- 3° 48' 49'' Est et 36° 48' 50'' (Cap Matifou) ;
- 3°43'03''Est et 36°52'35'' (Cap Djinet).

La baie de Zemmouri (ex baie de Courbet) est limitée par :

- -La Méditerranée occidentale Au Nord.
- -La plaine de la Mitidja au Sud.
- -Le Cap Djinet à l'Est.
- -Le Cap Matifou à l'Ouest

(Otmani, 2014)

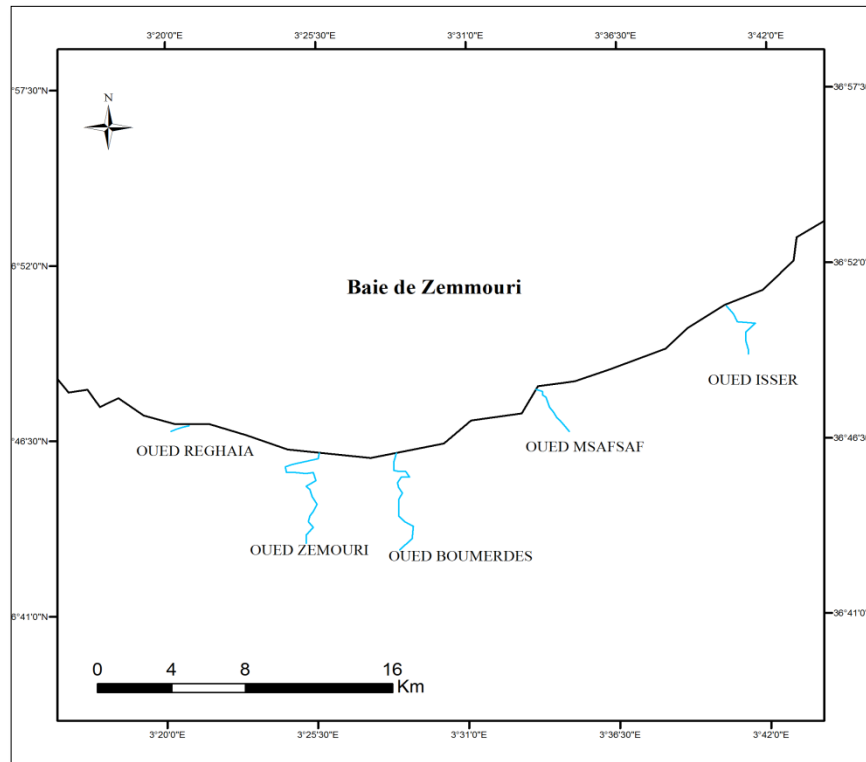


Figure 9: Carte de la baie de Zemmouri

2.3.1 Aspect climatique et hydrodynamique

La baie de Zemmouri, comme l'ensemble de la côte algérienne, est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré : il est relativement froid et humide en hiver et chaud en été.

Les vents :

Les vents d'Est sont les plus fréquents, avoisinant les 29%. Leur vitesse est faible à modérée, comprise entre 3 et 9 m/s, exceptionnellement (0.1%). Les vitesses peuvent atteindre les 12 m/s. La direction Nord-Est représente 17.5% des vents annuels. Ils sont également faibles à modérés (3 à 8 m/s) (Otmani, 2014).

La houle :

Nous constatons des houles globalement concordantes avec le régime des vents. L'agitation provenant des secteurs Ouest et Est la plus fréquente, néanmoins le secteur Ouest prédomine par les fortes houles. Pour le secteur Nord et Nord-ouest, les fréquences d'apparition sont faibles. Les houles de tempêtes proviennent essentiellement du secteur Ouest

- En hiver : Les houles d'Ouest dominent. La majorité des amplitudes sont comprises entre 1 et 3 m pouvant atteindre les 4m,
- En été : Les houles les plus dominantes sont issues du secteur Nord-Est avec des amplitudes moins faibles et on remarque aussi que les houles de secteur Ouest sont assez importantes (Otmani, 2014).

2.3.2 L'aspect hydrographique

Le réseau hydrographique de cette baie est constitué d'une multitude de cours d'eau d'importances variables subdivisés en deux grands systèmes :

- **Le système Est :**

Oued Isser : coordonnées de son embouchure sur la côte sont 36°50'21"N et 3°40'1"E.

Cet oued prend naissance à 5 km au Sud-ouest de Tablat. Son bassin versant couvre une superficie

de 4145 km². Il coule sur un lit à topographie irrégulière, constitué de bancs de sables et de graviers. Les apports solides de l'Oued Isser qui contribuent dans l'alimentation de la baie de Zemmouri en matériel hétérogène paraissent considérables (Otmani, 2014).

- **Le système Ouest :**

Constitué de petits oueds côtiers situés à l'ouest de Zemmouri El Bahri : Oued Boudouaou, oued Reghaia, oued Boumerdes et oued safsaf, qui ont des débits moins importants mais drainant principalement des régions à faciès cristallins d'où des apports de sables à minéraux variés (Lokmane, 1993). En outre, ce système draine des déchets urbains et industriels qui se déversent en mer.

2.3.3 Les sites d'échantillonnage

2.3.3.1 Boudouaou El Bahri

Les coordonnées géographiques de positionnement sont : 36°46'23.88''N 3°24'12.58''E

Est une commune de la wilaya de Boumerdes, située à 5Km au nord de Boudouaou, à 7 km à l'ouest de Boumerdes et à environ 35 km à l'est d'Alger (Moumene, 2017). Les prélèvements ont été effectués au niveau d'une plage où des espèces de moules étaient sur des roches naturelles.



Figure 10: Point de prélèvement au niveau de Boudouaou El Bahri.

2.3.3.2 El Karma

Les coordonnées géographiques de positionnement : 36°47'.7''N 3°31'.25''E

El Karma (ex Figuiers) est une commune de la wilaya de Boumerdès, Les prélèvements ont été effectués au niveau d'une plage où des espèces de moules étaient sur des roches naturelles.



Figure 11: Point de prélèvement au niveau de Figuiers

2.3.4 La pollution de la baie de Zemmouri :

La pollution de la baie est causée par tous rejets domestiques ou industriels provoquant la dégradation de la faune et la flore dans le milieu.

3 La station de référence

3.1 Le golfe d'Annaba

Le golfe d'Annaba est situé à l'extrême nord-est de la côte algérienne. Il est limité à l'Est par le Cap Rosa (8° 15' E 36° 58'N) et à l'Ouest par le Cap de Garde (57° 16'E et 36° 58'N) : La distance séparant les deux caps est d'environ 21.5 milles (40 Km).

La profondeur maximale des eaux est de 65 m. le plateau continental est accidenté et nettement restreint au nord du Cap de Garde 7.24 km puis s'élargit dans le golfe jusqu'à 2261,12 km pour se rétrécir légèrement dans le Cap Rosa (Vaissiere, et al., 1963).

Du point de vue sédimentologie, il débute par du sable fin auquel succède un champ d'herbiers de posidonies, installées sur des substrats rocheux qui se continuent par des vases terrigènes molles mélangées à du sable ou des débris coquilliers (Maurin, 1961).

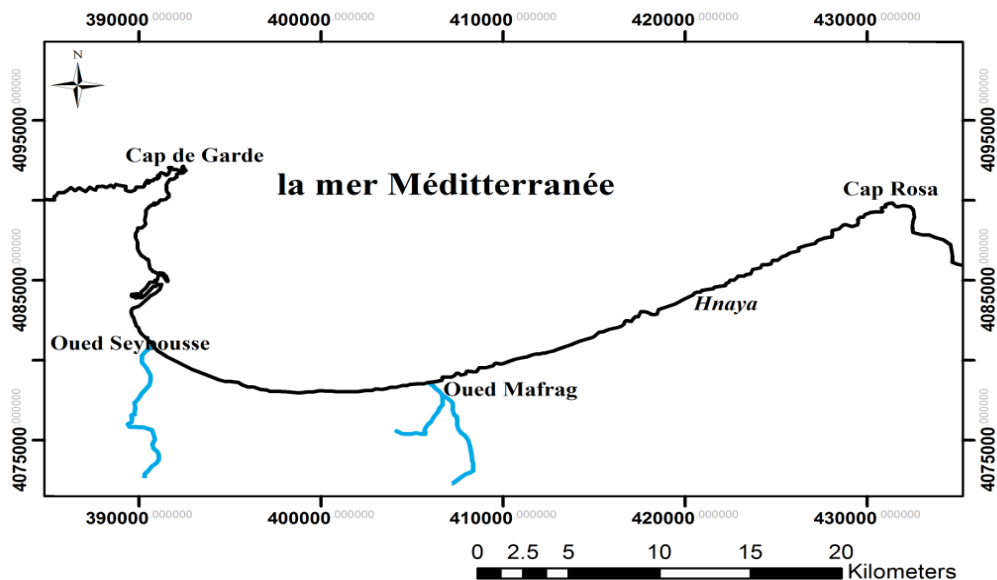


Figure 12: Carte de golfe d'Annaba

Selon [Ghaiddalia et Bourgeois \(1961\)](#), la Méditerranée est une mer chaude où les écarts de la température entre les couches superficielles et les couches profondes sont relativement accentués (jusqu'à moins de 400-500m). A cette profondeur la température se stabilise autour de 13°-14°C. Par ailleurs, [Ounissi \(1998\)](#) rapporte que l'écart de la température, entre l'eau de surface et celle se trouvant à - 50 m, dépasse 4°C ; quant à la salinité, la différence entre l'eau de surface et celle des profondeurs, elle n'excède pas 1‰.

Le vent :

Dans le golfe d'Annaba, il existe trois groupes de vents dominants : des vents de Nord-Ouest qui peuvent atteindre 9 nœuds et provoquer une hauteur de vague de l'ordre de 9 m ; des vents de Nord-Nord-Est, de 5 à 8 nœuds qui peuvent engendrer des tempêtes de courte durée ; Des vents d'Est, de 9 nœuds qui peuvent perturber la navigation et engendrer des avaries et des dégâts dans le port du fait de son ouverture orientée vers l'Est.

Par l'oued Bedjima et d'autres effluents répartis tout le long du littoral ([Rezgui et al. 2008](#)).

3.1.1 Les sites d'échantillonnage

3.1.1.1 Hnaya

Il se situe à l'Est du Golfe d'Annaba (36°54'44.8"N 8°08'32.0"E). Il est supposé n'être exposé à aucune source de pollution du fait de sa localisation assez éloignée des influences anthropiques. Il est fréquenté par les pêcheurs et les animaux ainsi que estivants en été.



Figure 13: Point de prélèvement au niveau d' Hnaya.

3.1.2 Les sources de pollution

La baie d'Annaba reçoit des rejets de plusieurs industries installées sur le bassin versant de l'oued Seybouse en plus des rejets des produits phytosanitaires (FERTIAL) qui sont directement déversés dans le Golfe. Elle reçoit également les eaux usées urbaines drainées.

MATÉRIELS

ET

MÉTHODES

1 Travaux sur le terrain

1.1 Préparation du matériel

Cette étape a été effectuée avant la sortie sur le terrain pour assurer la disponibilité de tout le matériel nécessaire pour réaliser le prélèvement et la récolte des échantillons. Il était indispensable de ramener :

- Une Glacière
- Les sachets en polyéthylènes (sacs de congélation)
- L'étiquette
- Feutre indélébile
- GPS

1.2 Echantillonnage

- Une quantité de moules a été collectée à partir de chaque station dans une période en dehors de celle de la reproduction des espèces cibles.
- Le prélèvement a été effectué à la main pour éviter toute contamination en détachant soigneusement l'espèce de la roche où elle est fixée par section de byssus en prenant soin de ne pas endommager le pied.
- Pour chaque point, les individus prélevés doivent constituer un lot homogène en taille. Et doit répondre à un nombre minimum de 50 individus.
- Par la suite, les échantillons ont été conservés dans des sacs de congélation plastique (dans plusieurs sachets pour éviter toute sorte de contamination) étiquetés (date, lieu de prélèvement.) avec un volume d'eau de la mer récupérée du même site, et transportés au laboratoire dans une glacière (au frais).
- On note les coordonnées géographiques de chaque station lors du prélèvement.
- Les échantillons sont conservés au congélateur (4°C) en attendant la dissection.

On note que les moules appartenant à la ferme aquacole (**Cultmare**) et la station de dessalement à **Fouka marine** ont été récupérées directement emballées (par les responsables des deux entreprises) sans avoir le recours au prélèvement.

Les responsables nous ont assuré que moules récupérées ont eu au moins six mois de présence sur le site avant le prélèvement.

Des mesures de précautions ont été prises pour éviter la contamination des échantillons sur le lieu de prélèvement et pendant le transport et le délai entre le prélèvement et la dissection doit être le plus court possible et les chocs thermiques doivent être évités entre le prélèvement et la fin de l'épuration.

Les détails et les photos des étapes de préparation du matériel et l'échantillonnage sont présentés dans l'annexe n°1

2 Travail aux laboratoires

2.1 Préparation et conditionnement de matériel

Selon le protocole décrit par l'A.I.E.A. (1997), le matériel utilisé au laboratoire a été bien nettoyé, conditionné et stocké avec toutes précautions nécessaires pour éviter la contamination en assurant la succession des étapes suivantes (Chiffolleau, 2003).

- Lavage au détergent commercial ;

- Rinçage à l'eau de robinet ;
- Rinçage à l'eau bi-distillée ;
- Rinçage à l'eau acidulée (HCl 10%)
- Rinçage à l'eau bi-distillée puis séchage à l'étuve à 70°

2.2 La dissection et le dé-coquillage

Les trois opérations ont été réalisées dans le laboratoire d'aquaculture au niveau de l'école.

2.2.1 Nettoyage des moules

- une fois récupérées du congélateur, on laisse les moules se décongeler.
- les moules prélevées de chaque station ont été déplacées avec un volume d'eau de la mer - provenant de la région de prélèvement- dans un bac dédiés à cet usage. Ce dernier doit être bien nettoyé et conditionné au préalable.
- Nettoyé chaque individus des moules avec un couteau en assurant l'élimination complète des épiphytes fixés sur la coquille (algue, les autres mollusques, les déchets existants ...).
- mettre les moules nettoyées dans un autre bac en attendant l'étape des mesures biométriques

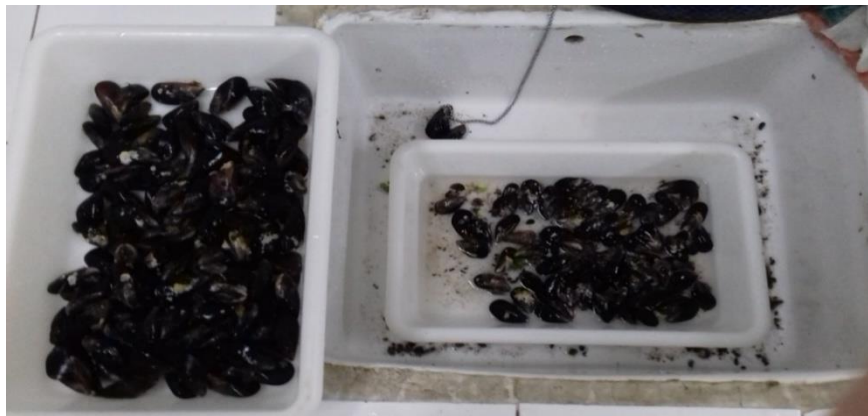


Figure 14: Le nettoyage des moules



Figure 15: Photo de l'espèce *P. perna*



Figure 16: Photo de l'espèce *M. galloprovincialis*

2.2.2 Les mesures biométriques

Pour réaliser cette étape on a utilisé le pied à coulisse de 0.01 mm de précision afin de mesurer la longueur, la largeur et l'épaisseur de chaque individu.



Figure 17: La méthode de mesure biométrique par le pied coulisse

2.2.3 La pesé des moules

Les phases suivantes sont effectuées séparément pour chaque station en assurant le nettoyage et le conditionnement du matériel selon le protocole décrit précisément :

- à l'aide d'une balance à précision : on pèse le poids complet (sans décoquiller les moules) de chaque individu pour chaque station et on le note dans un tableau.
- Une fois terminé, on décoquille la moule à l'aide d'un scalpel en acier inoxydable et une pince (bien nettoyés) et on garde la chaire dans la coquille pour éviter toute sorte de contamination venant de l'environnement ambiant.
 - On suit individuellement et séparément ces étapes et on procède à peser les différents poids de la chaire, le pot complet et les coquilles :
- on pèse un pot stérile et vide en plastique sans son couvercle puis on tare la balance.
- Ensuite, on ajoute la première chaire et on note son poids et on tare avant d'ajouter la chaire de l'individu suivant. On continue en suivant la même procédure.
- Une fois le pot est rempli, on tare la balance, on pèse le pot à nouveau et on note son poids
- On récupère le pot, on met un bout de sac de congélation pour éviter la contamination et on ferme le couvercle.
- Le pot sera étiqueté (le nom station, la date, numéro de pot). et conservé au congélateur jusqu'à l'étape suivante (la lyophilisation).



Figure 18: L'étape de pesé

2.3 Lyophilisation

La lyophilisation consiste à extraire l'eau contenue dans les substances organiques ou minérales par interaction des techniques du vide et du froid. Le produit, préalablement congelé à basse température, est placé dans une enceinte sous vide. L'abaissement de la pression en deçà du point d'équilibre (point triple) sur la courbe de tension de vapeur de l'eau entraîne une sublimation de la glace, c'est-à-dire que l'eau à l'état de glace s'élimine sous forme de vapeur sans passer par l'état liquide.

Les échantillons congelés sont immédiatement déshydratés dans le lyophilisateur à -40°C et sous vide (10^{-1} bar) pendant 48 h par un lyophilisateur (modèle Christ BETTA 1-8) figure N° 23.

Cette opération a été réalisée dans le laboratoire de recherche ENSSMAL au niveau de Sidi Fredj.

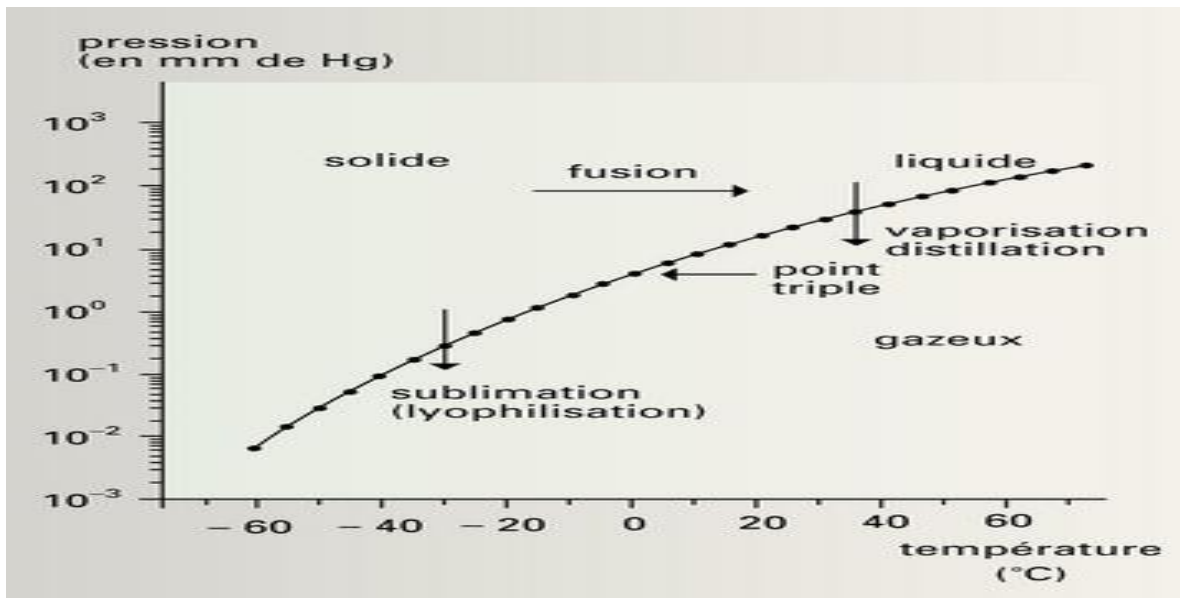


Figure 19: Diagramme représentant la variation de pression en fonction de la température



Figure 20: Photos montrant l'opération de lyophilisation des échantillons.

2.4 Broyage

- A l'aide d'un broyeur électrique pourvu d'une lame inoxydable, les échantillons lyophilisés ont été broyés pour procéder à leur minéralisation.
- on pèse les échantillons avant le broyage (après lyophilisation) et après le broyage.
- Entre station et station, il faut assurer que toute trace de poudre de la chaire précédente a été bien éliminée et le broyeur est bien nettoyé.



Figure 21: Photo montre le matériel utilisé lors de broyage.

- Chaque échantillon broyé et homogénéisé a été conservé dans des piluliers étiquetés muni d'un couvercle bien serré afin d'éviter toute sorte de contamination jusqu'au moment de la minéralisation.

2.5 La minéralisation

Procédure de prétraitement des échantillons :

La minéralisation ou l'extraction du métal total contenu dans l'échantillon, c'est une étape primordiale pour la détermination d'éléments traces. Elle permet de détruire la matière organique et libérer les métaux incorporés pour obtenir des solutions contenant la teneur totale des éléments présents dans la prise d'essai. Cette méthode précède l'analyse des métaux lourds.

Minéralisation : La digestion permet de libérer les différents métaux bio-accumulés par la partie molle des moules par extraction et mise en solution pour faciliter le dosage par absorption atomique.

La minéralisation a été effectuée par attaque acide à chaud et sous pression. Elle a été réalisée selon le protocole adopté par [Charlou et, al, 1983](#)) et [U.N.E.P. /I.A.E.A. \(1985\)](#). Cependant, certaines étapes sont modifiées en fonction des réactifs et du matériel disponible au laboratoire.

2.5.1 Minéralisation à blanc

Avant d'utiliser les godets, on procède à une minéralisation à blanc.

- On met dans chaque godet 4 ml d'acide nitrique (HNO_3) concentré à 68 %.
- On ferme hermétiquement les godets avec des bouchons à vis et on chauffe sur une plaque chauffante à 120°C pendant 2h30mn.
- On laisse refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement.
- On ouvre les godets et on verse les 4ml d'acide, et on rince à l'eau bi-distillée et on sèche dans l'étuve.

Les photos sont présentées dans **l'annexe N° : 1**.

2.5.2 Minéralisation des échantillons

Selon le protocole décrit par l'AIEA (1998), la minéralisation a lieu sous hotte aspirante dans un godet en téflon.

- On pèse environ 0.5 g de moule lyophilisé et broyé. On y ajoute 5 ml de HNO_3 puis on ferme hermétiquement les godets.
- On laisse les échantillons à température ambiante une nuit, afin d'éviter un début de réaction trop brusque (minéralisation à froid) puis on les met sur plaque chauffante à 120°C pendant 2h30min. On laisse refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de

sécurité doucement, puis on ouvre les godets et on transfère les échantillons dans les tubes en polypropylène de 50 ml.

- On rince les godets avec l'eau distillée au moins 3 fois en récupérant les rinçages des godets et on ajuste jusqu'au trait de jauge de 50 ml avec l'eau distillée.
- La solution obtenue doit être agitée. Elle est ensuite conservée au réfrigérateur à + 4°C jusqu'au moment du dosage afin d'éviter toute perte et contamination (AIEA, 2001).

Pour chaque série, on réserve un godet pour témoin blanc.

Les poids utilisés pour la minéralisation sont présents dans l'annexe N°2

2.6 Analyse par la SAA (lecture des concentrations)

La méthode de dosage utilisée est la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA).

La spectrométrie d'absorption atomique SAA constitue un outil privilégié d'analyse d'échantillons liquides (AFNOR, 1992) obtenus après extraction spécifique à partir des matières solides (analyse des roches, sédiment, sol ou biote), Cette méthode utilise l'absorption d'énergie lors de l'excitation des atomes.

2.6.1 Principe de la SAA

- La spectrométrie SAA consiste à vaporiser l'échantillon liquide à l'aide d'une flamme dirigée vers une lumière émise par une lampe appropriée émettant des longueurs d'onde caractéristiques de l'élément recherché. En traversant la flamme, les ondes lumineuses, dont les longueurs d'onde correspondent à l'élément dosé sont absorbées par les ions existés présents dans la flamme.
- Lorsque les atomes d'un élément ont été détectés, leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission de lumière d'une fréquence F bien définie et propre à cet élément dispersé dans une flamme possédant la propriété d'absorber tout rayonnement de même fréquence F. il en résulte une absorption du rayonnement incident lié à la concentration de l'élément considéré.
- Le principe de fonctionnement de l'appareil est schématisé ci-dessous

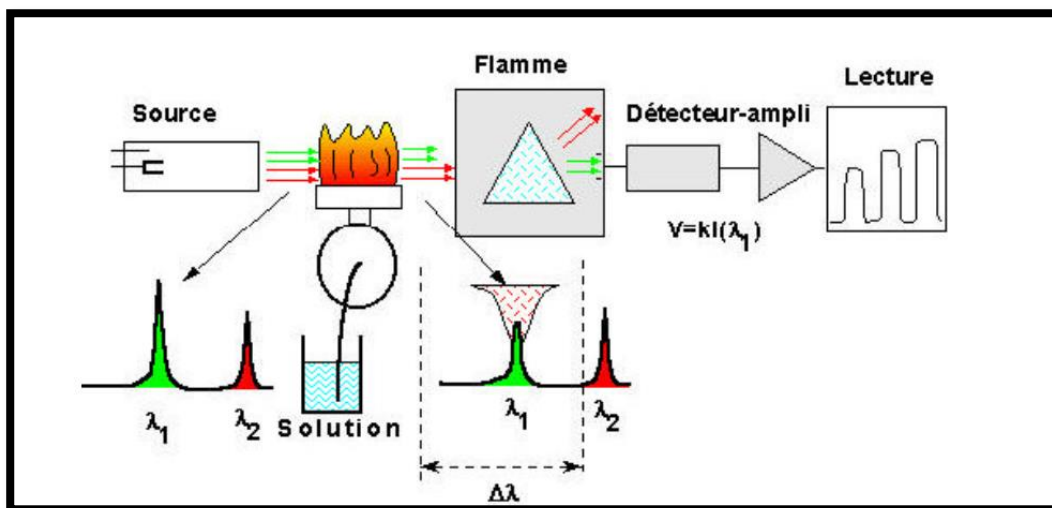


Figure 22: Schéma représentant les composants de SAA

- Cette absorption est mesurée à l'aide d'un prisme dispersif et d'une cellule photoélectrique : elle est directement proportionnelle à la concentration de l'élément qui est déterminé par l'application de la loi empirique de Beer- Lambert-Bouguer :

$$I = I_0 e^{-k.e.C}$$

$$\text{Log } I_0 / I = k.e.C = \text{DO} = \text{Abs}$$

I₀ = Rayon émis

I = Rayon transmis

K = Coefficient d'absorption atomique

e = épaisseur de la tranche

C = concentration de l'élément (y)

DO = Densité optique

Abs = Absorbance.

2.6.2 Equipement de la SAA

1) Système d'introduction de l'échantillon :

Nébuliseur pneumatique : aspire l'échantillon et le fragmente en fines gouttelettes. L'aérosol formé arrive dans une chambre de nébulisation qui élimine les gouttelettes les plus grosses

2) **Atomiseur** : Constitué d'un brûleur à fente qui est alimenté par un mélange air/acétylène ou air/protoxyde d'azote (N₂O) et qui sert à la production d'une flamme laminaire en modifiant les débits de gaz. Il est possible d'obtenir une flamme réductrice ou oxydante selon les besoins d'analyses.

3) Une source de rayonnement spécifique de l'élément à doser :

Lampe à cathode creuse : Remplie d'argon sous faible pression et comporte 2 électrodes.

La cathode est constituée de l'élément à doser ou d'un alliage (utilisable pour plus d'un élément)

Mise sous tension de la lampe : ionisation des atomes d'argon qui vont venir percuter la cathode provoquant l'excitation des atomes de celle-ci et émettent un rayonnement intense dirigé vers la flamme qu'il traverse longitudinalement (excitation des atomes de l'échantillon.)

Lampes EDL : Ampoule en quartz contenant un sel métallique soumise à un champ électromagnétique induit par une bobine d'induction qui Permet de diminuer la largeur des raies et augmente l'intensité

4) **Un système optique** : Permet de focaliser le faisceau et de sélectionner les longueurs d'onde grâce à un réseau.

Un photomultiplicateur : permet de transformer l'énergie lumineuse en courant électrique

Les éléments métalliques à concentrations relativement faibles sont analysés à l'aide d'un four à graphite (Cd, Pb... etc.). C'est un four en graphite de revêtement pyrolytique interne. Le modèle utilisé est de type «HGA 500 » de Perkin Elmer.

2.6.3 Mode de calcul

La concentration de chaque métal est déterminée à partir de l'équation de la droite d'étalonnage, cette dernière est établie par régression linéaire. Connaissant la densité optique du métal (calculée par le programme,

La concentration du métal dans l'organisme est calculée selon la formule suivante (Asso, 1982) :

$$C_{ps} = \frac{C_c}{P_s} * V$$

Où

Cps : Concentration du métal en poids sec ($\mu\text{g/g}$ ou ng/g).

Cc : Concentration du métal présent dans l'analyse ($\mu\text{g/ml}$).

Ps : Poids sec corrigé de l'échantillon biologique minéralisé (g).

V : dilution ou le volume de la solution finale après minéralisation (50 ml).

3 Les métaux trace étudiés

Le zinc :

Le zinc est l'élément chimique de numéro atomique 30 et de symbole Zn. Le zinc est un métal qui fait partie des oligo-éléments antioxydants. Dans l'organisme, il se trouve principalement au niveau des muscles et des os. Aussi, il intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides.

Le fer :

Le fer ($_{26}\text{Fe}$) est un métal ductile, malléable qui peut être aimenté. Il est le principal ingrédient de l'acier et de la fonte. Le fer est connu depuis plusieurs millénaires. L'âge du fer commence vers le XII^e siècle avant J.-C. Jusqu'au Moyen Âge, le fer était raffiné dans des bas fourneaux, donc sans production de fonte. Le haut fourneau fait cependant son apparition au V^e siècle avant J.-C. Il entre dans la composition de l'hémoglobine, l'agent qui transporte l'oxygène dans le corps humain. Le contact du fer peut provoquer des problèmes oculaires s'il demeure dans les tissus.

Le cadmium :

Le cadmium est un élément chimique de numéro atomique 48, de symbole Cd. L'isolation du cadmium a été réalisée vers 1817 indépendamment par Strohmeyer, Hermann, Karsten et Meissner. Le cadmium se présente sous la forme d'un métal argenté. Par ses propriétés physiques, on peut le rapprocher du zinc, mais il est chimiquement moins réactif. Des vapeurs jaunes toxiques sont générées lorsque le cadmium s'évapore. Ductile, malléable, le cadmium est aussi résistant à la corrosion atmosphérique. Il a un effet important sur la santé dans le sens où il peut provoquer de nombreux troubles graves. Les fumeurs en inhalent par la fumée de tabac, provoquant des dommages pulmonaires.

Le manganèse :

L'apparence du manganèse ($_{25}\text{Mn}$) est proche de celle du fer. Par son aspect, il est présent dans de nombreux alliages. Environ 80 % de ses réserves sont localisées en Afrique du Sud. Il est connu depuis des millénaires, servant de pigment aussi bien dans les peintures rupestres que dans les verres de l'Antiquité. Il a été isolé à partir du dioxyde de manganèse par Johan Gottlieb GAHN en 1774. Le manganèse est un oligoélément mais sa surconsommation le rend toxique. Les céréales, les noix, les fruits et les légumes verts sont des sources de manganèse. La dose journalière recommandée est de deux à trois milligrammes. Ce métal agit comme cofacteur pour de nombreuses enzymes (glutamine synthétase et pyruvate carboxylase notamment).

RÉSULTAT

ET

DISCUSSION

1 Paramètres statistiques

Les calculs de la moyenne, le maximum et le minimum des longueurs (taille), épaisseurs et les largeurs des différentes espèces récoltées de chaque site a été effectué à l'aide de l'Excel. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 4, ci-dessous :

Tableau 5: Les différents paramètres statistiques des stations

		les paramètres statistiques		
		épaisseur moyenne (mm)	longueur moyenne (mm)	largeur moyenne (mm)
stations	el Karma	15,58	40,32	39,19
	Boudouaou	15,20	17,14	16,07
	port d'Alger	17,14	49,02	27,93
	Zeralda	16,07	42,06	21,20
	Berrard	33,42	94,92	46,70
	Cultmare	19,17	54,80	31,99
	Fouka	23,15	64,20	63,75
	l'Hnaya	21,00	60,92	25,57

1.1 Comparaison inter-sites des tailles moyennes

La comparaison inter-sites de la taille moyenne des moules révèle que la ferme de Berrard présente le maximum avec une valeur de **94,92** mm. Les deux stations de la baie de Bou-Ismaïl (Fouka, Cultmare), la station du port d'Alger et celle d'El Hnaya présentent des tailles relativement importantes qui varient entre **49,01** et **64,19** mm.

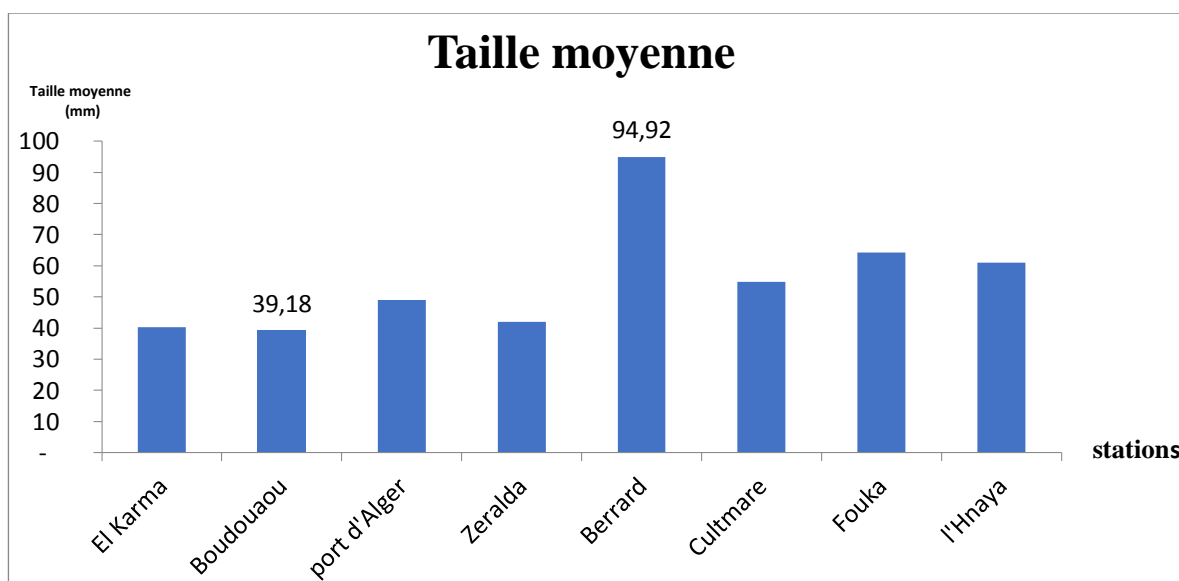


Figure 23: Comparaison inter-sites des tailles moyennes dans les différentes stations d'études

La taille la plus importante et celles relativement élevées peuvent être soumises à des conditions particulières. Celle de la ferme de Bérard est certainement en relation avec les conditions d'élevage assez favorables. Le facteur âge des moules peut être aussi important et déterminant dans ces différences. En effet, les stations de prélèvement sont dans leur majorité

faites au niveau des moulières naturelles soumises aux impacts anthropiques et surtout à la prédation humaine. Donc, les stations où on a enregistré des moules avec des tailles relativement importantes sont soit des stations protégées (le cas de la station de Bérard) soit d'accès contrôlé et/ou difficile (le cas du port d'Alger).

2 Les teneurs en métaux traces

L'analyse des métaux par spectrométrie d'absorption atomique à flamme a été appliquée pour les éléments traces suivants : le Zinc, le Manganèse, le Fer et le cadmium. L'annexe n°5 présente les concentrations de ces métaux dans chaque échantillon.

Les figures ci-dessous représentent les concentrations des métaux étudiés dans les différents sites d'études (Figuier, Boudouaou, port d'Alger, Zeralda, Berrard, Cultmare, Fouka et le site d'El Hnaya qui a été prévu comme un site de référence) pour les deux espèces étudiées : *Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna* :

2.1 Le Zinc

Les concentrations varient entre la valeur minimale de **115,19** et la valeur maximale de **270,35** $\mu\text{g/g}$ du PS, ces résultats sont relevés respectivement dans la station d'El Hnaya et celle de la ferme (Cultmare).

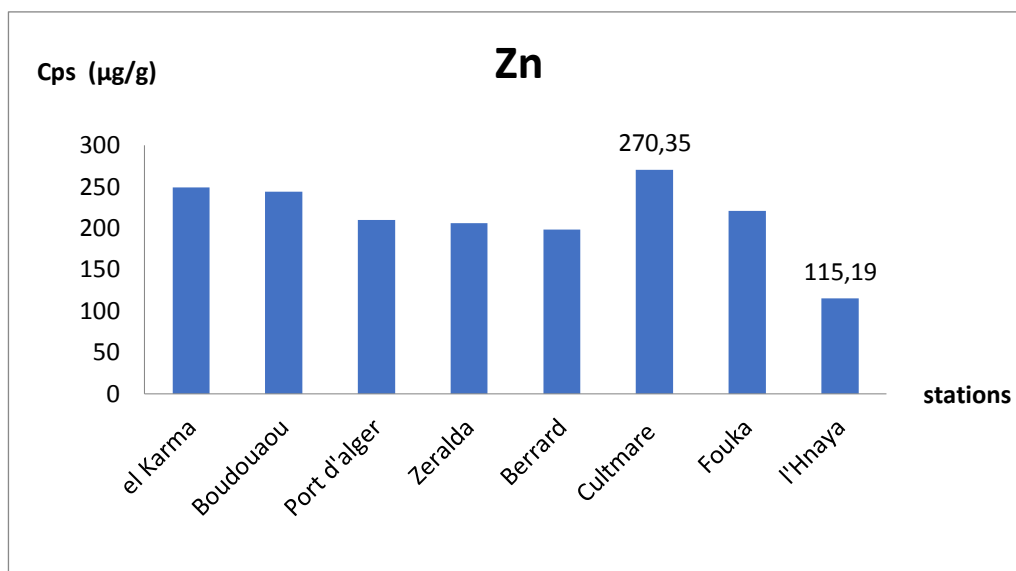


Figure 24: Les concentrations du Zinc en ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes stations d'études

Pour la plupart du reste des stations des fluctuations importantes des valeurs sont remarquées :

On ce qui concerne les stations (Figuier, Boudouaou el Bahri, Zeralda, station de dessalement Fouka et la ferme Cultmare) des teneurs relativement élevées ont été détectées, elles sont supérieure à 220 $\mu\text{g/g}$ du poids sec de la chair.

Ces fortes teneurs peuvent être liées à des facteurs multiples qui peuvent être expliqués par la forte activité anthropique agricole (épandage et l'utilisation des engrais) ou les rejets industriels, surtout dans la baie de Bou ismail et la baie de Zemmouri qui sont acheminés vers les zones côtières par les apports des oueds (oued mazafran, oued reghaia) via les rejets urbains, industriels, le ruissèlement et le lessivage des terres agricoles.

Pour le reste des stations étudiées, des teneurs modérées ou légèrement faibles à celles qui ont été constatées dans l'ensemble des stations précédentes.

Qui peuvent être lié aux activités anthropiques comme l'usure de peintures antisalissure des coques des bateaux situés au niveau du port d'Alger et les différents rejets déversés par oued el Harrach et oued el Hamiz.

2.2 Le Manganèse

Les teneurs du manganèse relevées dans les sites étudiés montrent des fluctuations de concentration limitée par les deux valeurs suivante :

- Une valeur minimale de **0,42 µg/g** observée dans la station de dessalement de Fouka marine située dans la baie de BouIsmaïl.
- Une valeur maximale de **3,69 µg/g PS** enregistrée dans la station de Boudouaou située dans la baie de Zemmouri.

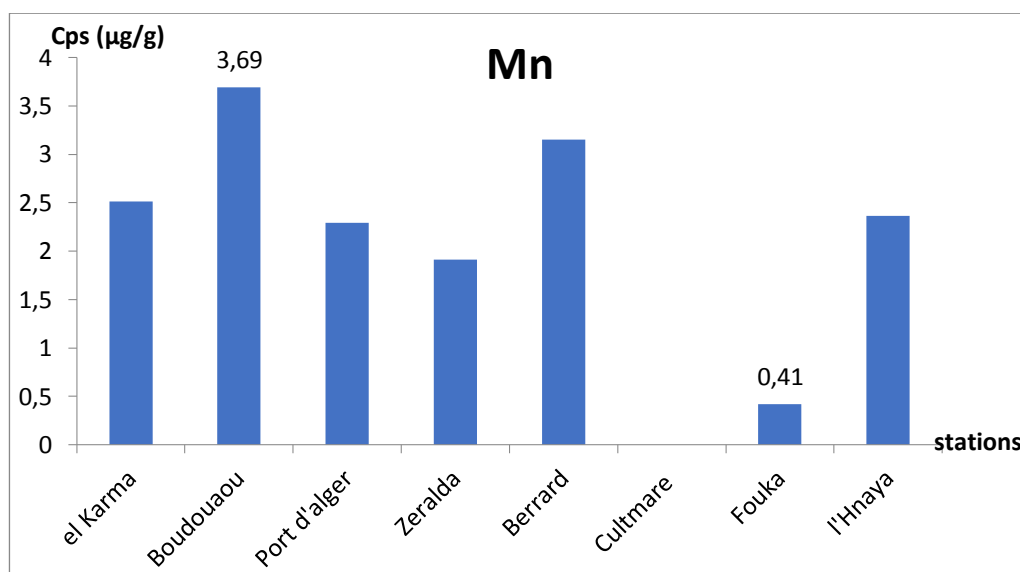


Figure 25: Les concentrations du Manganèse en (µg/g) dans les différentes stations d'études

La concentration de ce métal au niveau de la station Cultmare est en dessous de la limite de détection de la SAA utilisé dans nos analyses.

Cependant, des teneurs élevées ont été notées dans les stations suivantes : Berrard, Figuier, le port d'Alger et El Hnaya), alors que des teneurs relativement faibles ont été remarquées au niveau du reste des stations (station de dessalement de Fouka marine, Zeralda ...).

Les charges polluantes déversées dans baies du site d'étude via les rejets et les oueds ont certainement contribué à l'augmentation des teneurs du Mn dans les échantillons prélevés.

2.3 Le Fer

Les deux stations appartenant à la baie de Bouismaïl (Cultmre et Berrard) présentent des teneurs limites sachant que la ferme Berrard marque un maximum représenté par la valeur de **631,14 µg/g PS**, tandis que la valeur minimale a été remarquée dans la ferme de Cultmare (**127,9 µg/g PS**).

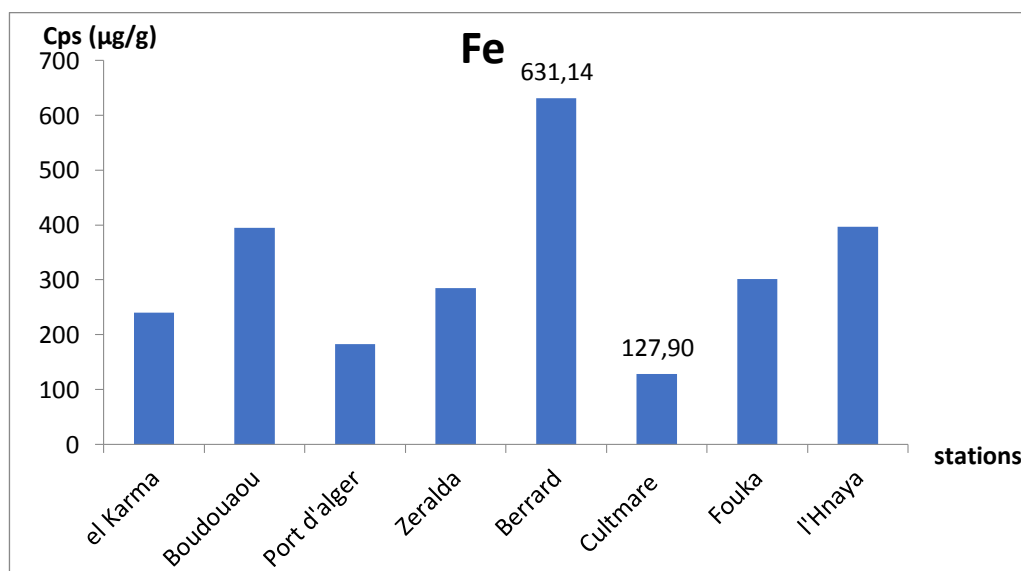


Figure 26: Les concentrations du Fer en ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes stations d'études

Des teneurs élevées ont été notées dans les stations (El Hnaya, Boudouaou, Fouka marine, Zeralda) avec des valeurs qui fluctuent entre **284,52** et **396,73** $\mu\text{g/g}$.

Ces teneurs observées peuvent être liées à la forte utilisation du fer dans les différentes activités anthropiques (industrie et autres) et le lessivage des terres contenant le fer comme élément majeur.

Contrairement à ce qui a été supposé pour la station d'El Hnaya comme station de référence, elle présente une concentration importante en fer avec une valeur de **396,70** $\mu\text{g/g}$ en poids sec. Alors que le port d'Alger montre une valeur relativement faible **182,93** $\mu\text{g/g}$.

En revanche, des concentrations légèrement faibles ont été relevées dans le reste des stations (le port d'Alger, Cultmare et Figuiet).

Cependant, nous notons que le fer est un oligo-élément très important qui se présente très souvent avec de très fortes concentrations dans le milieu naturel, n'est pas vraiment considéré comme un métal polluant.

2.4 Le cadmium

Comme le cadmium se présente dans la nature avec des teneurs faibles ou très faibles, surtout dans la matrice biologique, l'analyse de ce dernier a été effectuée à l'aide du four graphite.

Parmi les stations analysées, la valeur maximale de 0,38 $\mu\text{g/g}$ PS a été observée dans le site de **Fouka marine** (station de dessalement) suivit directement par la ferme **Cultmare** qui montre aussi une valeur relativement importante 0,32 $\mu\text{g/g}$ PS. Cependant, la concentration la plus faible est enregistrée au niveau de la station d'El Hnaya avec une valeur de 0,017 $\mu\text{g/g}$ PS. Cette concentration se trouve justifiée, car cette station a été choisie comme "station de référence" vue l'absence de sources de pollution potentielles dans la région.

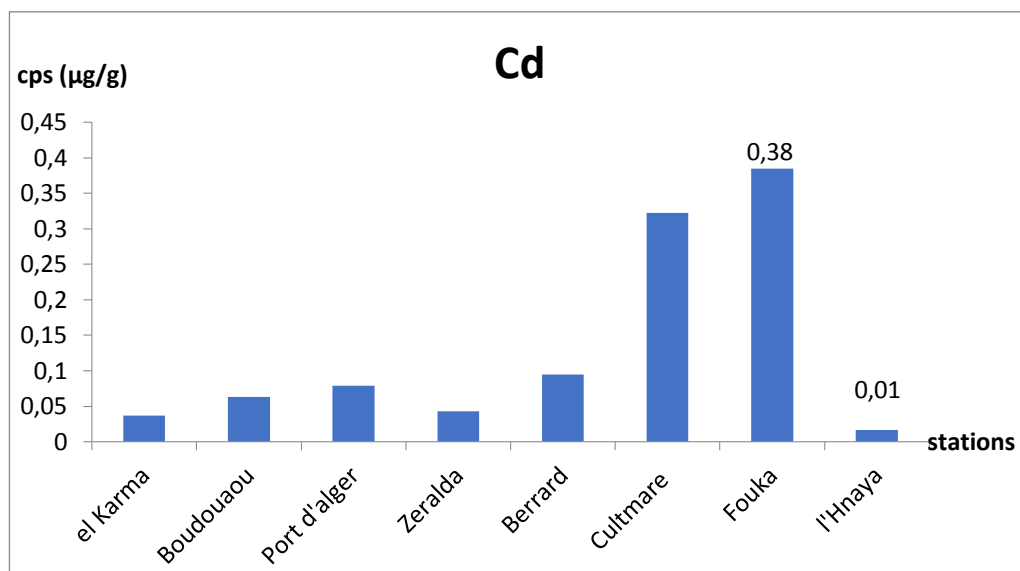


Figure 27: Les concentrations de Cadmium en (µg/g) dans les différentes stations d'études

2.5 Corrélation inter-métaux

Afin de connaître les relations de dépendance entre les différents métaux étudiés dans les moules de la zone d'étude, des corrélations inter métaux ont été effectuées.

Corrélation par régression linéaire aux moindres carrés :

Suite à l'obtention de la droite de régression représentant l'équation ($Y = aX + b$) par la méthode des moindres carrés, la détermination du coefficient de corrélation sert à estimer l'importance de la corrélation entre deux éléments métalliques.

Tableau 6: L'intervalle critique du coefficient de corrélation

valeur de R	$1 > r > 0.5$	$0.5 > r > -0.5$	$-1 < r < -0.5$
Signification	corrélation positive significative	corrélation non significative	Corrélation négative significative.

Pour les couples d'éléments étudiés, le r^2 a été calculé et les résultats sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 7: Tableau de la corrélation inter-métaux

Corrélation	R ²	R	équation de la droite (Y)	Interprétation
Zn-Mn	0,07	0,26	-0,0071x + 3,567	non significative
Zn-Fe	0,2	0,45	-1,5077x + 642,65	non significative
Zn-Cd	0,18	0,43	0,0013x - 0,1465	non significative
Mn-Fe	0,37	0,61	76,104x + 164,48	Significative
Mn-Cd	0,69	0,83	-0,0928x + 0,3198	Significative
Fe-Cd	0,10	0,316	-0,0003x + 0,2213	non significative

2.6 La corrélation positive

Les résultats obtenus présentent deux corrélations significatives entre les métaux de deux couples (Mn-Fe) et (Mn-Cd). En effet, la corrélation positive significative entre le Mn et le Fe ($r^2= 0,613$) et la forte corrélation positive entre le Mn et le Cd ($r^2= 0,83$) peuvent signifier que les deux espèces de moules (*Mytilus galloprovincialis*) et (*Perna perna*) dans le littoral algérois bioaccumulent ces métaux traces d'une façon similaire. Ces corrélations peuvent signifier aussi que les couples de métaux peuvent avoir des origines communes qui peuvent être naturelles et/ou anthropiques.

2.7 La corrélation non significative

Les corrélations des autres couples de métaux (Zn-Mn, Zn-Fe et le couple Zn-Cd) sont faibles ou non significatives. Ceci renseigne sur les relations indépendantes des éléments entre eux dans le processus de bioaccumulation par les moules et dans le comportement par les processus géochimiques dans le milieu marin naturel.

3 Evaluation du niveau de contamination des moules du littoral algérois par les métaux traces

La détermination des niveaux de qualité des différentes stations étudiées est basée sur la Grille de qualité proposée par **Mersch (1993)** (voir l'annexe N°3) pour interpréter les concentrations des différents métaux ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) observées dans les moules. Les résultats obtenus sont présentés dans les figures ci-dessous.

3.1 Le niveau de pollution par le Zinc dans le littoral Algérois

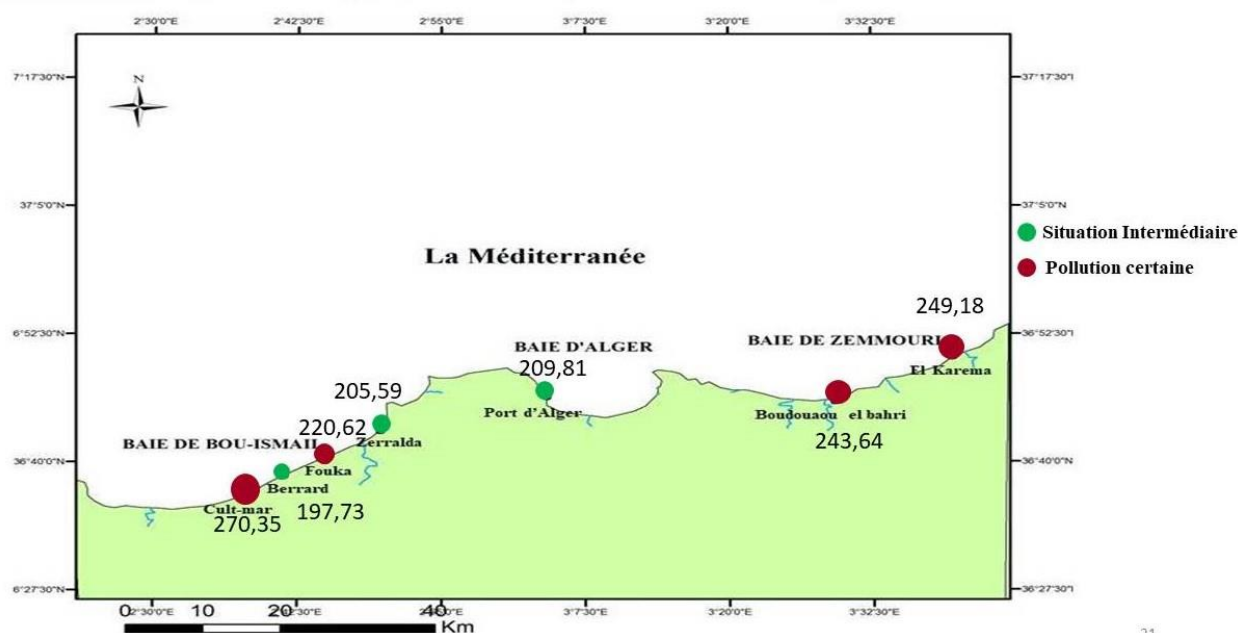


Figure 30: Le niveau de pollution par le Zinc dans le littoral Algérois

3.1.1 La baie de Zemmouri

Les teneurs élevées du Zn relevées dans la baie de Zemmouri indiquent une pollution certaine liée aux activités industrielles utilisant le Zn dans leurs processus (peintures...) et leurs rejets dans les cours d'eau qui se déversent dans la baie. Alors que, la faible concentration de cadmium dans cette zone représente une absence de pollution par ce métal ce qui indique une rareté de son utilisation dans les différentes activités (urbaines, industrielles ou agricoles).

3.1.2 La baie d'Alger

Les teneurs modérées constatées dans les deux stations appartenant à la baie d'Alger, contrairement à l'attendu indiquent une utilisation non abusée de ce métal dans les différentes activités, sachant que le zinc représente un métal inclus dans les peintures antisalissure des bateaux existant dans le port d'Alger sans oublier le diversement des deux cours d'eaux oued el Harrach et oued el Hamiz.

La baie d'Alger montre aussi des valeurs faible de Cadmium, elles sont inférieure à $1 \mu\text{g/g}$ du poids sec de moules.

3.1.3 La baie de Bou Ismail

L'ensemble des quatre stations situant dans a baie de Bou Ismail indique une existence certaine d'une source de pollution par le Zn acheminée par les différents cours d'eau comme oued Mazafran, oueds beni-messous et Nador...

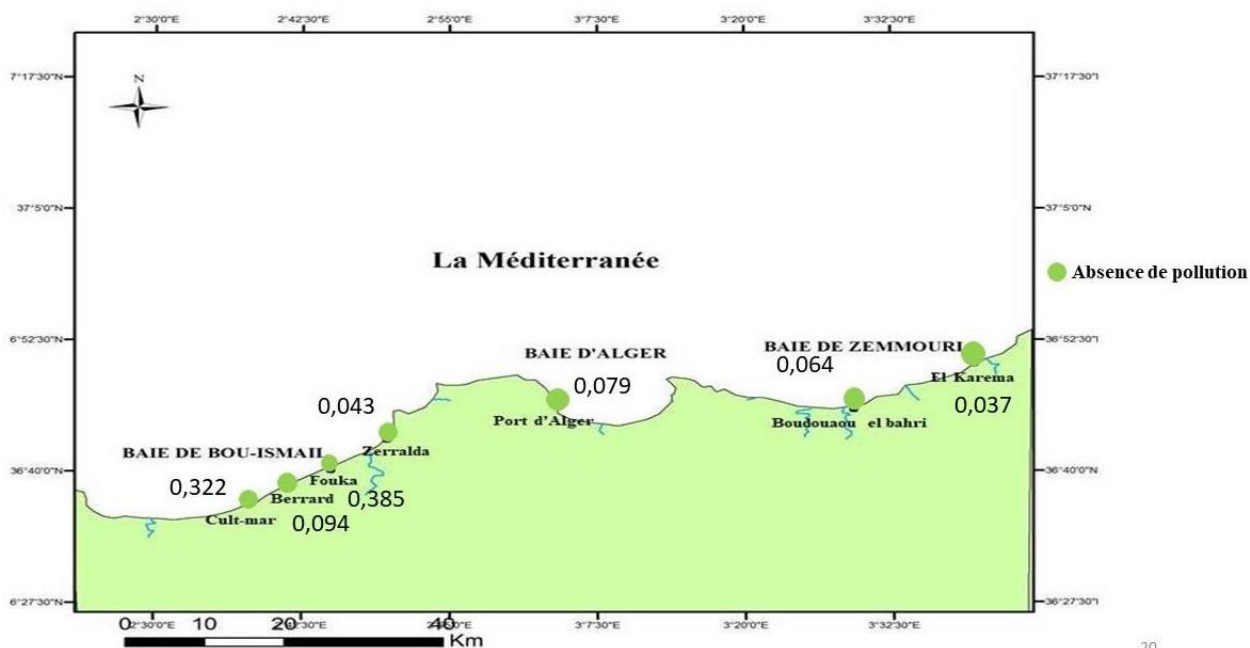


Figure 31: Le niveau de pollution par le Cadmium dans le littoral Algérois

3.2 Le niveau de pollution par le Cadmium dans le littoral Algérois

3.2.1 La baie de Zemmouri

La faible concertation de cadmium dans cette zone représente une absence de pollution par ce métal ce qui indique une rareté de son utilisation dans les différentes activités (urbaines, industrielles ou agricoles).

3.2.2 La baie d'Alger

La baie d'Alger montre aussi des valeurs faible de Cadmium, elles sont inférieure à $1 \mu\text{g/g}$ du poids sec de moules.

3.2.3 La baie de Bou Ismail

L'ensemble des quatre stations situant dans la baie de Bou Ismail indique une existence certaine d'une source de pollution par le Zn acheminée par les différents cours d'eau comme oued Mazafran, oueds beni-messous et Nador ...

3.3 Le niveau de pollution par le zinc et le cadmium dans le site d'El Hnaya

Le site d' Hnaya présente une situation intermédiaire tendant vers existence certaine d'une pollution par le zinc qui peut être expliquée par le transport de cette pollution depuis son origine probable (vers l'ouest) par la courantologie de la région jusqu'au site étudié.

Pendant, ce site semble être exempt de toute pollution par l'élément Cd. En effet, cette station révèle la valeur minimale pour ce métal, et de ce fait, elle peut retenu comme site de référence pour le travail présent. La figure ci-dessous illustre les différents niveaux de pollution par le zinc et le cadmium.

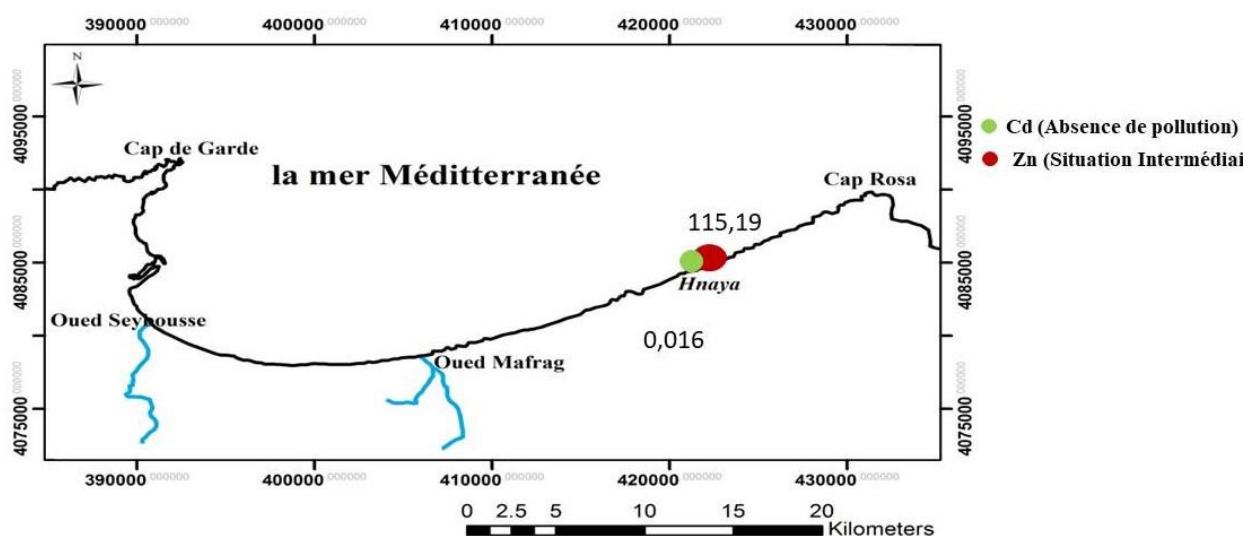


Figure 32: Le niveau de pollution par le Zinc et le Cadmium dans le site d'Hnaya

4 Etude rétrospective

4.1 Evolution des teneurs des métaux traces dans les stations étudiés au cours des dernières années

Dans le cadre de la biosurveillance des ETM et en se basant sur les études antérieures qui se sont focalisés sur la cote algéroise, nous avons tenté de comparer les teneurs obtenues à différentes périodes pour essayer de déterminer leur évolution temporelle. Les résultats obtenus sont présentés dans le diagramme de la figure 31.

4.1.1 Le zinc

Pour l'ensemble des sites (figuier, Boudouaou, Port d'Alger, Zeralda), une augmentation très visible a été constatée, ce qui explique le pouvoir bioaccumulateur des moules étudiés et l'accentuation du phénomène de la pollution (avec toutes ses formes) dans les zones étudiées par ce métal.

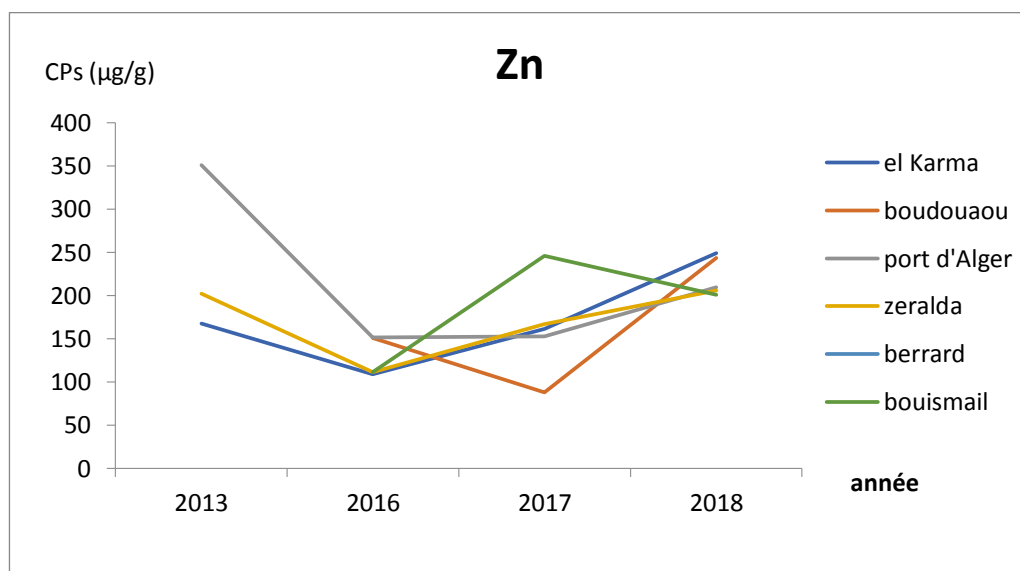


Figure 28: L'évolution des concentrations du Zinc dans les différentes stations d'étude de 2013 jusqu'à 2018

4.1.2 Le Manganèse

Contrairement au zinc, le manganèse présente un déclin important pour l'ensemble des zones étudiées à travers les années précédentes jusqu'à 2018 pour marquer des valeurs inférieures à 5 µg/g de PS.

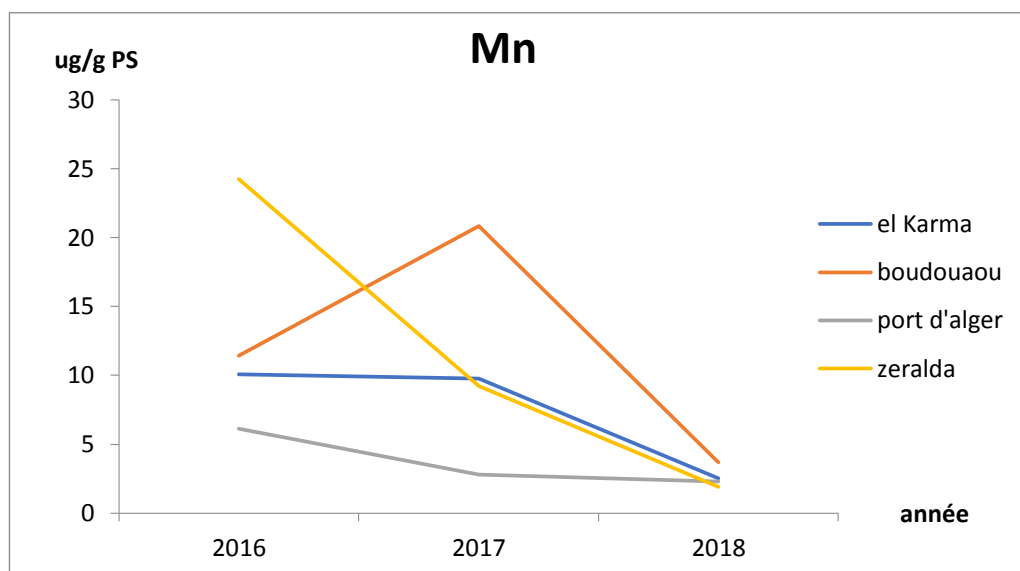


Figure 34: L'évolution de concentration de Manganèse dans les différentes stations d'étude de 2016 jusqu'à 2018

4.1.3 Le Fer

Les teneurs en fer du présent travail ont été comparées à celles de l'année 2016. Pour l'ensemble des stations une augmentation importante est constatée

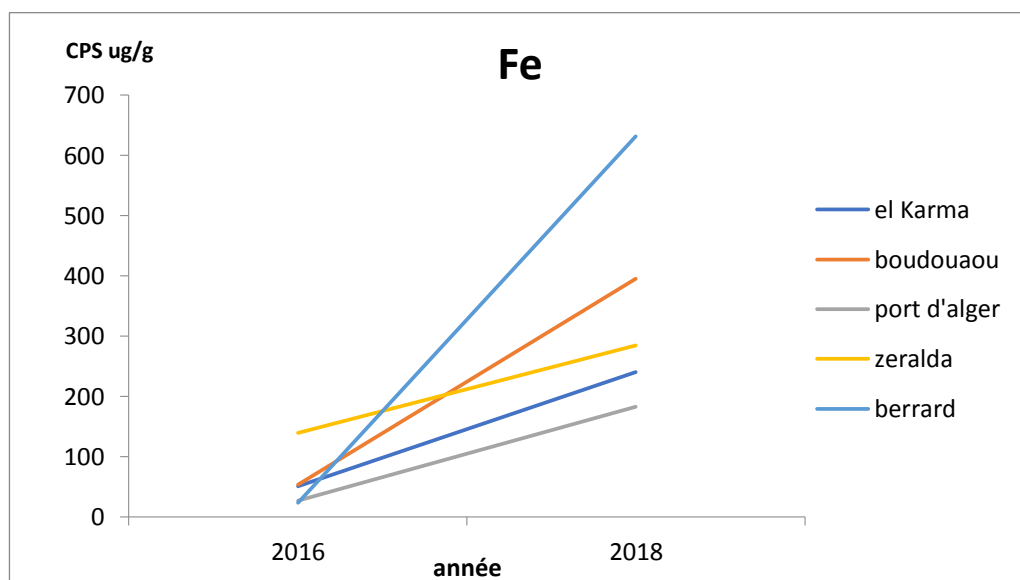


Figure 35 : L'évolution de concentration de Fer dans les différentes stations d'étude de 2016 jusqu'à 2018

4.1.4 Le Cadmium

Les teneurs de ce métal toxique présentent une diminution importante de l'année 2017 vers année 2018 sauf pour la station de Fouka marine où on observe une nette augmentation de presque double. D'une manière générale, le Cd se manifeste avec des concentrations assez faible (<0.5 µg/g dans toutes les stations) et ne présente pas de risque de pollution.

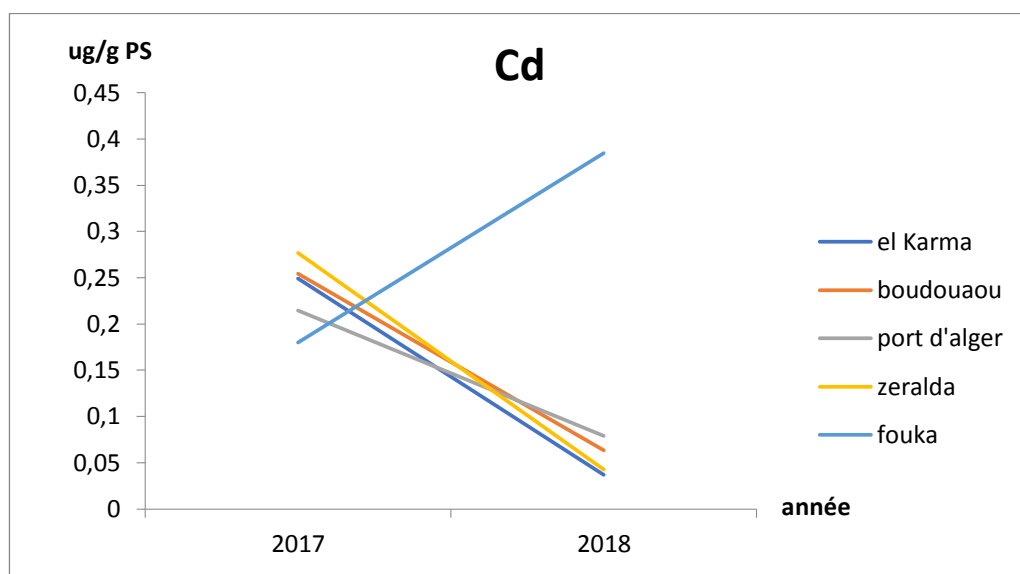


Figure 296: L'évolution de concentration de Cadmium dans les différentes stations d'étude entre 2017 et 2018

CONCLUSION

Conclusion

Ce travail s'inscrit dans le cadre de programme de bio surveillance afin d'essayer d'évaluer le degré de santé de l'écosystème marin de la côte algéroise. Dans une optique de déterminer la contamination des eaux côtières par les éléments traces métalliques, qui a été étudiés par des bio indicateurs é en analysant le taux de ces polluants dans la chaire de deux espèces de moules (*Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et *Mytilus edulis* (Linnaeus, 1758)).

En effet, quatre métaux ont été évalués dans les échantillons représentant les huit stations étudiées.

L'analyse des teneurs du **zinc** dans la chaire totale des deux espèces des moules récoltées montre que les stations (figuier, boudouaou el bahri, Zeralda, station de dessalement fouka et la ferme Cultmare) présentent des teneurs relativement élevées, elles sont supérieure à 220 µg/g du poids sec de la chaire.

On ce qui concerne le **manganèse** des valeurs relativement faibles ont été détectées dans l'ensemble des stations. Dans l'étude rétrospective, elles présentent les valeurs les plus faibles parmi les résultats des études précédentes.

Pour le **Fer**, des teneurs élevées ont été notées dans les stations suivantes (El Hnaya, Boudouaou, Fouka, Zeralda) avec des valeurs importantes qui peuvent atteindre jusqu'à **396,73** µg/g du poids sec. Les valeurs enregistrées dans cette étude présentent les valeurs les plus élevées en les comparants à celles des années antérieures.

L'analyse du **cadmium** révèle que ses teneurs sont inférieures à 1 µg/g dans toutes les stations, ce qui signifie l'absence de pollution par ce métal,

Des résultats de cette étude il en ressort que les rejets industriels et domestiques en plus des pratiques agricoles inappropriées dans les plaines côtières peuvent être les principales causes de cette pollution métallique dans notre zone d'étude.

PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS

Au terme de notre étude dont l'objectif principal était :

La biosurveillance des métaux traces chez deux espèces des moules (*mytilus galloprovincialis* et *perna perna*) dans le littoral algérois, En perspective nous appelons les instances spécialisées à :

- Faire une étude de santé chez les riverains du littoral algérois qui consomment quotidiennement du fruit de mer, contaminé par les métaux étudiés.
- Mettre sur pied, des Organes de contrôle et de surveillance régulière de la qualité des effluents industriels et domestiques, et les équiper en utilisant des moyens adéquats.
- Créer des stations d'épuration dans les villes côtières surtout dans les zones qui côtoient les cours d'eaux.
- Inciter les usines à la création des stations d'épuration pour curer leurs effluents et inclure dans le cahier de charges des nouvelles usines voulant s'implanter à ces zones, l'installation de station d'épuration comme une obligation de l'extrême importance. Pour aller au-delà de l'application du principe pollueur-payeur et surtout faire obligation à toute usine voulant s'implanter à littoral algérois de respecter les normes environnementales.
- Appliquer la réglementation en vigueur en matière de dégradation de l'environnement
- Inciter les agriculteurs à choisir des produits efficaces et moins persistants. et aller vers l'utilisation des engrais bio qui contiennent moins de produits métalliques (cuivres et cadmium...).

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- A.I.E.A (2001)** Training workshop on the analysis of trace metals in biological and sediment samples. Document non publié. France : A.I.E.A.
- Adriano DC (1986)** Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag, New York
- Afnor (Association française de normalisation) (1994)** Normes NFX 31-120 et NFX 31-121, Recueil de normes françaises, Qualité des sols, Paris : AFNOR, pp 83-96
- Arlette, Desgouillie (1969)** Le plancton dans la nutrition des moules. Marseille, Laboratoire de Biologie animale (Plancton) Faculté des Sciences : s.n.
- ATSDR (2004)** Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for copper. Document non publié. U.S: ATSDR
- ATSDR (2004)** Agency for Toxic Substances and Disease Registry .Toxicological profile for strontium. U.S. Document non-publié. U.S: ATSDR
- Baize, D (1997)** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols. paris : INRA, p 46.
- Barceloux, DG (1999)** Chromium. Clin.Toxicol. Vol 37(2). pp 173–194,
- Barsotti.G , Meluzzi, C (1968)** Osservazioni su *Mytilus edulis* L. e *Mytilus galloprovincialis* Lamark. N° : 4, pp. 50-58.
- Beaumont, AR (2008)** Genetic studies of laboratory reared mussels, *Mytilus edulis*: heterozygote deficiencies, heterozygosity and growth. N° : 44, pp. 273-285.
- Bélanger, David (2009)** Utilisation de la faune macrobenthique comme bioindicateur de la qualité de l'environnement marin côtier. Québec : université de Sherbrooke, Vol. 74.
- Bellan, G , Perres, J.M (1994)** La pollution des mers .France : PUE ,p. 13.
- Benedetto, M. Di (1997)** les métaux lourds. méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation. Saint-Etienne : Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne. Vol 49,
- Boening, D.W (1999)** An evaluation of bivalves as biomonitors of heavy metals pollution in marine waters. Environ. Monitor. Assess. N° : 55, pp. 459-470.
- Bouthir, Fatima Zohra, et al (2004)** Qualité physico-chimique des eaux côtières du littoral de la Wilaya du grand Casablanca (océan Atlantique marocain) utilisant la moule *Mytilus galloprovincialis* comme indicateur de la contamination métallique. [Institut National de Recherche Halieutique et Faculté des Sciences et Techniques de Mohammadia. Mar. Life, Vol. 14, pp. 59-70.
- Bouthir, Fatima Zohra (2006)** Impact des rejets industriels sur l'environnement: cas de l'accumulation de cadmium dans les différents compartiments aquatiques le long du littoral Casablanca – Mohammadia. Water Quality Research Journal of Canada.Vol4. pp 418–426,
- Boutier, Fatima Zohra. (1989)** La contamination de la Gironde par le cadmium. Origine, extension, importance. France : Ifremer, p 14.

Braik, D. (1989) Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou Ismail : sédimentologie, morphologie, problème d'érosion du littoral. DUA. Aménagement. Alger. Institut des sciences de la terre, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. P93.

Brémond, r , Perrodon, c (2005) paramètres de la qualité des eaux. France : ministère de l'environnement , p 18.

Brignon, J.-M. (2015) Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : L'aluminium. France : INERIS, p104.

Charlou, j.c et m, Joanny. (1983) Dosage du mercure et d'autres métaux dans les sédiments marins par absorption atomique ; Manuel des analyses chimiques en milieu marin Aminot et Chaussepied. Brest : CNEXO, p 102

Chiffolleau, J. F., et al (2003) Dosage de certains métaux dans les sédiments et la matière en suspension par absorption atomique. Méthodes d'analyses en milieu marin. , N° : 44, Plouzané : Ifremer, pp 149-158.

Chiffolleau, J.F, et al. (2001) Spatiotemporal changes in cadmium contamination in the Seine estuary. France : Ifremer, N° : 24 , pp. 1029–1040.

Comesana, AS, et al (1998) *Mytilus galloprovincialis* Lmk. in northern Africa. Vol: 223, pp. 271-283.

Cossa, D , Ficht, A. (1999) La dynamique du mercure. Programme scientifique Seine-Aval. France : Ifremer, Vol. 26. pp. 1009–1021.

Cossa, D. (1989) "A review of the use of *Mytilus* spp as quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal waters. *Oceanologica acta* . N° : 12, p 78

D'adamo, R, et al. (2008) Migratory crustaceans as biomonitors of metal pollution in their nursery areas. Te Lesina lagoon (SE Italy) as a case study. pp 15-24.

Daby, D. (2006) Coastal pollution and potential biomonitors of metals in Mauritius. N° : 174, pp. 63-91.

Dagorne, A., Mahrouf, M. (1988) In *Artificial Structures and Shorelines*. London: Springer, pp. 273-282.

Dauguet, S, et al. (2011) Mesure des flux d'éléments traces (Pb, Cd, As, Cu, Zn) dans les sols, végétaux, porcs et lisiers des exploitations porcines du Sud-Ouest. *Innovations Agronomiques*. pp. 175-190.

David, Goeury. (2014) La pollution marine. Woessner Raymond. *Mers et océans*, Paris : Atlande, p 130.

Devauchelle, N, et al. (1995) Cycles saisonniers de reproduction et qualité des ovocytes chez *Pecten maximus* en Rade de Brest. Actes de Colloque (II) 3eme rencontres scientifiques internationales du Contrat de Baie de la Rade de Brest. Brest, France : s.n. N° : 13 p 14-16

Diop, Cheikh, et al (2012) Etude de la contamination par les éléments traces métalliques des sédiments cotiers au niveau des points d'évacuation des eaux usées à dakar (sénégal). [éd.] université du québec. terre et environnement, revue des sciences de l'eau. Vol. 25, 3. p. 10.

Donald, JH , Koehn, RK. (1988) The mussels *Mytilus galloprovincialis* and *Mytilus trossulus* on the Pacific coasts of North America. *Mar. Biol*, N° : 99, pp. 111-118.

FAO. (2006) La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Département des pêches et de l'aquaculture de la FAO. Rome : FAO.

Fillips, L.F , Pallaghy, C.K. (1994) Effects of heavy metals on motility and gravitactic orientation of the flagellate, *Euglena gracilis* : sources and biologicals affects, pp1020-5497.

Friedmann A, S, C., et al (1996) Low levels of dietary methylmercury inhibit growth and gonadal development in juvenile walleye (*Stizostedion vitreum*). *Aquatic Toxicology*. Vol 35. pp265–278.

Gagneux-Moreaux, Sindy. (2006) Les métaux (Cd, Cu, Pb et Zn) dans la production des microalgues sur différents milieux de culture : biodisponibilité, bioaccumulation et impact physiologique. Nantes : École Doctorale Chimie-Biologie, Vol. 273.

Ghiasse, Abbasse , Hassan, wassouf. (2008) La spéciation métallique : son importance et ses différentes méthodes de détermination. *Basic Sciences Series*, Vol. 30, (4), p 212.

Gosling, EM. (1992) Developments in aquaculture and fisheries science. Vol. 25, the mussel *Mytilus*: Ecology, Physiology, Genetics and Culture, Amsterdam-London: Elsevier, pp 1-589.

Gouzy. Aurélien , Ducos. Géraldine. (2008) La connaissance des métaux traces un defi pour la gestion de l'environnement. *Air pur*, pp.6-10.

Grant, WS , Cherry, MI. (1985) *Mytilus galloprovincialis* Lmk. In southern Africa., N° : 90, pp. 179-191.

Gruvel, Abel. (1926) Les pêches maritimes en Algérie . SOC. Ed. Géogr. Mar. Colon., N° : 4 pp 40-41.

Haouchine, M. (1995) Ecologie et biologie de la reproduction de la moule (LMK) au sein d'un système lagunaire saumâtre lac El Melaah. Thèse magister. Alger : USTHB : s.n.,. P 105.

Hilbish. T. J , (2000) Origin of the antitropical distribution pattern in marine mussels (*Mytilus* spp.): routes and timing of transequatorial migration. s.l. N°:136, pp. 69-77.

Hodson, mark e. (2004) Enviromrntal pollution. Vol 129, pp. 341-343.

John h, Duffus. (2002) Heavy meatalts - a meaningless term? pure application chemical- IUPAC, pp. 793-807.

kankou, M. (2004) vulnérabilité des eaux et des sols du la rive droite de fleuve Sénégal du Mauritanie . france : s.n., p 194.

Katerine. Diana , lamprea. maldonado (2009) Caracterisation et origine des metaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportes par les retombees atmospheriques et leseaux de ruissellement dans les bassins versants separatifs peri-urbains. S.l., p 221.

Khedimi, F , Abderrahmani, K. (2008) Baie d'Alger : Etude de quelques paramètres de gestion du littoral et apport de télédétection, Mémoire d'ingénieur. Aménagement. Alger : ENSSMAL, p 69.

Lacaze, J.C. (1996) L'eutrophisation des eaux marines et continentales : causes, manifestations, conséquences et moyens de lutte. Paris : Ellipse, p 131.

Leclaire, L. (1972) La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin algéro-baléares (Précontinent algérien) (Vol. C). Paris: Muséum, p 391.

- Lee, J.G, et al (1995)** Cadmium A nutrient for the marine diatom *Thalassiosira weissflogii*., pp 1056-1063.
- LEM. (1998)** Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger. Document non publié. Alger, Algérie.
- Lewis, J.R , Seed, r. (1969)** Morphological variations in *Mytilus* from S.W.England in relation to the occurrence of *M. galloprovincialis* (Lmk). s.l. N°:10, pp. 231-253.
- Lokmane, D. (1993)** Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la baie de Zemmouri, mémoire DEUA, chimie marine, Alger : ISMAL. 45p.
- Lowan, AN, et al (1971)** Blanch tables of planche radiation. s.l. N°:15, pp. 181-201.
- Madi, F. (2009)** Apport du système d'information géographique (SIG) pour la modélisation de la couleur des eaux marines (Cas : la baie d'Alger); Mémoire d'ingénieur. Aménagement. Alger : ENSSMAL, p 8
- Magali, sammut (2007)** Spéciation du cadmium, du plomb et du zinc dans les poussières d'émissions atmosphériques d'origine sidérurgique - Approche de l'impact toxicologique des poussières. Marseille : Université de droit, d'économie et des sciences, Vol. 334, p 245.
- Maouche, S. (1987)** Mécanisme hydro-sédimentaire en baie d'Alger (Algérie). Approche sédiment logique, Mémoire de master, géochimie et traitement statistique. Alger : USTB, p 213.
- Mathilde Mikolaczyk (2016)** Accumulation de l'argent et du cuivre chez l'huître japonaise *Crassostrea gigas* : outils géochimiques pour une optimisation du message environnemental. Mémoire doctorat. Biodiversité et Ecologie, France : Université de Bordeaux, p 201.
- Maurin, C. (1961)** Etude des fonds chalutables de la Méditerranée occidentale (écologie et pêche). Résultats des campagnes des navires océanographiques. pp. 191-195.
- Mazini, Dina Baghdadi. (2012)** Pollution de l'environnement marin et santé humaine : Mesure, évaluation et impact des contaminants chimiques et biologiques dans les produits de pêches au niveau du littoral marocain. Tanger : Université Abdelmalek Essaadi-Faculté Des Sciences Et Techniques - Tanger, Vol. 184, p 321
- Michel, Pierre. (1987)** L'arsenic en milieu marin : synthèse bibliographique. France : ifremer, pp. 175-185.
- Migneaux, L. (2010)** Pollution et qualité du milieu marin . Document non publié. France : Commissariat général au développement durable • Service de l'observation et des statistiques.
- Miguel, Aranguren Matías Salvarredy. (2009)** Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. Toulous : L'université Toulous, Vol. 489.
- Miquel, Gérard. (2001)** les effets des métaux lourds sur la santé et l'environnement. s.l. : sénat, p 261.
- Morin, Soizic. (2007)** Bioindication des effets des pollutions métalliques sur les communautés de diatomées benthiques. Approches in situ et expérimentales Soizic Morin. Mémoire de master, Bordeaux : Université de Sciences. Vol. 303.

- Moumene, I. (2017)** Bioaccumulation des métaux traces chez les moules de la côte algéroise, Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, p 101.
- Nakib, Lydia. (2010)** Mise au point d'une technique d'extraction des éléments traces métalliques dans les produits de la mer et leurs dosages par spectrophotométrie d'absorption atomique. Mémoire Master. Constantine : université mentouri de constantine - faculté des sciences, p 118.
- NERIS (2015)** Données technico-économiques sur les substances chimiques en France (Argent et Nano-argent). Document non publié. France : NERIS.
- Olausson. (2002)** Umyelinated tactile afferents signal touch and project to insular cortex. Nat Neurosci. S.l, p 214.
- Otmani.H. (2014)** Impact des infrastructures maritimes sur le littoral: Cas du port de Cap Djinet. Mémoire d'ingénieur. Aménagement. Alger : ENSSMAL, p 107.
- Oursel, Benjamin. (2013)** Transferts et dynamique des contaminants métalliques en zone côtière. Impact d'une grande agglomération méditerranéenne. Thèse de doctorale, France : l'Université de Toulon. Vol. 234.
- Oursel, Benjamin. (2015)** transfert dynamique des contaminants métalliques en zone cotière. Toulon : s.n. p187.
- Papp, Roger. (2011)** Les propriétés environnementales des éléments traces (Particularités et conséquences pour l'analyse de risques). Paris : Collège National d'Experts en Environnement de l'Industrie Chimique, p 112.
- Pèrés, J.M , M.Fontaine (1976)** La pollution des eaux marines. Paris : Gaulhier-villars, p 197.
- Pèrés, JM , Picard, J. (1964)** Nouveau manuel de binome benthique de la mer méditerranée. N° : 31, p. 129.
- Pichaud, Nicolas. (2005)** Effets biologiques d'une exposition par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (ha.p) sur une espèce bioindicatrice, *Mya arenaria*. Mémoire doctorat. Québec : Université de Quebec, p 347.
- Picot, andré. (2015)** métaux traces toxiques, dits métaux lourds: leurs impacts sur l'homme et sur l'environnement. S.l. p 173.
- Ramade, F. (2000)** Dictionnaire Encyclopidique des pollutions. France : Edisience international, p 541.
- Ramade, F. (2005)** Element d'ecologie, écologie appliqué. 6 ème édition. paris : s.n. p. 864.
- RAO.J.V, et al (2007)** Environmental contamination using accumulation of metals in marine sponges, *Sigmadocia fbulata* inhabiting the coastal waters of Gulf of Mannar Toxicol. S.l. N°: 89, pp. 487-498.
- Ribeyre, F , Boudou, , FL. (1989)** Trophic chains and experimental ecosystems: study of bioaccumulation and transfer processes. Aquatic Ecotoxicology: Fundamental Concepts and Methodologies. Boca Raton, pp 3-46.
- Roger, Papp. (2011)** Les propriétés environnementales des éléments traces . Document non publié. Paris : CNEEIC.

S.Brungneaux, et al (2004) Les agressions d'origine anthropique et leur effet sur le milieu marin côtier et leur effet sur les écosystèmes coralliens et associés de la Martinique. France : Observatoire du milieu marin martiniquais, N° : 5 , Vol. 97.

Sigg, L, et al (2001) Chimie des milieux aquatiques: chimie des eaux. s.l. N° : 5 p 162.

Soizic, Morin. (2006) Bioindication des effets des pollutions métalliques sur les communautés de diatomées benthiques. Approches in situ et expérimentales. Bordeaux : s.n., p 95.

Stellio, Casas. (2005) Modélisation de la bioaccumulation des métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule *Mytilus Galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. France : Toulon-var, s.n., pp 14-25.

Tanguy, Virginie. (2012) Spéciation colloïdale des éléments traces métalliques en milieu estuarien. Mémoire d'ingénieur, Chimie analytique. Brest : Université de Bretagne occidentale, p 98.

USEPA. (2006) Decision Documents for Atrazine. U.S. Environmental Protection Agency pesticides industry sales and usage. Document non publié. France: USEPA.

Vaissière, R., Fredj, G. (1963) Contribution à l'étude de la faune benthique de plateau continental de l'Algérie. Monaco, pp 38-60.

Virginie, Tanguy. (2012) Spéciation colloïdale des éléments traces métalliques en milieu estuarien. Bretagne occidentale : s.n., pp 65-88.

Vong, Lilita. (2008) Spéciation chimique du fer dans l'océan: Les complexes fer-porphyrines, méthodes de détection et mécanismes de production. Mémoire doctorat, chimie marine. Marseille: Université de la Méditerranée - Aix-Marseille II . Vol. 171.

Wonham, MJ. (2004) Distribution of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* (Bivalvia: Mytilidae) and hybrids in the Northeast Pacific. s.l. N° : 23, pp. 535-543.

ANNEXES

Annexe N°1 :

Les sorties sue terrain



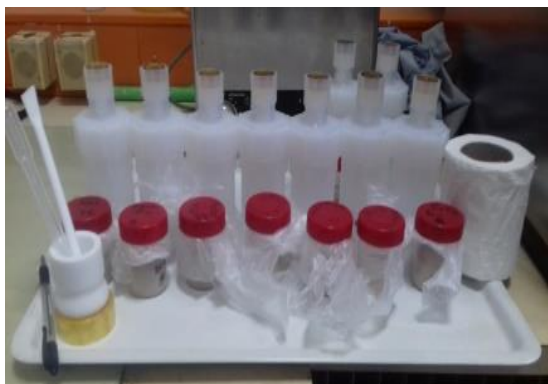
Congélation



Minéralisation à blanc



Minéralisation des échantillons



Préparation des échantillons pour la lecture en SAA



Annexe 2 : poids utilisés pour la minéralisation

station	n° de godet	poids des pot totale	Poids utilisé	poids de godet	Poid totale de godet
figuier	1	16,6378	0,5013	132,2607	132.7638
boudouaou	2	15,1884	0,5036	133,9475	134.4509
port d'alger	3	17,1389	0,7134	132,001	132.7144
Zeralda	4	14,8873	0,5026	132,4369	132.9390
Cultmare	5	14,6877	0,5189	132,9685	133.4871
Berrard	6	16,4147	0,5043	125,0061	125.5110
Fouka	7	14,6174	0,5015	129,1342	129.6365
Kala	8	15,754	0,5016	128,0438	128.5454
le blanc	/	/	/	130,9562	/

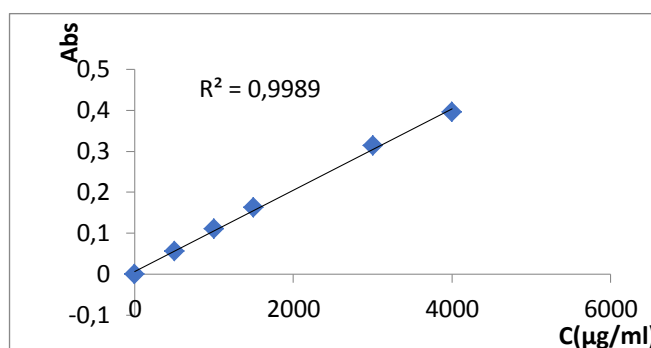
Annexe 3: Grille de qualité proposée pour interpréter les concentrations métalliques ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) observées dans les moules (Mersch, 1993).

	Classe de qualité (1, 2, 3, 4)			
	1° absence de pollution	2° situation intermédiaire	3° pollution certaine	4° pollution importante
Zn	≤ 110	110 - 220	220 - 400	> 400
Cd	≤ 1	1 - 2.5	2.5 - 8	> 8

Annexe 4 : les gammes et courbes d'étalonnages

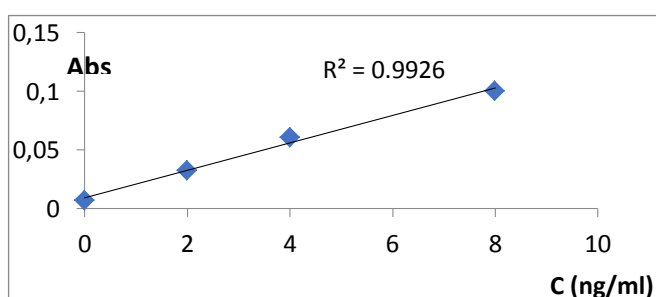
❖ Le Zinc (Zn) :

	Cs (ng/ml)	V prélevé (ml)	Prélevé (μl)	ABS
blanc	0	0	0	0.0004
1	500	0.025	25	0.0553
2	1000	0.05	50	0.11
3	1500	0.075	75	0.1619
4	3000	1.5	150	0.313
5	4000	2	200	0.3947



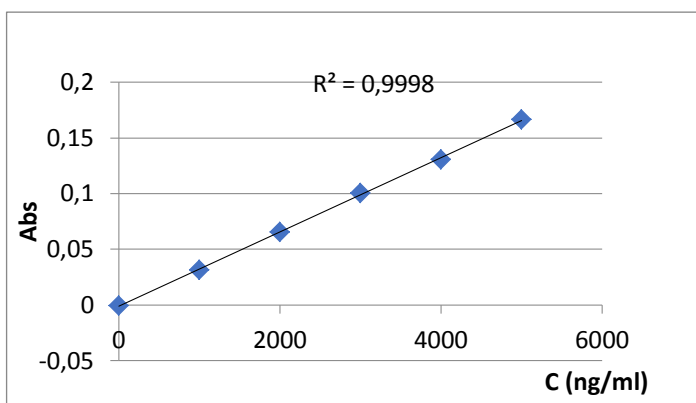
❖ Le Fer (Fe) :

	Cs ($\mu\text{g/ml}$)	V prélevé (ml)	Prélevé (μl)	ABS
blanc	0	0	0	0.007
1	2	0.1	100	0.0323
2	4	0.2	200	0.0609
3	8	0.4	400	0.1002

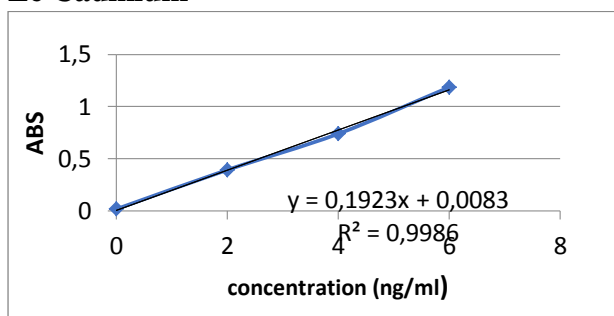


❖ **Le Manganèse (Mn) :**

	Cs (ng/ml)	V prélevé (ml)	V prevl (μ l)	ABS
BLANC	0	0	0	0.0006
STD1	1000	0.05	50	0.0314
STD2	2000	0.1	100	0.0655
STD3	3000	0.15	150	0.1004
STD4	4000	0.2	200	0.1306
STD5	5000	0.25	250	0.1663



❖ **Le Cadmium**



Résumé

Les écosystèmes marins côtiers sont des milieux de plus en plus affectés par l'activité anthropiques qui utilisent les métaux dans leurs processus industriel, agricoles ou encore urbain, Cependant, de problèmes sérieux d'environnement ont lieu de cette évolution. Certaines espèces de mollusque concentrent les contaminants, en particulier les métaux divalents, en relation avec les concentrations présentes dans le milieu ce qui permet de leur utilisation comme des bio indicateurs pour évaluer l'état de la pollution métallique du milieu étudié. L'objectif de cette étude était de déterminer les concentrations en éléments traces métalliques chez deux espèces de moules (*Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna*) dans le cadre de la biosurveillance des métaux traces dans le littoral algérois. Pour ce faire, des échantillons de moules ont été prélevés au niveau de huit stations pour l'analyse des (Zn, Mn, Fe, Cd) par la SAA La spectrométrie d'absorption atomique.

Mots clés : écosystèmes marins, métaux traces, *Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna*, spectrométrie d'absorption atomique.

abstract

Coastal marine ecosystems are environments increasingly affected by anthropogenic activity that use metals in their industrial, agricultural or urban processes, however, serious environmental problems are generated du to this evolution. Some species of mollusk concentrate contaminants, especially divalent metals, in relation to the concentrations present in the water which allows their use as bioindicators to evaluate the state of metallic pollution of the environment studied. The objective of this study was to determine the metal trace element concentrations in two species of mussels (*Mytilus galloprovincialis* and *Perna perna*) in the context of the biomonitoring of trace metals in the Algerian littoral. To do this, mussel samples were taken at eight stations for analysis of (Zinc , Manganese, Iron and Cadmium) by Atomic Absorption Spectrometry.

Key words : marine ecosystems, , trace metals, *Mytilus galloprovincialis* and *Perna perna*, Atomic Absorption Spectrometry

ملخص

تعد الأنظمة الايكولوجية البحرية من البيئات المتأثرة بشكل متزايد بمختلف الأنشطة البشرية، إذ تعد المعادن مكونا أساسيا في عملياتها الصناعية والزراعية والحضرية، لكن أضحت هذه التطورات سببا في مشاكل بيئية عدة. إن بعض أنواع الرخويات تركز الملوثات في عضويتها، خاصة المعادن ثنائية التكافؤ، والتي توازي تركيزها في الوسط الذي تعيش فيه، مما يسمح باستخدامها لتقييم حالة التلوث بالمعادن في البيئة المستهدفة، وكان الغرض من هذه الدراسة تحديد تراكيز المعادن في نوعين من بلح البحر (*Mytilus galloprovincialis* و *Perna perna*) كجزء من في الرصد الحيوي algérois الساحل. و للقيام بهذا تم أخذ عينات من بلح البحر في ثماني محطات لتحليل (الزنك، المنغنيز، الحديد والكاديوم) من قبل SAA اي طريقة امتصاص الطيف الذري.

كلمات مفتاحية : الأنظمة الايكولوجية البحرية، المعادن، *Mytilus galloprovincialis* و *Perna perna* ، امتصاص الطيف الذري