

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique  
جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل -  
Université Mohammed Seddik Ben Yahia - Jijel -

Faculté des Sciences de la Nature et de  
la Vie  
Département : Biologie Moléculaire et  
Cellulaire



كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم: البيولوجيا الجزيئية و  
الخلوية

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Biologie**

**Option** : Toxicologie fondamentale et appliquée

Thème

**Synthèse des travaux évaluant la pollution et le stress  
oxydant chez des crevettes et des moules**

**Membres de Jury**

**Président: Pr. Leghouchi/E.**  
**Examineur: Dr. Balli/N.**  
**Encadreur: Dr. Ghorab/I.**

**Présenté par :**

**Bougherra Zineb**  
**Boufenghour Nihad**

**Année Universitaire 2019-2020**

**Numéro d'ordre (bibliothèque) : .....**



## *REMERCIEMENTS*

*Nous commençons par remercier Allah le tout puissant le miséricordieux, sans lui rien de tout cela n'aurait pu être de nous a orienté au chemin de savoir et les portes de la science.*

*Et de nous avoir donné le courage, la santé, la volonté et l'amour du savoir pour pouvoir réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons à adresse nos plus vifs Remerciements à : Madame Ghorab Ismahene pour nous avoir encadré, guidé et prodigué tout l'aide nécessaire pour la réalisation de notre travail.*

*Nous Remerciements vont aussi aux membres de jury Pr Leghouchi S et D<sup>r</sup>. Balli N de nous avoir fait l'honneur de bien vouloir participer au jury de ce mémoire et pour toute l'attention qu'ils vont prêter à l'évaluation de notre travail.*

*Et enfin, Nous tenons à remercier toute personne qui nous a aidé ou encouragé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

*Nihad et Zineb*



## *DÉDICACE*

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très  
Miséricordieux*

*Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant  
de m'avoir donné le courage et la patience pour  
arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je  
dédie :*

*A ma chère mère et à mon cher père, pour leur  
amour et leur sacrifice afin que rien n'entrave le  
déroulement de mes études.*

*A mon cher mari pour sa compréhension pendant  
la rédaction, et sa patience envers moi et pour ses  
encouragements et son soutien.*

*À mes chers frères.*

*A ma chère sœur.*

*A ma fille.*

*Et à tous les membres de ma famille, jeunes et  
vieux.*

*Que Dieu le tout puissant nous accorde un avenir  
meilleur.*

*Nihad*



## *DÉDICACE*

*A l'aide d'Allah, le tout puissant, j'ai pu  
réaliser ce travail que je dédie :*

*A ma chère mère et à mon cher père lumière de  
ma vie qui m'ont soutenus tout au long de ma  
vie dans les moments difficiles et dans mes  
études. Vous m'avez apporté soutien, écoute et  
encouragements qui ont été essentiels pendant  
ces années. Ce mémoire est le votre car grâce à  
vos aides et ce travail a le jour pu voir.*

*A mes chères sœurs: Nadia, Yakota, Yamina,  
Hassiba, Sabrina et Yasmina*

*A mes frères: Omar, Mohammed, Abd  
Alwahabe et Imad*

*A toute ma famille.*

*A tout mes amiés*

*Que Allah le tout puissant nous accorde un  
avenir meilleur.*

*Je dédie ce travail à ma sœur Yasmina  
qu'Allah ait pitié.*

*Zineb*

<b>Sommaire</b> .....	i
<b>Liste des figures</b> .....	v
<b>Liste des tableaux</b> .....	vii
<b>Liste des photos</b> .....	vii
<b>Liste des abréviations</b> .....	iv
<b>Introduction</b> .....	1

## Chapitre. I

### Pollution marin et métaux lourds

I.1. Définition de la pollution marine .....	3
I.2. Nature et origine de la pollution marine .....	3
I.2.1. Les types de polluants.....	3
I.2.1.1. Les macropolluants .....	4
I.2.1.2. Les micropolluants .....	4
I.2.2. Les types de pollutions .....	4
I.2.2.1. Pollution chimique.....	4
I.2.2.2. Pollution physiques.....	5
I.2.2.3. Pollution biologique .....	5
I.3. Les sources de la pollution marine .....	5
I.3.1. La pollution domestique .....	5
I. 3.2. La pollution pétrolière .....	6
I.3.3. La pollution pluviale.....	6
I.3.4. La pollution chimique.....	7
I.3.5. La pollution agricole.....	7
I.4. Généralités sur les métaux lourds .....	8
I.4.1. Définition .....	8
I.4.2. Classification biologique des métaux lourds .....	8
I.4.2.1. Les éléments traces essentiels .....	8
I.4.2.2. Les éléments traces non essentiels .....	8
I.4.3. Les sources de contamination .....	8
I.4.3.1. Les sources naturelles .....	8
I.4.3.2. Les sources anthropiques .....	8
I.4.4. La toxicité des métaux lourds dans le milieu marin .....	9
I.4.5. Bioaccumulation.....	9
I.4.6. Les éléments étudiés .....	10



I.4.6.1. Le cadmium (Cd).....	10
I.4.6.2. Le plomb (Pb).....	11

## Chapitre. II

### Les biomarqueurs

II.1.Définition de la biosurveillance .....	14
II.2.Outils de biosurveillance .....	14
II.2.1. La biosurveillance dite sensible .....	14
II.2.2. La biosurveillance par accumulation.....	14
II.3. Définition de biomarqueur .....	15
II.4. Les caractéristiques d'un biomarqueur .....	15
II.5.Classification des biomarqueurs .....	15
II.6. Les biomarqueurs .....	17
II.6.1. Le stress oxydant .....	17
II.6.2.Origine du stress oxydant .....	18
II.6.3. Les biomarqueurs étudiés .....	19
II.6.3.1. Catalase (CAT) .....	19
II.6.3.2.Glutathion GSH .....	19
II.6.3.3. Glutathion-S-transférase (GST) .....	20
II.6.3.4. Le Malonedialdéhyde (MDA).....	20
II.6.3.5. Acétylcholinestérase (AChE).....	20
II.7.Approches multibiomarqueurs.....	20
II.8.Limites d'utilisation d'un biomarqueurs .....	21

## Chapitre. III

### Les mollusques et crevettes

III.1.Généralités sur les mollusques .....	22
III.1.2. L'espèce étudiée .....	22
III.1.2.1. Généralités sur Le genre <i>Mytilus</i> .....	22
III.1.2.2. Présentation de l'espèce <i>Mytilusgalloprovincialis</i> (Linnaeus, 1758) .....	23
III.1.2.3. Morphologie .....	23
III.1.2.4.Classification .....	24
III.1.2.5. Physiologie .....	24
III.2. Généralités sur les crevettes .....	26
III.2.1. Présentation de l'espèce <i>Parapenaeus longirostris</i> (Lucas, 1846).....	26

III.2.2. Morphologie .....	27
III.2.3. Classification .....	28
III.2.4. Physiologie .....	28

**Chapitre. IV**

**Analyse des données**

IV.1. Taux de métaux lourds .....	31
IV.1.1 Teneur en plomb.....	31
IV.1.2. Teneur en cadmium .....	33
IV.2. Dosages des biomarqueurs.....	34
IV.2.1. Activité catalase (CAT) .....	34
IV.2.2. Taux de glutathion(GSH) .....	36
IV.2.3. Taux du malondialdéhyde (MDA) .....	37
IV.2.4. Taux de glutathion -S- transférase (GST).....	38
IV.2.5. L'activité de l'acétylcholinestérase (AChE).....	40

**Chapitre .V**

**Discussion**

<b>Discussion</b> .....	42
<b>Conclusion</b> .....	48
<b>Références bibliographiques</b> .....	50

N° Figure	Titre	Page
Figure 1	Principales espèces réactives de l'oxygène	17
Figure 2	Origine extra- et intracellulaire des radicaux libres dérivés de l'oxygène	18
Figure 3	Différents systèmes antioxydants	19
Figure 4	Distributions mondiales approximatives de moules de genre <i>Mytilus</i>	25
Figure 5	Morphologie externe d'une crevette	26
Figure 6	Cycle de développement d'une Crevette	29
Figure 7	Distribution géographique de <i>P. longirostris</i> à travers le monde	30
Figure 8	Concentrations en plomb ( $\mu\text{g/g}$ ) dans les différents organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de la moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ). (PL): <i>P. longirostris</i> ; (MG) : <i>M. galloprovincialis</i> ; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (cuti): Cuticule; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total.	32
Figure 9	Concentrations en cadmium ( $\mu\text{g/g}$ ) dans les différents organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de la moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ). (PL): <i>P. longirostris</i> ; (MG) : <i>M. galloprovincialis</i> ; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (cuti): Cuticule; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total.	34
Figure 10	L'activité de la catalase( $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ de protéine) dans les différents organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ). (PL): <i>P. longirostris</i> ; (MG) : <i>M. galloprovincialis</i> ; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (cuti): Cuticule; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total.	35
Figure 11	Taux de GSH ( $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ de protéine) dans les différents organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de la moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ). (PL): <i>P. longirostris</i> ; (MG) : <i>M. galloprovincialis</i> ; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (cuti): Cuticule; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total.	37



N° Figure	Titre	Page
Figure 12	Taux de malondialdéhyde (MDA) ( $\mu\text{M}/\text{mg}$ de prot) dans les différents organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de la moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ). (PL): <i>P. longirostris</i> ; (MG) : <i>M. galloprovincialis</i> ; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (cuti): Cuticule; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total.	<b>38</b>
Figure 13	Taux de glutathion-S-transférase ( $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ de protéine) dans les différents organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de la moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ). (PL): <i>P. longirostris</i> ; (MG) : <i>M. galloprovincialis</i> ; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (cuti): Cuticule; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total.	<b>39</b>
Figure14	L'activité de l'acétylcholinestérase( $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ de protéine) dans les différents organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de la moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ). (PL): <i>P. longirostris</i> ; (MG) : <i>M. galloprovincialis</i> ; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total	<b>41</b>

N° Tableau	Titre	Page
Tableau 1	Exemple de classification des biomarqueurs	15
Tableau 2	Concentration en plomb ( $\mu\text{g/g}$ ) dans les différents organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de la moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ )	32
Tableau 3	Concentration en Cadmium ( $\mu\text{g/g}$ ) dans les différents organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de la moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ )	33
Tableau 4	L'activité de la catalase ( $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ de protéine) dans les différents organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de la moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ )	35
Tableau 5	Taux de glutathionn réduit (GSH) ( $\mu\text{M}/\text{mg}$ de protéines) dans les différents organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de la moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ )	36
Tableau 6	Taux malondialdéhyde (MDA) ( $\mu\text{M}/\text{mg}$ de prot) dans les différents organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de la moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ )	38
Tableau 7	Taux de glutathion-S-transférase ( $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ de protéine) dans les différents organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de la moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel( $m \pm s$ )	39
Tableau 8	L'activité de l'acétylcholinestérase( $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ de protéine) dans les différentes organes de <i>P. longirostris</i> et le corps total de la moule <i>M. galloprovincialis</i> pêchés dans la région de Jijel( $m \pm s$ )	40

<b>N° Photo</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Photo 1</b>	Pollution domestique	<b>6</b>
<b>Photo 2</b>	Pollution pétrolière	<b>6</b>
<b>Photo 3</b>	Pollution pluvial	<b>7</b>
<b>Photo 4</b>	La moule <i>Mytilus galloprovincialis</i> (Linnaeus, 1758)	<b>23</b>
<b>Photo 5</b>	Morphologie interne de l'espèce <i>M. galloprovincialis</i> (- A- individu mâle,-B- individu femelle)	<b>25</b>
<b>Photo 6</b>	<i>Parapenaeus longirostris</i>	<b>27</b>

**%** : Unité de pourcentage

♀ : Femelles

♂ : Mâles

**°C** : Degré Celsius

**AChE**: Acétylcholinestérase

**ADN**: Acide désoxyribonucléique

**Ag**: Argent

**AQ**: Assurance qualité

**As**: Arsenic

**ASCh** : Acétylthiocholine

**Bi**: Bismuth

**C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>**: Acétylène

**CAT**: Catalase

**Cd** : Cadmium

**CDNB**: Chlorodinitrobenzene

**CL50** : Concentration létale 50

**Co**: Cobalt

**Cr**: Chrome

**Cu**: Cuivre

**DDE** : Dichlorodiphényldichloroéthylène

**DO**: Densité optique

**DTNB**: Ddithiobisnitrobenzoate

**DTT**: Dithiothréiol

**EDTA**: Acide éthylène-diamine-tétracétique

**ERO**: Espèces réactives à l'oxygène

**ETM** : Eléments traces métalliques

**Fe**: Fer

**Ge**: Germanium

**GSH** : glutathion (forme réduite)

**GSSG** : Glutathion (forme oxydée)

**GST** : Glutathion S-transférase

**H**: Heure

**H**: Hydrogène

**H<sub>2</sub>O**: Eau

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : Peroxyde d'hydrogène  
**HAP**: Hydrocarbures aromatiques polycycliques  
**HCl** : Acide chloridrique  
**Hg** : Mercure  
**K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>** : Di-potassium hydrogénophosphate  
**Kg**: Kilo gramme  
**KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>** : Hydrogénophosphate de potassium  
**Km** : Kilomètre  
**KOH**: Hydroxyde de potassium  
**l**: Litre  
**LCC**: Lampe à cathode creuse  
**M** : Mole  
**MDA** : Malondialdéhyde  
**mg** : Milligramme  
**mM** : Millimole  
**Mn**: Manganèse  
**Mo**: Molybdène  
**MT**: métallothionéine  
**N** : Normalité  
**N<sub>2</sub>O**: Protoxyde d'azote  
**NADPH** : Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate  
**NaOH** : Hydroxyde de sodium  
**Ni**: Nickel  
**nm** : Nanomètre  
**NO<sub>3</sub>**: Nitrate  
**O<sub>2</sub>**: Oxygène  
**Pb** : Plomb  
**Pb** : Plomb  
**PCB** : Polychlorobiphényles  
**pH** : Potentiel d'hydrogène  
**PL**: Post Larve  
**ppb**: Partie par billion  
**ppm** : Partie par million  
**RLO**: Radicaux libres dérivés de l'oxygène

**ROS:** Reactive oxygen species

**SAA :** Spectroscopie d'Adsorption Atomique

**Sb:** Antimoine

**SCh :** Thiocholine

**-SH :** Groupements thiol

**SSA :** Acide sulfosalicylique

**TBA :** Acide thiobarbiturique

**TCA :** Acide Trichloracétique

**Ti:** Titane

**Trs :** Tours

**UI:** Unité universel

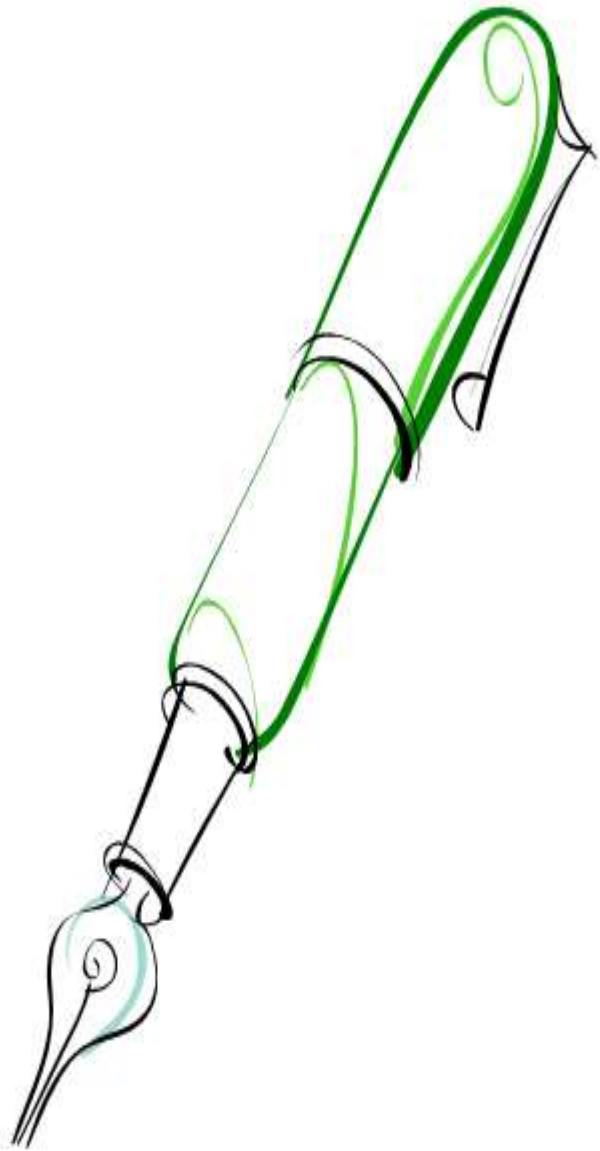
**Zn:** Zinc

**µg :** Microgramme

**µl :** Microlitre



# *Introduction*



La totalité des écosystèmes de la planète sont désormais affectés d'une façon ou d'une autre par le développement des sociétés humaines et les phénomènes de pollution qui en résultent (**Smolders et al., 2003**).

La pollution est généralement définie comme l'introduction directe ou indirecte dans l'environnement de substances ou d'énergie résultant d'activités anthropiques qui menacent potentiellement les ressources vivantes et les écosystèmes (**Di Franco et al., 2020**).

La pollution de l'écosystème marin est devenue un des problèmes majeurs posés par l'environnement. Le milieu marin représente un enjeu considérable en termes de développement socio-économique. Ces dernières décennies, la pollution des océans à travers le monde est devenue un sujet de préoccupation croissante à l'échelle internationale (**Boucetta, 2017**).

Parmi les polluants se trouvant dans l'écosystème marin, les éléments métalliques, qui entrent généralement dans l'environnement aquatique à travers les dépôts atmosphériques, l'érosion de la matrice géologique ou en raison des activités anthropogéniques notamment le rejet des effluents industriels, des eaux usées domestiques et des déchets miniers, l'utilisation des pesticides et des fertilisants inorganiques (**Reddy et al., 2007**).

Dans certains environnements et à des conditions particulières, les métaux peuvent à des concentrations toxiques, causer des dommages écologiques importants. Par ailleurs, le Mercure (Hg), le Plomb (Pb) et le Cadmium (Cd) sont des métaux non biodégradables et toxiques même à de faibles concentrations (**Ennouri et al., 2008**).

La surveillance de la qualité des écosystèmes marins repose en grande partie sur l'évaluation de l'impact écotoxicologique des polluants grâce à des méthodes simples et fiables, spécifiquement adaptées à l'étude des effets des xénobiotiques sur les organismes vivants. Dans ce contexte, les marqueurs biologiques apparaissent comme des outils modernes permettant d'évaluer les effets d'exposition chroniques ou ponctuelles à un (ou des) xénobiotique (s) sur les populations dans leurs habitats (**Lagadic et al., 1997**).

Les crevettes (**RNO, 1995**) et Les moules sont largement considérées comme de bons indicateurs de la contamination du milieu marin dans lequel elles vivent, puisqu'elles possèdent la propriété d'accumuler les contaminants présents dans ce milieu jusqu'à atteindre un équilibre avec lui (**Taleb et Boutiba, 2007**).

La mesure de biomarqueurs comme activité de biotransformation chez la crevette, est susceptible de fournir des informations sur les niveaux d'exposition, sur la biodisponibilité et sur les effets biologiques précoces de substances présentes dans les écosystèmes aquatiques (**Van der Oost et al., 2003**).

Divers biomarqueurs biochimiques et cellulaires ont été étudiés dans les organismes aquatiques, et en particulier dans les crevettes et des mollusques bivalves. Ces biomarqueurs comprennent ceux qui sont spécifiques à un stress oxydatif, recommandé pour la biosurveillance de la qualité de l'environnement aquatique, la littérature fournit quelques données sur les études réalisées sur les biomarqueurs de stress oxydant ayant pour objet la surveillance des écosystèmes marins chez les crustacés (**Anto et al., 2009**), sur les biomarqueurs de stress oxydant chez *A. antennatus* et (**Dorts et al., 2009**) chez la crevette tigrée *P. monodon*.

Dans ce contexte, plusieurs travaux ont été réalisés sur des crustacés et des mollusques pêchés dans la baie de Jijel et dans d'autres régions de l'Algérie à savoir : Béjaïa, Skikda et Annaba.

Ce travail présente une synthèse des travaux effectués dans la région de Jijel (**Abdallah et Makhloufia, 2009; Bouchekhlel et Boughris, 2011; Kbieche et Kismoune, 2012; Boucebta et Bouznoun, 2013; Boubahziz et Chioukh, 2014; Roula et khedimallah, 2016**) de 2009 au 2016 , sur une espèce de crevette (*P. longirostris*) et une espèce de moule (*M. galloprovincialis*) afin de mettre en évidence l'état de l'écosystème marin et le degré de contamination par les métaux lourds (Pb et Cd) en s'appuyant sur les biomarqueurs de stress oxydant (CAT, GSH, GST et MDA) et de neurotoxicité (AChE).

Ce manuscrit s'articule autour de cinq chapitres:

- Le premier chapitre est consacré à la pollution marine et aux métaux lourds.
- Le deuxième chapitre est consacré aux biomarqueurs de stress oxydant.
- Le troisième chapitre est consacré aux mollusques et crevettes.
- Le quatrième chapitre et le cinquième chapitres sont une synthèse des travaux précédents où nous présenterons et discuterons les résultats de certaines études menées sur différents organes de la crevette (*Parapenaeus longirostris*) et la moule (*Mytilus galloprovincialis*) pêchés dans la région de Jijel.

# *Chapitre I*

## *Pollution marine et métaux lourds*



### **I.1. Définition de la pollution marine**

La pollution marine est 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. On distingue la pollution générée par les substances chimiques et celle produite par les déchets aquatiques. Les déchets aquatiques comprennent tout solide ménager, industriel, naturel qui se retrouve dans l'environnement maritime et côtier. Ils peuvent être de nature très variée : déchets flottants en surface ou dans la colonne d'eau, déchets déposés dans les fonds, déchets échoués sur les plages et sur le littoral (**Goeury, 2014**).

De manière spécifique la pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et (ou) perturbe l'écosystème aquatique elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et / ou les eaux souterraines (**Coulet, 2005**).

### **I.2. Nature et origine de la pollution marine**

Une substance d'origine anthropique rejetée dans le milieu est une contamination, si elle exerce des effets défavorables sur le plan biologique, il s'agit alors d'un polluant ou d'un xénobiotique (**Ambolet-Camoit, 2012; Goeury, 2014**). Ce dernier terme désigne toute substance qui n'existe pas à l'état naturel et qui se caractérise par une forte toxicité à des faibles concentrations (**Ramade, 2008**). Les contaminants rejetés dans l'environnement finissent par se retrouver plus ou moins rapidement dans les milieux aquatiques, en particulier estuariens et côtiers, où ils peuvent avoir des effets à court et à long terme (**Burtoon, 1992**).

#### **I.2.1. Les types de polluants**

Le polluant, tout agent physique, chimique ou biologique dans un hydrosystème, qui y provoque, par sa concentration dans l'eau, altération des qualités du milieu au bon équilibre de l'écosystème et en réduit les possibilités d'usages de l'eau (**Ambolet-Camoit, 2012**).

Le comportement dans l'environnement d'une substance est difficile à appréhender car il dépend de ses propriétés et de la nature du milieu dans lequel elle se trouve. Par exemple, sa capacité à se retrouver dans l'atmosphère dépend à la fois de son degré de volatilité et de sa solubilité dans l'eau (**RNB, 1999**). Selon (**Mouchel et Thévenot, 2003**) on distingue:

### **I.2.1.1. Les macropolluants**

Ce sont des molécules naturelles qui se trouvent dans l'environnement à des concentrations différentes de celles habituellement observées, les macropolluants ne sont des polluants que lorsque leur concentration dépasse le seuil d'acceptation du milieu comme les nutriments et la matière en suspension (**Thierry, 2012**).

### **I.2.1.2. Les micropolluants**

Les micropolluants sont des substances qui sont présentes dans les eaux à des concentrations infimes (de l'ordre du millionième, voire du milliardième de gramme par litre). Ils comprennent d'une part les composés chimiques de synthèse, tels les produits phytosanitaires, les biocides et les médicaments, et englobent d'autre part les substances organiques ou inorganiques naturelles, comme les toxines naturelles, les hormones et les métaux lourds. Même en concentrations infimes, ces substances peuvent avoir un effet néfaste sur les organismes aquatiques (**Strahm et al., 2015**).

Les mécanismes de transfert de ces polluants, depuis leur émission et les zones de traitement jusqu'aux sols, aux eaux de surface et aux eaux souterraines, font intervenir leur cycle de vie couplé au cycle de l'eau. Leurs propriétés intrinsèques, les micropolluants sont dangereux. L'intensité et la durée de leur présence dans les eaux (facteurs d'exposition) conditionnent le risque pour les milieux aquatiques et les écosystèmes, ainsi que pour la santé humaine (**Strahm et al., 2015**).

## **I.2.2. Les types de pollution**

La plupart du temps, un rejet n'est jamais une source unique et les différents types de pollution sont mélangés et agissent les uns sur les autres (effets de synergies). Ainsi, un égout rejette des déchets organiques, des détergents dont certains s'accompagnent de métaux lourds (pollution chimique), des micro-organismes (pollution biologique), le tout dans de l'eau douce (pollution physique) (**Gravez et Bernard, 2006**).

### **I.2.2.1. Pollution chimique**

Provient généralement des rejets d'eaux usées contenant des produits d'entretien, des hydrocarbures et des métaux lourds.

De nombreuses substances de synthèse issues du génie humain ont la capacité d'engendrer des sous-produits (métabolites) encore plus dangereux comme le dichlorodiphényldichloroéthylène (DDE) les dioxines (**Chaouki et al, 2013**).

Ainsi l'Océan mondiale est systématiquement pollué par des substances toxiques, même dans ses régions les plus reculées, à titre d'exemple les morues de la mer Baltique présentent des teneurs record en polychlorobiphényles (PCB) (**Vincent, 2006**).



### I.2.2.2. Pollution physique

On parle de pollution physique lorsque le milieu marin est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Il peut s'agir d'un rejet d'eau douce qui fera baisser la salinité d'un lieu (par une centrale hydroélectrique), d'un rejet d'eau réchauffée ou refroidie (par une centrale électrique ou une usine de regazéification de gaz liquide) d'un rejet liquide ou solide de substance modifiant la turbidité du milieu (boue, limon, macrodéchets...), d'une source de radioactivité (**Gravez et Bernard, 2006**).

Cependant, le rejet de chaleur dans l'environnement constituant de nos jours une forme de pollution physique du milieu naturel capable de provoquer de vrais bouleversements, car d'un point de vue écologique, il existe un paramètre incontournable qui est la température du milieu. Or, dans certains pays industrialisés, l'augmentation de température en aval des centrales électriques peut atteindre 7 à 8°C, ce qui engendre une modification totale des communautés aquatiques et de leurs modes de fonctionnement (**Vincent, 2006**).

### I.2.2.3. Pollution biologique

Il peut s'agir de pollution par des micro-organismes (bactéries, virus, champignons) provenant des égouts qui peuvent proliférer à leur arrivée dans le milieu marin, même s'il est vrai qu'il s'agit d'un milieu qui ne favorise pas la vie de la plupart des agents pathogènes (**Gravez et Bernard, 2006**).

Cette pollution peut résulter du rejet dans les eaux continentales ou littorales d'une grande variété de substances organiques fermentescibles d'origines diverses (effluents urbains, matières fécales, industries, élevages,...) et se traduit par une forte contamination bactériologique. Elle soulève, dans bien des cas, de redoutables problèmes d'hygiène publique : qualité des eaux potables, salubrité des plages, qui ne sont pas limités aux seuls pays du tiers monde. Cette extension incessante de la pollution microbiologique des eaux continentales et littorales a pour conséquence une recrudescence d'affections pathogènes (colibacilles, hépatites, virus entériques,...) (**Vincent, 2006**).

Il peut également s'agir de l'introduction d'une espèce marine dans une zone où elle est normalement absente et dans laquelle elle a un impact non négligeable (ex: la caulerpe : *Caulerpa ataxifolia*) (**Gravez et Bernard, 2006**).

## I.3. Les sources de la pollution marine

### I.3.1. La pollution domestique

La pollution domestique résulte des usages de l'eau par les ménages. Elle comprend les eaux vannes (toilettes) et les eaux ménagères et se compose surtout de pollution organique (matières fécales, urines, graisses, déchets organiques, papier, ...), microbiologique ('microbes' dans les eaux

vannes principalement) et chimique (détergents, produits domestiques divers, ...). Après ces produits dangereux ne sont pas filtrés dans les stations d'épuration alors les eaux usées sont directement rejetées dans la mer, puis ces produits s'attaquent aux algues. Ensuite de nombreux poissons meurent chaque année à cause d'humains qui jettent des produits dangereux (**Photo 01**) (Pasquini et al, 2015).



**Photo 1.** Pollution domestique (Vincent, 2006).

### I. 3.2. La pollution pétrolière

Il y a deux types de rejets pétroliers :

- Le premier s'appelle une **marée noire**. La marée noire est causée par les naufrages de pétroliers. Les effets de cette pollution sont très dévastant dans la mer. Mais c'est aussi terrible pour les plantes et les poissons. Après le naufrage de l'Erika en décembre 1999, plus de 10000 tonnes de pétrole lourd se sont répandues sur plus de 400 km<sup>2</sup>. Pour éviter d'autres marées noires il faudrait vérifier plus souvent la solidité des pétroliers.
- Le deuxième type de **rejet vient des hommes** qui déversent volontairement plus de 120 millions de tonnes de pétrole par ans (**Photo 02**) (Vincent, 2006).



**Photo 2.** Pollution pétrolière (Vincent, 2006).

### I.3.3. La pollution pluviale

L'eau de pluie est naturellement polluée. En effet les gouttes d'eau ne peuvent atteindre une taille suffisante pour tomber vers le sol que s'il existe des particules solides dans l'atmosphère permettant d'initier le processus de nucléation. Une partie des polluants atmosphériques urbains

sont donc entraînés vers le sol lors des périodes pluvieuses. Les concentrations en polluants sont cependant extrêmement faibles et dans la plupart des situations l'eau de pluie est de qualité potable lorsqu'elle arrive au niveau du sol. Le facteur limitant le plus fréquent est le pH (pluies acides), mais cette acidité est très rapidement tamponnée par les matériaux sur lesquels elle ruisselle ou qu'elle traverse (**Perrier et Tuzet, 2005**).

Les pluies acides détruisent des forêts mais aussi le milieu marin et le polluent. Par exemple, si quelqu'un fait tomber un pot de peinture par terre, les produits chimiques dans la peinture vont rentrer dans le cycle de l'eau (**Photo 03**) (**Perrier et Tuzet, 2005**).



**Photo 3.** Pollution pluviale (**Vincent, 2006**).

#### **I.3.4. La pollution chimique**

On retrouve dans la mer et dans les sols des substances chimiques dangereuses pour l'environnement. Elles proviennent des rejets des stations d'épuration, de l'agriculture (dans les pesticides qui sont utilisés), de l'industrie, des transports. Des pesticides, métaux et autres substances toxiques sont déversés chaque jour et menacent la chaîne alimentaire. En effet, les substances chimiques s'accumulent dans tous les organismes. Elles contaminent d'abord les espèces végétales, qui sont directement reliées à la terre et se nourrissent de ce qu'elle contient, puis les organismes qui se nourrissent de végétaux. Le phénomène remonte ainsi toute la chaîne alimentaire et finit par toucher les plus grands mammifères et l'homme. C'est ainsi que de nombreuses espèces animales et végétales sont fragilisées. Elles tombent malades et parfois meurent (**Vincent, 2006**).

#### **I.3.5. La pollution agricole**

De nombreuses pollutions sont produites par l'agriculture. Les produits chimiques (pesticides, insecticides) sont utilisés pour tuer les insectes qui se nourrissent de ces plantations ou pour faire pousser les plantes plus vite.

En utilisant le cycle de l'eau, ces engrais chimiques se rejoignent tous dans la mer et cela produit donc les mêmes effets que sur la terre. De nombreux poissons meurent. En France, par exemple, il ya 80 000 tonnes de nitrate qui sont utilisées et qui se retrouvent dans le milieu marin.

Pour lutter contre ce type de pollution, les agriculteurs devraient utiliser des produits plus naturels et en plus en petite quantité (**Vincent, 2006**).

## **I.4. Généralités sur les métaux lourds**

### **I.4.1. Définition**

Un métal est un élément chimique, issu le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal, doté d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie et ce depuis l'antiquité. On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, métaux où dans certains cas metalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique qui est supérieure à 5g par cm<sup>3</sup> (Miquel, 2001).

### **I.4.2. Classification biologique des métaux lourds**

La classification des métaux lourds est souvent discutée, car certains métaux toxiques ne sont pas particulièrement «lourds» comme le zinc. D'un autre côté, certains éléments ne sont pas des métaux mais des metalloïdes comme le cas de l'arsenic. Pour ces différentes raisons, la plupart des scientifiques préfèrent à l'appellation métaux lourds celle de (éléments en traces métalliques) (ETM), où par extension éléments traces (Miquel, 2001).

#### **I.4.2.1. Les éléments traces essentiels**

Les métaux essentiels sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires (réactions biochimiques) et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques et peuvent être toxiques au delà de certaines concentrations, ils sont appelés oligo-éléments (Behazin et al., 2014).

#### **I.4.2.2. Les éléments traces non essentiels**

Ces ETM ne sont pas nécessaires à la vie avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd) (Behazin et al., 2014).

### **I.4.3. Les sources de contamination**

#### **I.4.3.1. Les sources naturelles**

Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts. Il y a d'une part, les oxydes et silicates ; les oxydes étant libérés de la roche par érosion et transportés tels quels dans les sols et sédiments. Et, il y a d'autre part, les sulfures et carbonates, très altérables, qui seront attaqués chimiquement. Les métaux changeront de support. Une partie soluble sera évacuée avec l'eau, vers les sols, les sédiments ou la nappe phréatique. Une autre partie sera piégée dans les argiles et sédiments (Barnabas, 2009).

#### **I.4.3.2. Les sources anthropiques**

Les sources anthropogènes sont les suivantes: Effluents d'extractions minières, Effluents industriels, Effluents domestiques et ruissellements orageux urbains, Lessivage de métaux

provenant de décharges d'ordures ménagères et de résidus solides, Apports de métaux provenant de zones rurales, par exemple métaux contenus dans les pesticides, Sources atmosphériques, par exemple combustion de carburants fossiles, incinération des déchets et émissions industrielles, activités pétrochimiques (**Barnabas, 2009**).

#### **I.4.4. La toxicité des métaux lourds dans le milieu marin**

Les métaux sont souvent indispensables au métabolisme des êtres vivants (oligo-éléments), nombreux d'entre eux sont cependant toxiques lorsque leur concentration dépasse un seuil, lui-même fonction de l'état physico-chimique de l'élément considéré. C'est le cas du fer (Fe) du cuivre (Cu), du zinc (Zn), du nickel (Ni), du cobalt (Co), du molybdène (Mo), du manganèse (Mn), du chrome (Cr), du titane (Ti) (**Jacques et Claude, 2000**).

A faibles concentrations, beaucoup de métaux lourds, dont Hg, Cd, Pb, As et Cu inhibent la photosynthèse et la croissance du phytoplancton. Les effets observés à des niveaux trophiques supérieurs se manifestent notamment par un retard du développement des embryons, des malformations et une moins bonne croissance des adultes chez les organismes marins, les mollusques et les crustacés. En outre, tout au long de la chaîne alimentaire, certains se concentrent dans les organismes vivants. Ils peuvent ainsi atteindre des taux très élevés dans certaines espèces consommées par l'homme, comme les crustacés. Cette " bioaccumulation " explique leur très forte toxicité (**Tarras-Wahlberg et al., 2001**).

#### **I.4.5. Bioaccumulation**

La bioaccumulation c'est l'absorption de substances présentes dans le biotope ou l'alimentation, et leur accumulation dans l'organisme, aboutissent pour faune ou flore aquatique à des concentrations supérieures à celle de l'eau (**Duchemin, 2015**)

Pendant tout processus physiologique d'échange avec le milieu environnant, les molécules exogènes pénètrent à travers les barrières biologiques séparant l'environnement interne de l'organisme du milieu externe. Quand la contamination se fait, ces barrières (cutanées et respiratoires pour la contamination directe, et intestinale pour la contamination trophique) montrent des propriétés biologiques liées à leur structure et aux conditions physico-chimiques de l'environnement (température, pH, électrolytes, etc.). La membrane plasmique est la structure primaire impliquée dans ces processus. Les métaux traces sont piégés par les organismes aquatiques par deux voies principales, à partir de l'eau (voie directe) et à partir de la nourriture (voie trophique) (**Ifremer environnement, 2004**).

## I.4.6. Les éléments étudiés

### I.4.6.1. Le cadmium (Cd)

Le cadmium est un métal blanc argenté, ayant des propriétés physiques proche de celle de zinc, c'est l'un des métaux les plus toxiques non essentiel dans l'environnement (**Prankel et al., 2004**). Il fond à 320.9°C et bout à 767°C. Lors de l'ébullition du cadmium, il se dégager des vapeurs jaunes toxiques (**Pichard et al., 2005**). Le cadmium a servi pour protégé l'acier contre la corrosion (cadmiage) ou encore comme stabilisant pour les plastiques et comme pigments dans les produits céramiques (**Jarup, 2002**).

#### a. Le cadmium dans les milieux aquatiques

Le cadmium est un élément rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimiques (minérale ou organique). Un ensemble de variables physico-chimiques du milieu (salinité, pH, potentiel redox, caractéristiques sédimentologiques, nature géochimique des particules, concentration en chlorures) gouvernent les transformations du cadmium dans l'environnement (**Salawudeen et al., 2020**).

La distinction entre les trois formes dissoutes, colloïdales et particulaires se fait par filtration et ultrafiltration, dont les seuils sont fixés arbitrairement en fonction de leur taille:

✓ Les formes dissoutes (< 1 nm) de cet élément en milieu aquatique sont des espèces libres ( $\text{Cd}^{2+}$ ) et formées par des associations (complexion) de cadmium avec des composés (ligands ou complexant) minéraux ou organiques. L'ion libre du cadmium se trouve majoritairement dans le milieu. Ainsi, à pH=8, la quasi-totalité du cadmium est présente sous forme  $\text{Cd}^{2+}$ . Plus la salinité augmente, plus la concentration en  $\text{Cd}^{2+}$  diminue (**Chabicosky et al., 2004**).

Pour des pH supérieurs à 8, le cadmium précipite avec les carbonates. En zone côtière, lors du mélange des eaux douces avec l'eau de mer, le cadmium forme des complexes très stables avec les chlorures: les chloro-complexes ( $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdCl}_3^-$  et  $\text{CdCl}_4^{2-}$ ). Pour des salinités faibles c'est l'espèce  $\text{CdCl}^+$  qui domine, alors qu'en milieu marin, c'est  $\text{CdCl}_2$  qui est majoritaire (**Chabicosky et al., 2004**).

✓ les formes colloïdales (de 450 à 1 nm) lorsqu'il se fixe à des oxydes de fer, de manganèse, des hydroxydes, des carbonates, des argiles ou de la matière organique colloïdale (**Rehman et al., 2017**).

✓ les formes particulaires (> 0,45  $\mu\text{m}$ ) se font par intégration du cadmium dans la structure cristalline de minéraux détritiques (bruit de fond géochimique), par liaison à une fraction d'origine organique (carbonates, restes d'organismes, pelotes fécales), par précipitation avec différents fractions minérales (carbonates, phosphates, oxydes et hydroxydes de fer ou de manganèse,



sulfures) et par adsorption sur des phases de différentes natures (argiles, matière organique, oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse) (**Rehman et al., 2017**).

#### **b. Utilisation du cadmium**

Le cadmium provient pour l'essentiel de l'industrie. On le trouve dans les accumulateurs, les peintures antisalissures pour les coques des bateaux, dans le caoutchouc des pneumatiques, les engrais et les insecticides. Le cadmium est principalement utilisé pour la métallisation des surfaces, dans la fabrication des accumulateurs électriques, des pigments, des stabilisants pour les matières plastiques, des alliages (**Bisson et al., 2011**).

#### **c. Propriétés biologiques et toxicité**

Contrairement à de nombreux métaux, le cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants. Il remplace parfois le Zn dans des systèmes enzymatiques carencés en Zn chez le plancton (**Lane et Morel, 2000**).

Le cadmium présente des risques chez le consommateur. Même à de faibles concentrations, il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes (50 ans) où il entraîne une perte anormale de protéines par les urines (protéinurie) et provoque des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées. Cependant, il ne présente pas de toxicité aiguë pour les organismes marins à des concentrations susceptibles d'être rencontrées dans le milieu. Au niveau subléthal, des concentrations de 0,05 à 1,2  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  peuvent provoquer des effets physiologiques (anomalies dans le développement embryonnaire et larvaire chez mollusques bivalves) et des inhibitions de croissance (**Chiffoleau et al., 2001**).

#### **I.4.6.2. Le plomb (Pb)**

Le plomb est un métal gris bleuâtre possédant 20 isotopes dont quatre sont naturels. C'est un élément très présent dans l'écorce terrestre, il s'y retrouve sous forme de minerai et il est souvent lié à l'argent et au zinc, les principaux minerais du plomb sont la galène (composé de sulfure de plomb), la cérusite (composé de carbonate naturel de plomb) et l'anglésite (composé de sulfate naturel de plomb) (**Garnier, 2005**).

#### **a. Plomb dans les milieux aquatiques**

Le plomb comme tous les métaux lourds sont introduits dans l'environnement marin par trois voies, à savoir les apports directs, fluviaux et atmosphériques. Contrairement aux autres polluants, ces éléments ne sont pas biodégradables, et sont donc concentrés par les organismes marins à travers la chaîne alimentaire ce qui représente un danger potentiel pour la faune et la flore (**El Makhfouk et al., 2003**).

La majorité de plomb se trouve sous forme dissoute dans l'eau. Le plomb présent dans l'eau et les sédiments est absorbé par les plantes et les animaux marins, le dépassement d'une quantité donnée dans ces espèces provoque leur accumulation dans les organismes et tout au long de la chaîne alimentaire (**Bélanger, 2009**).

### **b. Utilisation du Plomb**

Le plomb est très souvent associé au zinc dans les minerais mais aussi à de nombreux autres éléments: Fe, Cu, Cd, Bi, Sb, Ge, As, Ag, Au qui sont en grande partie (sauf Fe) récupérés lors des opérations métallurgiques. Les minerais mixtes Pb-Zn représentent 70 % de la production minière de plomb, les minerais de plomb en représentent 20 %, et 10 % de la production de plomb proviennent d'une coproduction lors du traitement des minerais de cuivre, de zinc ou d'autres métaux. Le principal minerai du plomb est la galène (PbS) très souvent associé à la blende et à la pyrite (**Chiffoleau et al., 2001**).

L'utilisation du plomb est directement liée à la métallurgie. Avec deux pics notables: sous l'empire romain pour la production de la monnaie, les canalisations et la vaisselle ; et pendant la révolution industrielle pour l'industrie, l'imprimerie, les peintures et les carburants automobiles. Cette dernière utilisation qui consistait à ajouter du plomb à l'essence comme antidétonant est aujourd'hui prohibée (**Miquel, 2001**).

### **c. Propriétés biologiques et toxicité**

La toxicité du plomb a plusieurs points d'impacts, mais surtout au niveau hématologique, neurologique et rénale (**Garnier, 2005**).

#### **✓ Action thioloprive**

Le plomb est connu par son affinité pour la fonction thiol ( $-SH$ ) présente dans les protéines structurales et les protéines enzymatiques. Il entraîne donc une inhibition de nombreuses activités enzymatiques. Nous prenons la perturbation de l'hématopoïèse comme exemple de l'inhibition enzymatique. En effet, le plomb interfère au niveau de trois systèmes enzymatiques de la biosynthèse de l'hème (ALA synthétase, ALA déhydrase et ferrochélatase), entraînant en particulier une accumulation d'ALA (acide delta-amino levulinique) dans le sang et l'urine et une augmentation des protoporphyrines érythrocytaires (**El Mamouni et Rhalem, 2014**).

Le plomb pourrait aussi contribuer à la baisse de la synthèse de la globine qui, s'ajoutant à la diminution de la synthèse de l'hème, conduirait à une production plus faible d'hémoglobine, une des causes d'anémie dans le saturnisme (**El Mamouni et Rhalem, 2014**).

✓ **Action néphrotoxique**

Le plomb provoque des lésions glomérulaires avec action directe sur les cellules tubulaires (nécroses tubulaires) entraînant l'élévation de l'azotémie, uricémie, la diminution de la clairance de la créatinine, l'apparition d'une protéinurie, etc (**El Mamouni et Rhalem, 2014**).

✓ **Action digestive**

Elle est en rapport avec la causticité d'une part et d'autre part avec le déséquilibre de la transmission cholinergique et adrénergique entraînant une vasoréactivité du réseau splanchnique (**El Mamouni et Rhalem, 2014**).

✓ **Autres**

- Action sur les acides nucléiques avec une dégradation d'ARN responsable de l'apparition de granulations basophiles au niveau des hématies.
- Compétition avec le  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  d'où une carence en ces oligo-éléments.
- Cancérigène par altération des systèmes promoteurs et régulateurs de l'ADN. Le plomb provoque une expression anormale des gènes codant pour certaines protéines (**El Mamouni et Rhalem, 2014**).

## *Chapitre II*

### *Les biomarqueurs*



## II.1. Définition de la biosurveillance

La biosurveillance est l'utilisatation de vivant (organisme ou ensemble d'organismes à tous les niveaux d'organisation biologique moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique et écologique) pour surveiller l'évolution des modifications, des altérations ou de la stabilité de la qualité d'un milieu. Elle permet de compléter un diagnostic classique en informant sur les effets biologiques ressentis sur l'environnement. Le recueil de données biologiques permet de faire un suivi qualitatif, voire un historique de certains milieux (Triplet, 2017).

## II.2. Outils de biosurveillance

En général, on distingue deux principes de biosurveillance:

### II.2.1. La biosurveillance dite sensible

utilise les organismes qui répondent au stress causé par la pollution. La mesure de cette sensibilité définit trois concepts (Benard et al., 2004) :

- **Le bio-marqueur** qui se situe au niveau infra-individuel : altération moléculaires, biochimiques, cellulaires ou physiologiques non visibles.
- **Le bio-indicateur** qui se place au niveau individuel : altération physiologiques, tissulaires ou morphologiques visibles.
- **Le bio-intégrateur** qui se situe au niveau de la population et /ou de la communauté : variation densitaire, présence/ absence d'espèces.

### II.2.2. La biosurveillance par accumulation

Elle utilise des organismes qui ont la capacité de stocker les polluants dans leurs tissus (bio-accumulateurs) suite à des mécanismes de fixation et/ou de transfert. Le bio-accumulateur sert ici de matrice de dosage de différents polluants (Benard et al., 2004). Il doit répondre aux spécifications suivantes (Conti et Cecchetti, 2001) :

- Accumuler le polluant sans pour autant être tué par les niveaux avec lesquels il entre en contact.
- avoir une large répartition géographique.
- être abondant, sédentaire ou peu mobile, tout en étant représentatif de la zone de collecte.
- être disponible toute l'année et permettre la collecte d'une quantité suffisante de tissus pour l'analyse.
- être faciles à collecter et résistants aux conditions de laboratoire, ainsi qu'être utilisables dans les études de laboratoire pour absorber les contaminants, si nécessaire.
- avoir un facteur de concentration élevé pour le contaminant étudié, et permettre ainsi une analyse directe sans augmentation préalable de la concentration.

- avoir une corrélation simple entre la quantité de contaminant contenue dans l'organisme et la concentration moyenne de contaminant dans le milieu environnant.
- avoir la même corrélation entre le niveau de contamination et l'environnement environnant dans toutes les études de site et dans toutes les conditions. Cela doit être vrai pour tous les organismes examinés.

### II.3. Définition de biomarqueur

Les biomarqueurs peuvent être définis comme des «changements structuraux ou fonctionnels observables et mesurables, qui prennent place à différents niveaux de l'organisation biologique, depuis la molécule jusqu'à l'organisme pris dans son intégralité, qui traduisent une exposition persistante ou passée d'un individu à une ou plusieurs substances polluantes» (**Lagadic et al., 1997**).

### II.4. Les caractéristiques d'un biomarqueur

Afin d'évaluer un biomarqueur, six critères doivent être disponibles ou établis (**Van Der Oost et al., 2003**):

- le test pour quantifier le biomarqueur doit être fiable (avec assurance qualité (AQ)), relativement cout peu élevé et facile à réaliser.
- la réponse du biomarqueur doit être sensible à l'exposition au polluant et/ou à ses effets afin de servir de paramètre d'alerte précoce.
- les données de base du biomarqueur doivent être bien définies afin de distinguer la variabilité naturelle (bruit) et le stress induit par les contaminants (signal).
- l'impact des facteurs de confusion sur le biomarqueur La réponse doit être bien établi.
- le mécanisme sous-jacent des relations entre la réaction aux biomarqueurs et l'exposition aux polluants (dosage et durée) doivent être établis.
- La signification toxicologique du biomarqueur, par exemple les relations entre sa réaction et l'impact (à long terme) sur l'organisme, doivent être établis.

De plus, (**Van Der Oost et al., 2003**) rajoutent à ces critères, qu'un biomarqueur devra être, si possible, non invasif ou non destructif afin de faciliter le suivi des pollutions sur les espèces protégées ou menacées.

### II.5. Classification des biomarqueurs

Les biomarqueurs peuvent être subdivisés en trois classes (**Tableau 1**) (**Van der Oost et al., 2003**):



### a. Les biomarqueurs d'exposition

Ils permettent la détection et la mesure d'une substance exogène ou de son métabolite ou du produit d'une interaction entre un agent xénobiotique et une molécule ou cellule cible qui est mesurée dans un compartiment d'un organisme.

### b. Les biomarqueurs d'effet

Ils incluent les biomarqueurs biochimiques mesurables, les altérations physiologiques ou autres dans les tissus ou les liquides organiques d'un organisme qui peuvent être reconnues comme étant associées à une santé établie ou possible une déficience ou une maladie.

### c. Les biomarqueurs de susceptibilité

Indiquant la capacité inhérente ou acquise d'un organisme à répondre au défi que représente l'exposition à une substance xénobiotique spécifique, y compris les facteurs génétiques et les modifications des récepteurs qui modifient la susceptibilité d'un organisme à cette exposition.

**Tableau 1.** Exemple de classification des biomarqueurs (Lagadic et al., 1997; Cajaraville et al., 2000).

Catégorie de biomarqueur	Description	Exemples
Exposition à un xénobiotique	Témoin de la pénétration du polluant dans l'organisme	Conjugaison au GSH formation d'adduit à L'ADN, induction des MT
Effet	Témoin de l'amplitude d'un effet, toxique ou non, sur une cible critique, après entrée et distribution du xénobiotique dans l'organisme	Casseurs à L'ADN, enzyme du stress oxydant, réponse lysosomale
De sensibilité/susceptibilité	Témoin de variation génétique de la réponse par les polluants	Augmentation de la quantité de GST, baisse de sensibilité des AChE (Resistance aux insecticides)

L'usage des biomarqueurs s'intègre dans les diverses méthodologies utilisées dans l'étude de l'impact écotoxicologique des polluants. Les biomarqueurs d'exposition s'intègrent dans le *monitoring* des pollutions de l'environnement dans la mesure où ils témoignent de la contamination de l'environnement par la présence des polluants dans l'organisme. Il en est de même pour les biomarqueurs d'effets qui permettent à la fois de participer au *monitoring* des conséquences de la pollution mais contribuent aussi à l'évaluation des effets des polluants, donc des conséquences

écologiques des pollutions et en définitive de l'état des écosystèmes. Enfin, l'usage des biomarqueurs de sensibilité aux effets contribue, ainsi que les précédents, à l'évaluation de la réponse des populations et des communautés aux polluants (Karray, 2015).

## II.6. Les biomarqueurs

### II.6.1. Le stress oxydant

Le stress oxydatif est le résultat d'un déséquilibre entre la production de molécules appelées espèces réactives de l'oxygène (ERO) et la capacité d'un système biologique à détoxifier facilement les éléments réactifs ou à réparer les dommages qui en résultent (Sparling, 2016).

On appelle radical libre tout corps qui contient un ou plusieurs électrons libres (célibataires) le rendant très réactif (Favier, 2006).

En toxicologie, certains contaminants environnementaux, dont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les biphényles polychlorés (PCB) et les hydrocarbures chlorés, sont métabolisés à l'aide du système P450 à l'intérieur des cellules. Au cours du métabolisme, les contaminants produisent des radicaux et des peroxydes, connus collectivement sous le nom d'ERO. Parmi les exemples d'ERO, on peut citer OH<sup>-</sup> (ion hydroxyle), O<sub>2</sub><sup>-</sup> (superoxyde), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (peroxyde d'hydrogène), et OONO<sup>-</sup> (peroxynitrite) (Figure 1). Le stress oxydatif peut causer des dommages toxiques à tous les composants de la cellule. Les écotoxicologues utilisent souvent deux méthodes pour évaluer le stress oxydatif dans une cellule, la mesure des composants du système P450 et les différences de glutathion (Sparling, 2016).

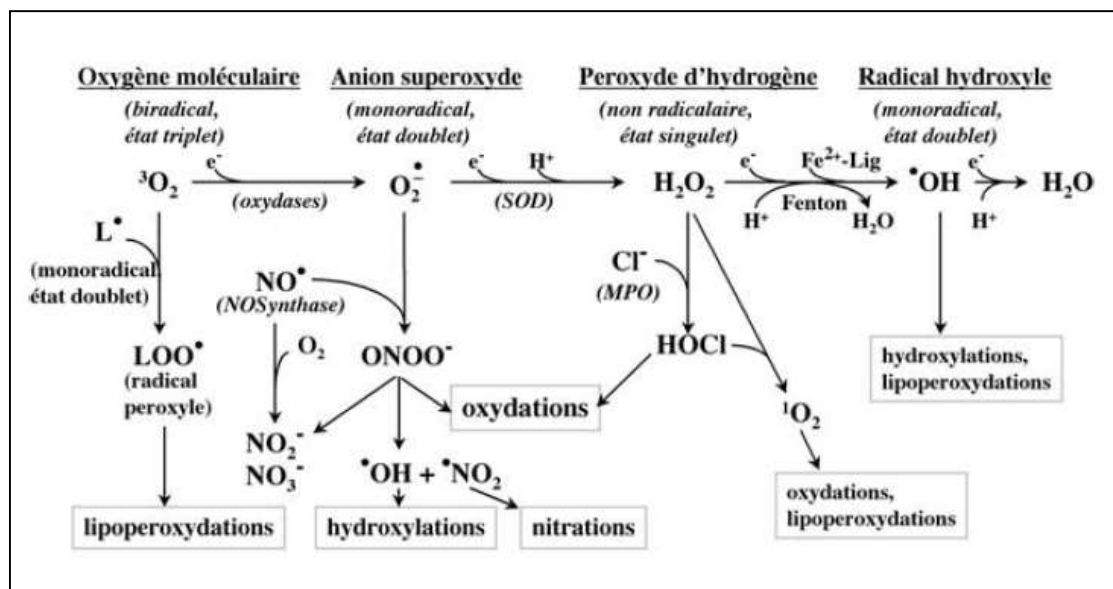


Figure 1. Principales espèces réactives de l'oxygène (Deby-Dupont et al., 2002).

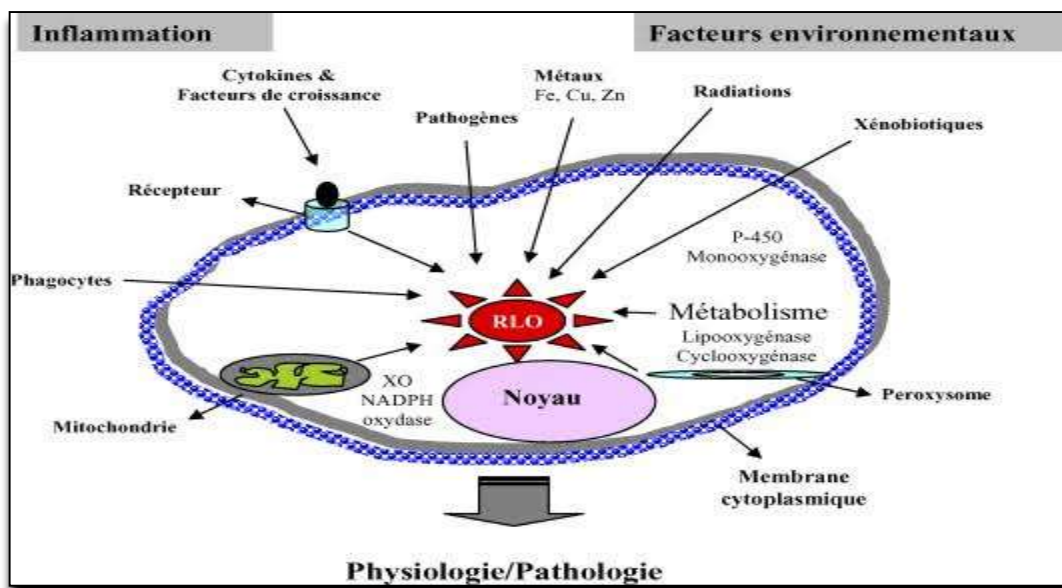
$O_2^{\bullet-}$  : anion super oxyde;  $H_2O_2$  : peroxyde d'hydrogène;  $^{\bullet}OH$  : radical hydroxyle ;  $HOCl$  : acide hypochloreux ;  $^1O_2$  : oxygène singulet ;  $NO^{\bullet}$  : monoxyde d'azote ;  $NO_2^-$  : nitrites;  $NO_3^-$  : nitrates;  $ONOO^-$  : peroxynitrite ;  $^{\bullet}NO_2$  : radical nitryle ;  $Fe^{2+}-Lig$  : complexe du fer ferreux avec un ligand activateur (Lig) ;  $L^{\bullet}$  : radical lipidique; SOD : superoxyde dismutase ; MPO : myéloperoxydase.

## II.6.2. Origine du stress oxydant

Un radical libre est une espèce chimique (atome ou molécule) contenant un électron non apparié. Ce déséquilibre n'est que transitoire et est comblé par l'acceptation d'un autre électron ou par le transfert de cet électron libre sur une autre molécule (Afonso et al., 2007).

Normalement, la production des radicaux libres est permanente mais faible (sous la forme de médiateurs tissulaires ou de résidus des réactions énergétiques ou de défense) (Figure 2). Une telle production physiologique est parfaitement maîtrisée par des systèmes de défense, lesquels sont adaptatifs par rapport au niveau des radicaux présents. Dans ces circonstances normales, on dit que la balance antioxydants/pro oxydants est en équilibre. Si ce n'est pas le cas, que ce soit par déficit en antioxydants ou par suite d'une surproduction énorme de radicaux, l'excès de ces radicaux est appelé « stress oxydant » (Favier, 2006).

Le stress oxydant peut résulter d'une défaillance des systèmes antioxydants protégeant d'un effet néfaste des radicaux libres. Ces antioxydants sont de nature diverse et agissent en synergie soit en se sacrifiant pour piéger l'électron célibataire d'un radical libre et le neutraliser en le délocalisant soit en réduisant enzymatiquement les espèces réactives de l'oxygène. Certains antioxydants piègeurs proviennent de l'alimentation comme les vitamines E (tocophérol), C (ascorbate), Q (ubiquinone), les caroténoïdes ou les polyphénols (Favier, 2006).



**Figure 2.** Origine extra- et intracellulaire des radicaux libres dérivés de l'oxygène (Afonso et al., 2007)..

XO : xanthine oxydase ; P-450 : cytochrome P-450.

### II.6.3. Les biomarqueurs étudiés

#### II.6.3.1. Catalase (CAT)

La catalase est l'une des enzymes antioxydantes cruciales qui atténue le stress oxydatif dans une large mesure en détruisant le peroxyde d'hydrogène cellulaire pour produire de l'eau et de l'oxygène (Nandi et al., 2019).

#### II.6.3.2. Glutathion GSH

Le glutathion est un tripeptide composé de trois acides aminés (cystéine, acide glutamique et glycine) présents dans la plupart des tissus animaux, mais il est particulièrement important dans le foie. Le glutathion agit comme un piègeur de radicaux libres qui se combine avec ces radicaux libres (ROS) et les détoxifie (Sparling, 2016). Est considéré comme étant la première « ligne de défense » contre les attaques radicalaires. Il fonctionne en réagissant avec l'oxygène singulet, l'anion superoxyde et le radical hydroxyle, et peut aussi agir en bloquant les chaînes de réaction faisant intervenir les radicaux libres. Le glutathion est également un substrat essentiel pour l'enzyme antioxydante glutathion peroxydase. Ainsi, le glutathion réduit (GSH), une fois oxydé, forme un radical thiyl qui réagit avec une deuxième molécule pour former un pont disulfure (GSSG) (Figure 3). le rapport du glutathion à l'état réduit (GSH) et oxydé (GSSG) est utilisé comme indice de l'état d'oxydation (Nuhu et al., 2020).

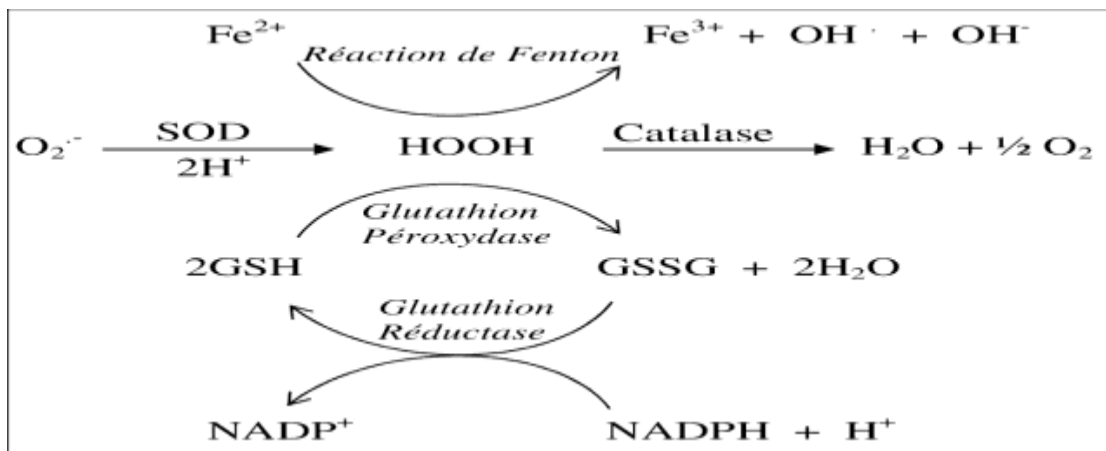


Figure 3. Différents systèmes antioxydants (Prouilac, 2006).

**NADP<sup>+</sup>**: glycérol déshydrogénase, **NADPH**: nicotinamide adénine dinucléotide phosphate; **GSSG** : glutathion (forme oxydée); **GST** : glutathion S-transférase; **SOD**: superoxyde dismutase.

#### II.6.3.3. Glutathion-S-transférase (GST)

La superfamille des glutathion-transférases (GST) est composée de protéines multifonctionnelles largement distribuées dans la nature, à la fois dans les eucaryotes et les procaryotes. Les GST jouent un rôle essentiel dans la détoxification cellulaire contre les xénobiotiques et les composés nocifs ainsi que contre le stress oxydatif. Ils sont capables de conjuguer le glutathion ( $\gamma$ -L-glutamyl-L-cysteinyl-glycine, GSH) à une large gamme de produits hydrophobes et des

molécules électrophiles et de nombreux produits de métabolisme oxydatif, et les rendant moins toxiques et prédisposés à modification supplémentaire pour la sortie de la cellule (**Allocati et al., 2018**).

#### II.6.3.4. Le Malonedialdéhyde (MDA)

Le malondialdéhyde (MDA) est l'un des produits finaux de la peroxydation lipidique. La MDA est le résultat de l'oxydation radicalaire des acides gras polyinsaturés par les espèces réactifs de l'oxygène (ERO). Le MDA est un produit hautement toxique provoquant la polymérisation des protéines, des dommages à l'ADN et des antioxydants contenant du sulfhydryle, et modification d'une bicouche lipidique des membranes cellulaires. Comme résultat, la production de composés riches en énergie par les mitochondries, en particulier l'adénosine triphosphate, nécessaire à l'activité des cellules vivantes, aux taux de croissance et au développement de l'organisme entier, est inhibée (**Sokolova et al., 2020**).

#### II.6.3.5. Acétylcholinestérase (AChE)

Les cholinestérases sont une famille d'enzymes qui catalyse l'hydrolyse du neurotransmetteur acétylcholine (ACh) en choline et acide acétique, une réaction nécessaire pour permettre à un neurone cholinergique de revenir à son état de repos après activation (**Colovic et al., 2013**). L'inhibition de l'activité de l'AChE peut être considérée comme l'un des premiers biomarqueurs proposés dans les études de surveillance de l'environnement (**Amiard et al., 2013**).

AChE est un important neurotransmetteur dans le cerveau et dans les jonctions neuromusculaires. Sans AChE, l'acétylcholine reste dans les synapses et provoque des décharges neurales continues et non régulées qui entraînent l'asphyxie (**Sparling, 2016**).

### II.7. Approches multibiomarqueurs

L'approche multibiomarqueurs pour évaluer la qualité environnementale de l'eau est recommandée par tous les spécialistes en écotoxicologie pour le suivi biologique de la pollution de l'environnement désormais (**Amiard et al., 2013**).

Aucun biomarqueur ne peut à lui seul prendre en compte la diversité des contaminants et à la multiplicité de leurs effets sur les organismes (**Sanchez et Porcher, 2009**).

La Contamination des écosystèmes aquatiques est souvent observée comme un mélange de polluants. C'est la raison pour laquelle l'importance de l'utilisation simultanée de plusieurs biomarqueurs a été soulignée afin de minimiser les erreurs d'interprétation (**Flammarion et al., 2002**).

L'utilisation d'un ensemble cohérent de biomarqueurs permet de déterminer des mécanismes d'action susceptibles d'être à l'origine des effets observés (**Sanchez et al., 2012**).

## **II.8. Limites d'utilisation d'un biomarqueur**

Le biomarqueur parfait et universel n'existe pas. Un biomarqueur peut s'avérer très pertinent dans certaines conditions, mais ne pas répondre dans d'autres, voire induire un diagnostic erroné. Ces conditions varient selon une telle quantité de facteurs, qu'il est inconcevable de présumer de la pertinence d'un biomarqueur dans toutes les situations possibles, parfaitement claires et définies (**Guerlet, 2007**).

Néanmoins, de nombreux autres facteurs sont susceptibles d'influencer la physiologie d'un organisme et donc la réponse d'un biomarqueur.

Parmi eux, il est possible de distinguer notamment des facteurs intrinsèques, tels que : l'âge, le sexe, le statut reproducteur ou les caractéristiques génétiques de l'espèce sentinelle. Enfin, d'autres facteurs extrinsèques exercent une influence sur la réponse des biomarqueurs, qu'il s'agisse d'interactions biotiques (compétition intra- ou interspécifique, prédation, parasitisme...) ou encore de facteurs abiotiques tels que la température ou la salinité (**Amiard et al., 1998**).

Si l'influence de ces facteurs peut être en partie limitée ou, à défaut, correctement appréhendée en conditions contrôlées, l'interprétation de la réponse des biomarqueurs devient extrêmement plus délicate en milieu naturel (**Amiard et al., 1998**).

## *Chapitre. III*

### *Les mollusques et les crevettes*





### III.1. Généralités sur les mollusques

Embranchement d'Invertébrés de grande importance écologique. Ce sont des Métazoaires coelomates triploblastiques, dont le développement embryonnaire est caractérisé par une segmentation spirale. On les divise en trois Classes majeures : les Lamellibranches (Bivalves), les Gastéropodes et les Céphalopodes (**Ramade, 2008**). Les bivalves possèdent une paire de valves calcaires de taille et de forme égales (mais parfois inégales) reliées par un ligament charnière qui agit comme un ressort et permet à l'animal de s'écarter et donc d'échanger entre l'environnement interne et externe (**Pandian, 2017**). La coquille a plusieurs fonctions : il agit comme un squelette pour la fixation des muscles, il protège contre et chez les espèces fouisseuses, il aide à empêcher la boue et le sable d'entrer dans la cavité du manteau (**Gosling, 2015**). Elle est constituée de carbonate de calcium (calcite et aragonite). Elle est sécrétée par le manteau au fur et à mesure de la croissance de l'animal (**Thiam et Diallo, 2010**).

La classe des bivalves regroupe un grand nombre d'espèces aquatiques particulièrement différentes. D'où ces espèces colonisent les eaux salées et les eaux douces. Il s'agit généralement d'un groupe d'animaux fouisseurs, grâce à leur pied musculeux (**Fischer et al., 1987**).

Les moules sont également des organismes marins les plus anciennes (**Azizi et al., 2018a**) et les plus utilisées dans le programme de biosurveillance et d'évaluation de l'environnement (**Yu et al., 2020**). Cela est dû à leur large répartition géographique (**Dumas et al., 2020**).

Les moules marines sont bien connues car elles sont répertoriées dans le programme «Mussel Watch», qui est un programme mondial de surveillance des milieux marins (**Yu et al., 2020**).

Les moules sont sélectionnées comme organisme sentinelle (**Cioan et Retchell, 2005**) et biosenseur de la contamination du milieu marin (**Taleb et Boutiba, 2007**), en raison de leur nature sédentaire, large distribution, capacité d'accumulation de contaminants, facilité de l'échantillonnage et sont remarquablement tolérantes à la pollution (**Azizi et al., 2018a**).

#### III.1.2. L'espèce étudiée

##### III.1.2.1. Généralités sur Le genre *Mytilus*

La moule, *Mytilus* sp est un bivalve marin sont largement considérées comme de bons indicateurs de la contamination du milieu marin dans lequel elles vivent, puisqu'elles possèdent la propriété d'accumuler les contaminants présents dans ce milieu jusqu'à atteindre un équilibre avec lui (**Taleb et Boutiba, 2007**), ces bivalves présentent des caractéristiques qui en font de bons bioindicateurs en raison de:

- Leur mode de vie sessile ; qui exclue toute possibilité de fuite.
- Leur large répartition géographique.



- Leur tolérance à différents stress.
- Leur faculté d'accumuler des métaux présents dans l'environnement dans un facteur de concentration de l'ordre  $10^3$  à  $10^5$  par rapport à l'eau environnante.
- Leur consommation par l'homme donc vecteur de contamination (Ezziyyani et al., 2014).

Parmi ces moules, *Mytilus galloprovincialis* (Linnaeus, 1758) et *Mytilus edulis planutalus* (Lamarck, 1819), deux moules fréquemment utilisées dans les programmes de surveillance respectivement en Méditerranée et en Océanie (Ezziyyani et al., 2014).

### III.1.2.2. Présentation de l'espèce *Mytilus galloprovincialis* (Linnaeus, 1758)

Connue sous le nom de la moule bleue ou méditerranéenne. Elle appartient à la famille *Mytilidae* (Pélicypodes). Son corps est équivalve et le mode de sa nutrition est suspensivore et filtreux. De plus, l'espèce est très consommée par la population et utilisée comme un bioindicateur de pollution (Photo 4) (Almeida et al., 2004).



**Photo 4.** La moule *Mytilus galloprovincialis* (Linnaeus, 1758) (Roula et khedimallah, 2016).

### III.1.2.3. Morphologie

#### a. Externe

Le bivalve *M. galloprovincialis* est caractérisé par une coquille de couleur bleue violée et parfois sombre ou brune, elle recouvre les côtés droit et gauche du corps. Bien qu'elle, s'articule dorsalement autour d'un dispositif marginal appelé charnière qui permet d'observer trois ou quatre petites dents très peu développées et d'une structure élastique, le ligament. Elle est fermée par contraction d'un ou deux (parfois trois) muscles adducteurs qui s'insèrent chacun sur la face interne des deux valves (Beaumont et Truchot, 2004).

#### b. Interne

Il s'agit d'un corps mou, forme une masse viscérale globuleuse (Gauroy, 1972), non segmenté, sans tête différenciée (Acéphales), enveloppé dans un manteau. Ce dernier constitué de deux lobes de tissus et entoure les organes. Un système nerveux est formé de trois paires de ganglions: une

paire de ganglions cérébroïdes, une deuxième viscéraux, et une autre pédieux. Ces derniers réunis entre eux par des filets nerveux ou connectifs. De plus, une bouche présente une fente transversale dépourvue de radula et s'ouvre directement dans l'œsophage. Des branchies (expansions tégumentaires respiratoires) qui flottent dans la cavité palléale reliées chacune à la masse viscérale par l'axe branchial. Ainsi, un cœur formé d'un ventricule médian, traversé par le rectum et deux oreillettes (Nicholson, 2002).

#### III.1.2.4. Classification:

<b>Embranchement</b>	Mollusques.
<b>Classe</b>	Bivalve (Lamellibranches).
<b>Sous classe</b>	Ptériomorphe.
<b>Ordre</b>	Mytiloidés
<b>Famille</b>	Mytilidés
<b>Genre</b>	<i>Mytilus</i> .
<b>Espèce</b>	<i>Mytilus galloprovincialis</i> (Linnaeus, 1758).

#### III.1.2.5. Physiologie

##### a. Nutrition

La nourriture est constituée de diverses particules en suspension telles que les bactéries, le phytoplancton, les détritux, mais aussi les matières organiques dissoutes (MOD) telles que les acides aminés et les sucres (Gosling, 2015).

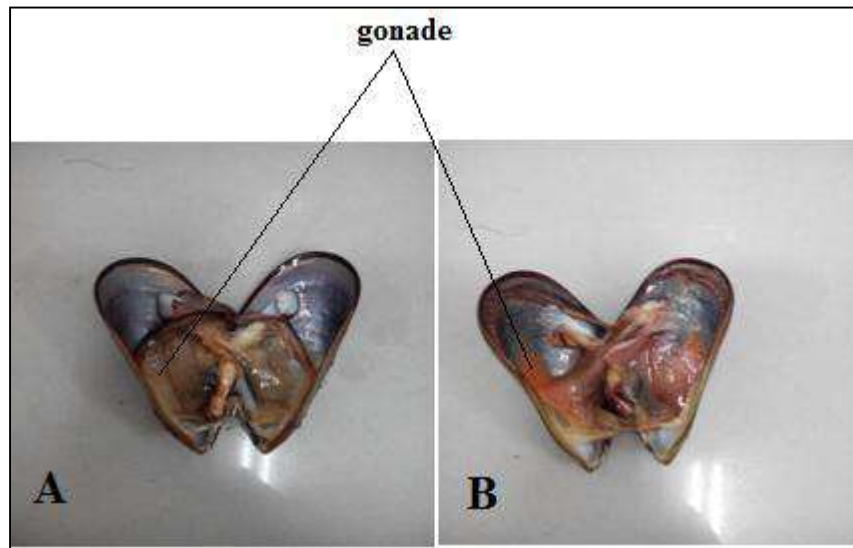
##### b. Reproduction

La reproduction de *M. galloprovincialis* est continue durant toute l'année (Naciri, 1998) avec une période de repos sexuel très réduite. Elle est externe et se fait dans l'eau de mer. Les tissus reproducteurs représentent un taux important de la masse de chair (Duchemin, 2007). Chez le mâle, la gonade est de couleur jaunâtre, tandis que chez la femelle, elle est de couleur orangé (Photo 5). Les gonades se différencient par cinq stades de développement successifs: repos sexuel, reprise d'activité génétique, gamétogénèse, maturation génitale et émission de gamètes. Leur développement se fait en fin de l'automne lorsque la température diminue (Beaumont et Truchot, 2004).

Les sexes sont séparés, et la gonade se développe au sein de tissu du manteau (Gosling, 2015).

Les bivalves ont généralement besoin de mâles et de femelles pour se reproduire, bien que certains individus de l'espèce possèdent les organes des deux sexes ou commencent comme mâles et

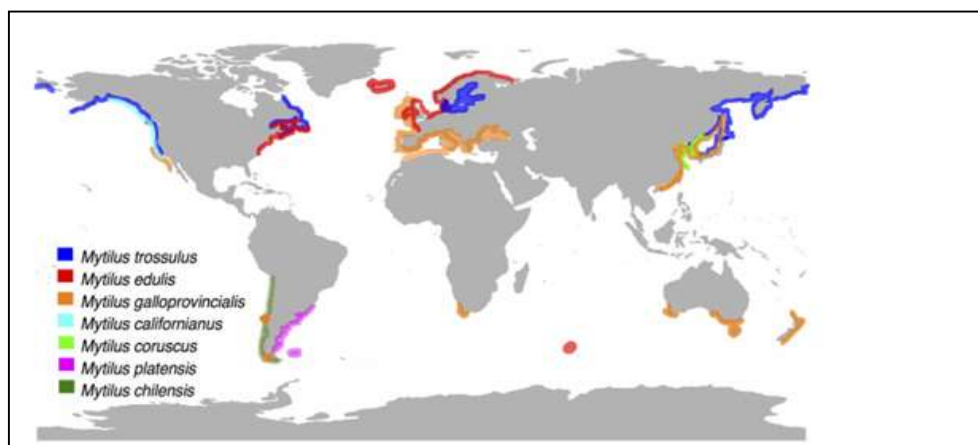
deviennent plus tard des femelles. Les ovules et le sperme des bivalves sont généralement relâchés dans l'eau, où la fécondation a lieu (Evans, 2005).



**Photo 5.** Morphologie interne de l'espèce *M. galloprovincialis* (- A- individu mâle,-B- individu femelle) (Casas, 2005).

### c. Habitat

*M. galloprovincialis* est originaire de la méditerranée, la mer noire et l'adriatique. Elle a fait l'objet de plusieurs introductions dans le monde: Afrique du sud, Est et Ouest de l'Amérique du Nord, Nord Est de l'Asie. Elle vit à faible profondeur, depuis le niveau le plus élevé de la zone intertidal jusqu'à environ 10 m en dessous. La moule vie en colonies, se développe sur les rochers solidement attachée grâce à des filaments très résistant (le byssus) (Figure 4) (Songy et Avezard, 1963).

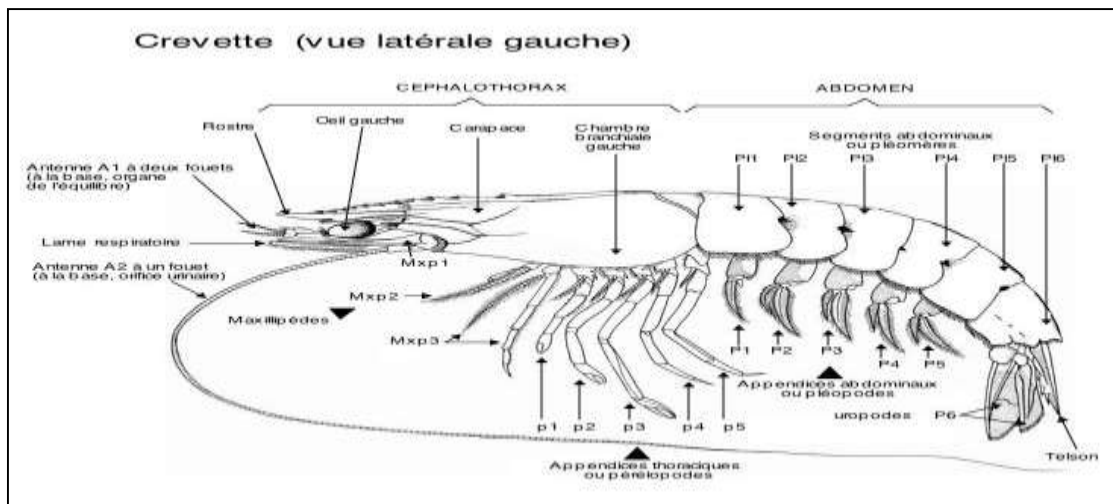


**Figure 4.** Distributions mondiales approximatives de moules de genre *Mytilus* (Gaitán-Espitia et al., 2016).

### III.2. Généralités sur les crevettes

Les crevettes constituent un grand groupe de crustacés de tailles très diverses, de quelques millimètres jusqu'à environ 35 cm de longueur (mesurée de l'extrémité du rostre à l'extrémité du telson). Le corps est presque toujours comprimé latéralement (**Lioris et Rucabado, 1998**).

Comme tous les crustacés, les crevettes sont caractérisées par une métamérisation du corps, divisé en trois parties : tête (ou acron), thorax (ou péréion) et abdomen (ou pléion) terminé par le telson. Chez les crustacés décapodes, la tête et le thorax soudés forment le céphalothorax. Les crevettes de la famille des *Penaeidae* sont caractérisées par un rostre à dents en position ventrale et en position dorsale. Et aussi par la présence de pinces aux trois premières paires de pattes thoraciques (péréiopodes). La partie abdominale est composée de 6 segments (métamères) portant chacun une paire de pattes nageuses (pléopodes) sauf sur le dernier segment qui se termine par le telson (**Figure 5**) (**Castex, 2009**).



**Figure 5.** Morphologie externe d'une crevette (**Lioris et Rucabado, 1998**).

Les crevettes sont largement considérées comme de bons indicateurs de la contamination du milieu marin dans lequel elles vivent, puisqu'elles possèdent la propriété d'accumuler les contaminants présents dans ce milieu jusqu'à atteindre un équilibre avec lui. (**RNO, 1995**).

#### III.2.1. Présentation de l'espèce *Parapenaeus longirostris* (**Lucas, 1846**)

Elle est connue en Algérie sous le nom de "crevettes blanche" et en France, en Tunisie et au Maroc "crevette rose" (**Lioris et Rucabado, 1998**). Elle a une taille commune de 8 à 14 cm (mâle) et de 12 à 16 cm (femelle), c'est une espèce de couleur rose orangée (**Lioris et Rucabado, 1998**), avec un rostre rouge assez bien développé, pourvu d'environ 7 à 9 dents sur son bord dorsal.

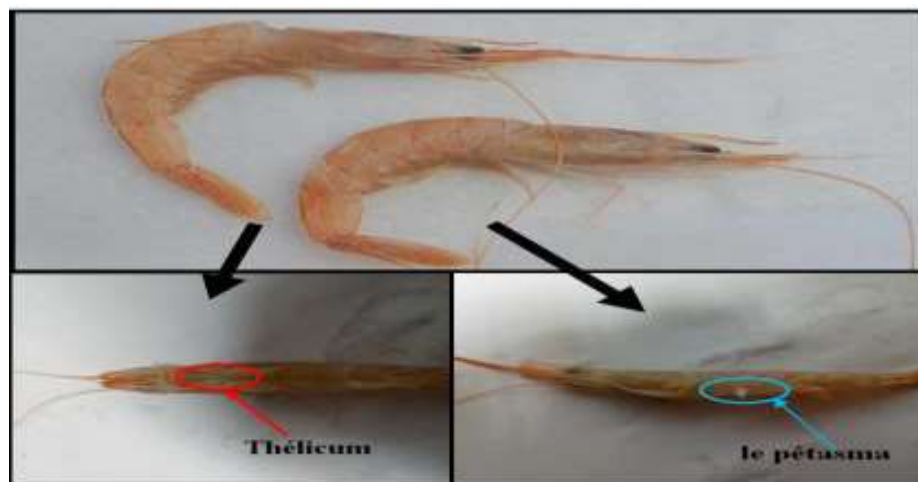
Cette crevette se nourrit essentiellement de petits bivalves, de petits crustacés (crangonidés en particulier) ainsi que de cadavres de poisson (**Arzel et al., 1992**).

C'est une espèce démersale et profonde, vit sur les fonds vaseux ou vaso-sableux, sa répartition bathymétrique est large de 20 à 700 m et généralement de 100 à 400 m de profondeur (**Heldt, 1984**).

L'aire de répartition de *Parapenaeus longirostris* est étendue, cette espèce se rencontre dans tous le bassin méditerranéen. Elle est également répandue dans l'Atlantique oriental, de l'Angola au Portugal et dans l'Atlantique occidental, des Guyanes au Massachusetts (**Holthuis, 1987**).

### III.2.2. Morphologie

*Parapenaeus longirostris* présente, en général, une coloration beige plus ou moins nacrée, le rostre est de couleur plus foncée, ainsi que les pattes, les articulations, des appendices et le telson. Cette espèce présente un dimorphisme sexuel apparent ; Les mâles possèdent un pétasma avec deux projections distomédiales étroites, recourbées vers l'extérieur qui se termine par des pointes aiguës. Quant aux femelles, elles possèdent un Thélécum dans la partie abdominale antérieure en forme de triangle obtus (**Photo 6**) (**Holthuis, 1987**). Chez les individus qui viennent de muer, la coloration est rose rouge. La carapace des males mesure souvent plus de 25mm et atteint 38mm: celle des femelles dépasse souvent 27mm et peut atteindre 41.5 mm. La carène post rostrale est haute et tranchante. Le nombre de dents du rostre est compris entre 6et10 avec plus .dans 30% des cas (**Mori et al., 2000**).



**Photo 6.** *Parapenaeus longirostris* (Lucas, 1846) (Benkabouche, 2007).

## III.2.3. Classification

<b>Règne</b>	Animal.
<b>Sous règne</b>	Eu métazoaire.
<b>Embranchement</b>	<i>Anthropoda.</i>
<b>Sous embranchement</b>	<i>Mondibulata.</i>
<b>Classe</b>	<i>Crustacea.</i>
<b>Sous classe</b>	<i>Malacostracea.</i>
<b>Ordre</b>	<i>Décapoda.</i>
<b>Sou ordre</b>	<i>Natantia.</i>
<b>Super famille</b>	<i>Pénæida.</i>
<b>Famille</b>	<i>Penaeidae.</i>
<b>Genre</b>	<i>Parapenaeus.</i>
<b>Espèce</b>	<i>Parapenaeus longirostris</i> (Lucas, 1846).

## III.2.4. Physiologie

## a. Nutrition

*Parapenaeus longirostris* est détritivore, et sa nourriture est principalement constituée de petits Invertébrés (Crustacés, polychètes...), d'algues mais aussi de déchets d'animaux (Petit, 2004).

## b. Cycle biologique

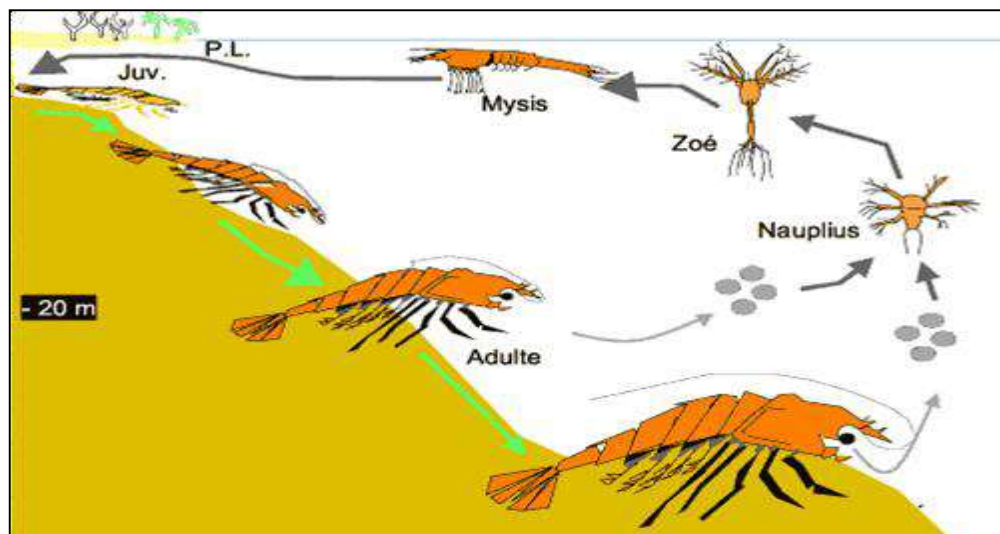
Le cycle biologique des crevettes comprend généralement trois phases, caractérisées par des changements successifs d'habitat pour les différents stades du développement :

- La phase méroplanctonique et planctonique qui a lieu en zone océanique et côtière (stades larvaires Nauplius, Zoé et Mysis).
- La phase benthique, au niveau des estuaires, pour les post-larves et les Juvéniles.
- La phase de migration sexuelle durant laquelle les animaux migrent vers le large pour se reproduire.

L'accouplement ainsi que la ponte ont donc lieu en mer à quelques dizaines de mètres de profondeur. La fécondation est externe, les ovules étant fécondés au moment de leur expulsion. Les œufs sont d'abord pélagiques puis benthiques. Après 10 à 12 h de développement embryonnaire, l'éclosion se produit et les nauplies sont libérés. Ce premier stade de développement est vitellotrophe, et est suivi de six stades nauplius successifs. Le dernier stade Nauplius donne alors naissance à a larve Zoé (3 stades) se nourrissant exclusivement d'algues phytoplanctoniques. La dernière forme Zoé (Zoé 3) se métamorphose ensuite en larve Mysis (3 stades) qui est strictement carnivore. (Castex, 2009).



La dernière métamorphose aboutit au stade post-larve (PL). L'animal présente alors la plupart des caractéristiques morphologiques de l'adulte. Les PL passent en quelques jours (10 à 20) d'une vie pélagique à une vie benthique. Elles se concentrent généralement près des côtes, dans les estuaires ou les lagunes. Finalement, un mois et demi à deux mois sont nécessaires après l'éclosion pour que les animaux acquièrent l'ensemble des caractéristiques morphologiques de l'animal adulte. Après une période de croissance rapide de quelques semaines en lagune, où la production biologique est élevée et la nourriture abondante, les crevettes, mesurant alors 8 à 12 cm de longueur, quittent les lagunes pour retrouver la bande côtière. Une fois en mer, les crevettes vont poursuivre leur croissance pendant 8 à 12 mois avant de se reproduire (**Figure 6**) (**Castex, 2009**).



**Figure 6.** Cycle de développement d'une Crevette (**Castex, 2009**).

### c. Habitat

Très large ; l'espèce se trouve dans toute la Méditerranée, dans l'Adriatique et dans l'Océan Atlantique, à l'Est des côtes du Portugal jusqu'au Sud de l'Angola, à l'Ouest depuis le Massachusetts (U.S.A.) jusqu'à la côte septentrionale du Vénézuéla (**Figure 7**) (**FAO, 2011**).

La description de l'espèce pour la première fois sur les côtes algériennes est attribuée à Lucas en 1846. Ce n'est qu'en 1926 que Gruvel la signale comme étant la forme la plus dominante de l'ouest algérien, entre 200 et 400 mètres de profondeur. Par la suite Argilas (1929) indique que cette espèce est capturée entre 200 et 300 mètres et rarement au-delà de 500 mètres (**Maurin, 1962**), note la présence de cette crevette sur l'ensemble des côtes algériennes entre 150 et 400 mètres avec une plus grande abondance dans la région de Béjaïa (**Maurin, 1962**).

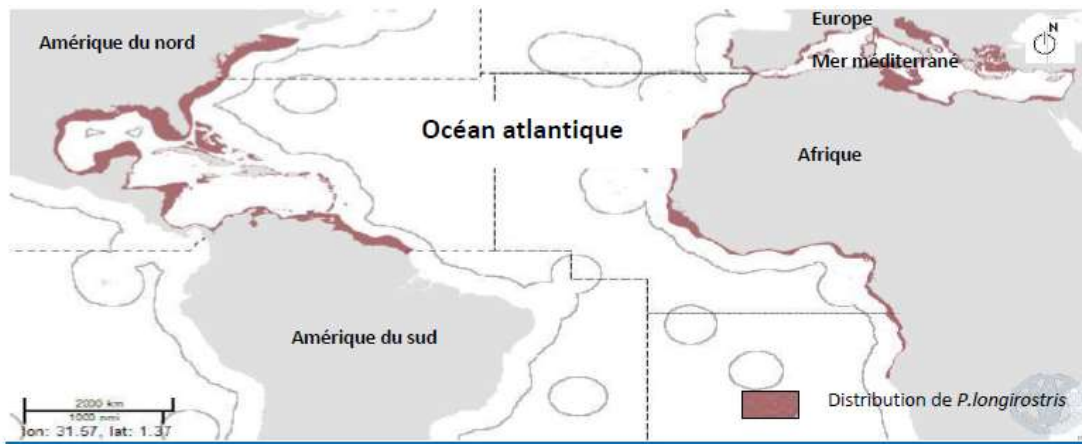
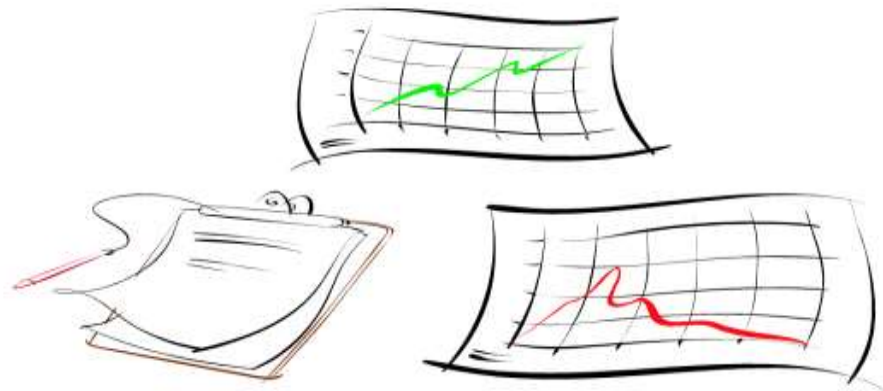


Figure 7. Distribution géographique de *P. longirostris* à travers le monde (FAO, 2011).



# *Chapitre IV*

## *Analyse des données*



Ce chapitre est une synthèse des études précédentes de Master menées sur des organismes marins afin d'évaluer l'état de pollution de la mer de Jijel et d'autres régions de l'est de l'Algérie en déterminant les concentrations de métaux lourds dans ces organismes (**Abdallah et Makhloufia, 2009; Bouchekhlel et Boughris, 2011; Kbieche et Kismoune, 2012; Boucebta et Bouznoun, 2013; Boubahziz et Chioukh, 2014; Roula et khedimallah, 2016**).

Nous présenterons les résultats de ces études menées sur différents organes de la crevette *Parapenaeus longirostris* au fil des années de 2009 à 2014 et sur le corps total des moules *Mytilus galloprovincialis* en 2016.

D'abord nous présenterons les résultats de dosage des métaux lourds, le plomb et le cadmium ensuite, nous présenterons les résultats de dosage des biomarqueurs de stress oxydant (CAT, GSH, MDA, GST) et de neurotoxicité (AchE).

#### **IV.1. Taux de métaux lourds**

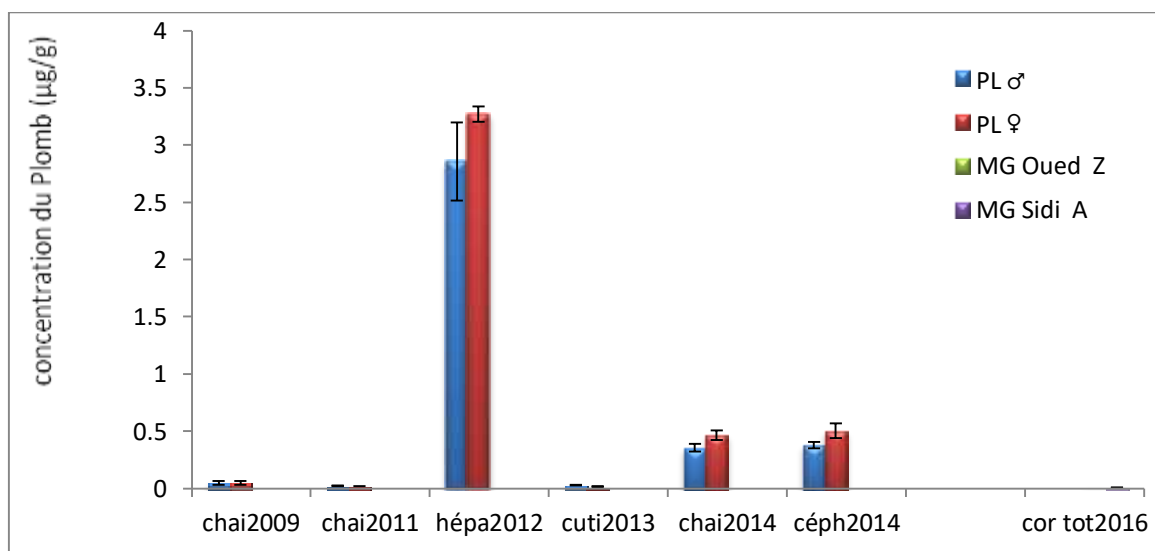
##### **IV.1.1. Teneur en plomb**

Le tableau 2 et la figure 8 représentent les résultats de dosage du plomb dans les différents organes de la crevette *Parapenaeus longirostris* au cours des années de 2009 à 2014 et dans le corps total de la moule *Mytilus galloprovincialis* en 2016.

Le test t de student révèle qu'il y a une différence très significative des concentrations du plomb entre les deux sexes de *P. longirostris* de l'année 2013, et aucune significativité entre les deux sexes de *P. longirostris* n'a été notée pour les autres années. Pour *M. galloprovincialis* le test t de student a révélé une augmentation hautement significative ( $P < 0.001$ ) de la concentration du plomb chez les moules pêchées dans le site de sidi Abdelaziz par rapport à celles pêchées à oued Zhour (**Tableau 2, Figure 8**).

**Tableau 2.** Concentration en plomb ( $\mu\text{g/g}$ ) dans les différents organes de *P. longirostris* et le corps total de la moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ).

Années	Sexe	Mâle	Femelle	t student	
					Organes
<i>P. longirostris</i>	<b>Abdallah et Makhloufia, 2009</b>	Chair	0,050±0,017	0,045±0,017	/
	<b>Bouchekhlel et Boughris, 2011</b>	Chair	0,022±0,0008	0,021±0,001	0,245
	<b>Kbieche et Kismoune, 2012</b>	Hépatopancréas	2,856 ±0,343	3,271 ± 0,066	0,1091
	<b>Boucebta et Bouznoun, 2013</b>	Cuticule	0,028±0.0008	0,016 ±0,0055	0,002
	<b>Boubahziz et Chioukh, 2014</b>	Chair	0,354± 0,035	0,464± 0,042	0,338
		Céphalothorax	0,378± 0,026	0,502± 0,065	0,326
<i>M. galloprovincialis</i>	Site	Oued Z		Sidi A	t student
		Organe			
<b>Roula et khedimallah, 2016</b>	Corps total	0,0014±0,0008	0,0065±0,0009	0,0002	



**Figure 8.** Concentrations en plomb ( $\mu\text{g/g}$ ) dans les différents organes de *P. longirostris* et le corps total de la moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ). (PL): *P. longirostris*; (MG) :*M. galloprovincialis*; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (cuti): Cuticule; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total.

**IV.1.2.Teneur en cadmium**

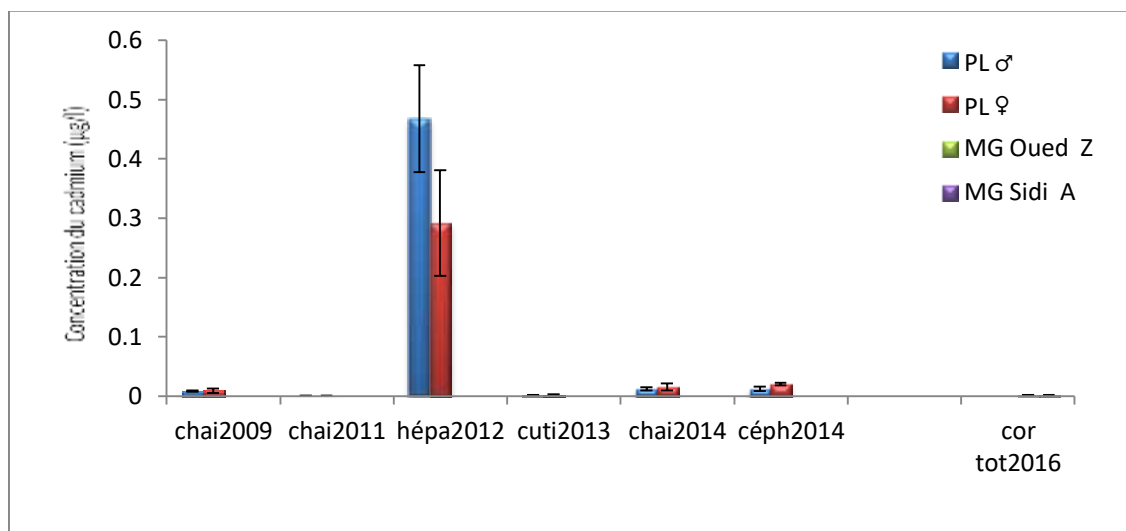
Le tableau 3 et la figure 9 représentent les résultats de dosage du cadmium dans les différents organes de la crevette *Parapenaeus longirostris* au cours des années de 2009 à 2014 et dans le corps total de la moule *Mytilus galloprovincialis* en 2016.

Le test t de student révèle une augmentation très significative ( $p < 0.01$ ) chez les femelles de *P. longirostris* de l'année 2013 et une différence significative ( $p < 0.05$ ) entre les deux sexes de *P. longirostris* pour l'année 2011. Le test t de student ne signale aucune différence significative ( $p > 0.05$ ) entre les deux sexe de *P. longirostris* pour les années 2012 et 2014.

L'analyse statistique par le test t de student montre une différence très significative chez *M. galloprovincialis* pêchée dans le site de sidi Abdelaziz par rapport à celle pêchée d'oued Zhour (Tableau 3, Figure 9).

**Tableau 3.** Concentration en Cadmium ( $\mu\text{g/g}$ ) dans les différents organes de *P.longirostris* et le corps total de la moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ).

Années	Sexe Organes	Mâle	Femelle	t student
		<i>P.longirostris</i>		
<b>Abdallah et Makhloufia, 2009</b>	Chair	0,008±0,001	0,009±0,004	/
<b>Bouchekhlel et Boughris, 2011</b>	Chair	0,0008 ±5,033.10 <sup>-5</sup>	0,0007 ±5,56.10 <sup>-5</sup>	0,029
<b>Kbieche et Kismoune, 2012</b>	Hépatop ancréas	0,468 ± 0,090	0,292 ± 0,089	0,0756
<b>Boucebta et Bouznoun, 2013</b>	Cuticule	0,0016 ± 0,0001	0,0025±0,00002	0,0035
<b>Boubahziz et Chioukh, 2014</b>	Chair	0,012± 0,003	0,015± 0,006	0,580
	Céphalot horax	0,012± 0,004	0,02± 0,002	0,073
<i>M.galloprovincialis</i>				
<b>Roula et khedimallah, 2016</b>	Site	Oued Z	Sidi A	t student
	Organe			
	Corps total	0,0017 ±2.10 <sup>-5</sup>	0,0018 ±4,7.10 <sup>-5</sup>	0,004



**Figure 9.** Concentrations en cadmium ( $\mu\text{g/g}$ ) dans les différents organes de *P. longirostris* et le corps total de la moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ).

(PL): *P. longirostris*; (MG) :*M. galloprovincialis*; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (cuti): Cuticule; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total.

## IV.2. Dosages des biomarqueurs.

### IV.2.1. Activité catalase (CAT)

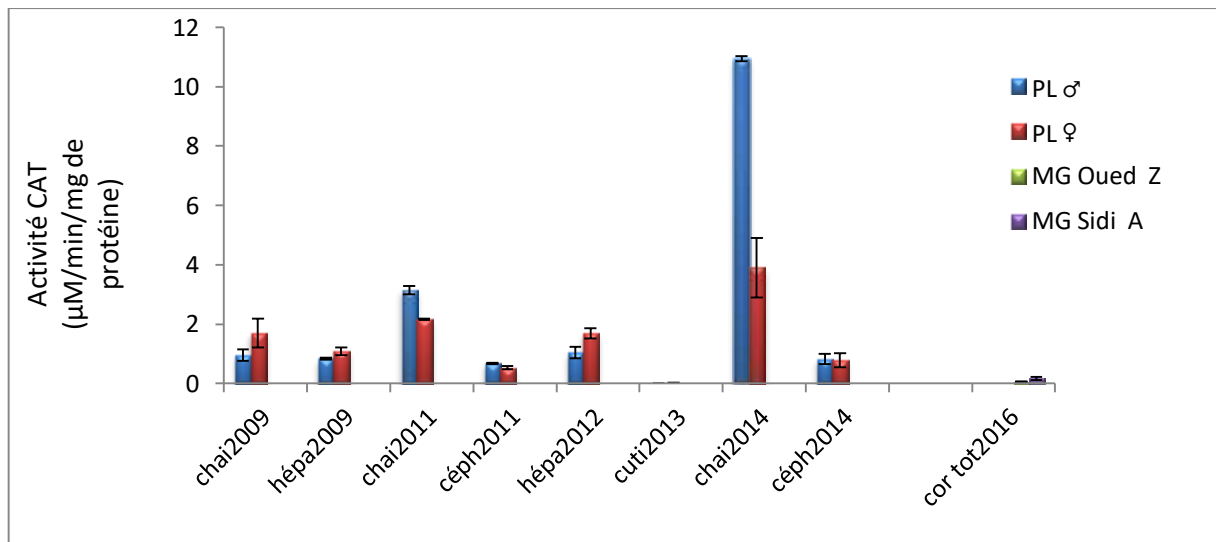
Le tableau 4 et la figure 10 représentent les résultats de dosage de la catalase dans les différents organes de la crevette *Parapenaeus longirostris* au cours des années de 2009 à 2014 et dans le corps total de la moule *Mytilus gallopronvialis* en 2016.

Le test t de student révèle des augmentations significatives ( $p < 0.05$ ) chez les femelles de *P. longirostris* dans les différents organes prélevés pour les années 2011, 2012 et 2013. Par contre pour l'année 2014 nous avons enregistré une activité élevée de la catalase chez les mâles par rapport aux femelles.

Le test t de student montre une augmentation hautement significative ( $p < 0,001$ ) de l'activité catalase enregistrée chez la moule *M. galloprovincialis* de sidi Abdelaziz par rapport à celle pêchée d'oued Zhour (**Tableau 4, Figure 10**).

**Tableau 4.** L'activité de la catalase ( $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$  de protéine) dans les différents organes de *P. longirostris* et le corps total de la moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ).

	Années	Sexe		Mâle	Femelle	t student
		Organes				
<i>P. longirostris</i>	Abdallah et Makhloufia, 2009	Chair		0,95±0,19	1,7±0,48	
		Hépatopancréas		0,84±0,04	1,09±0,13	
	Bouckekhlel et Boughris, 2011	Chair		3,146±0,147	2,167±0,019	0,0038
		Céphalothorax		0,681±0,016	0,533±0,055	0,003
	Kbieche et Kismoune, 2012	Hépatopancréas		1,053 ± 0,194	1,692 ± 0,168	0,0049
	Boucebta et Bouznoun, 2013	Cuticule		0,012 ± 0,001	0,020 ± 0,001	0,0012
	Boubahziz et Chioukh, 2014	Chair		10,951±0,085	3,902±1,006	0,0005
		Céphalothorax		0,825±0,17	0,781±0,233	0,741
<i>M. galloprovincialis</i>	Roula et khedimallah, 2016	Site	Oued Z		Sidi A	t student
		Organe				
		Corps total		0,059 ± 0,012	0,17 ± 0,049	0,0003



**Figure 10.** L'activité de la catalase(µM/min/mg de protéine) dans les différents organes de *P. longirostris* et le corps total de moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel (m ± s). (PL): *P. longirostris*.; (MG) :*M. galloprovincialis*; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (cuti): Cuticule; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total.

**IV.2.2. Taux de glutathion(GSH)**

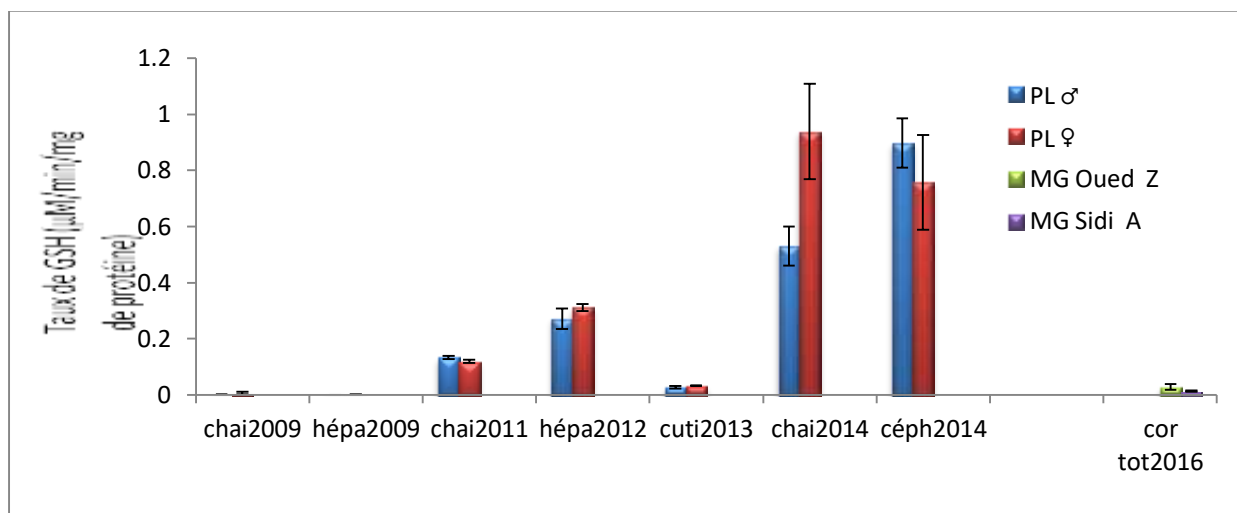
Le tableau 5 et la figure 11 représentent les résultats de dosage de GSH dans les différents organes de la crevette *Parapenaeus longirostris* au cours des années de 2009 à 2014 et dans le corps total de la moule *Mytilus galloprovincialis* en 2016.

Le test t de student révèle un taux de GSH important ( $p < 0.01$ ) chez les femelles de *P. longirostris* au cours des années 2011 et 2014 mais aucune différence significative ( $p > 0.05$ ) n'a été signalée entre les deux sexes de *P. longirostris* pour les années 2012 et 2013.

Le test t de student a montré une diminution très significative du taux de GSH ( $P < 0.001$ ) enregistré chez *M. galloprovincialis* de sidi Abdelaziz (**Tableau 5, Figure 11**).

**Tableau 5.** Taux de glutathionn réduit (GSH) ( $\mu\text{M}/\text{mg}$  de protéines) dans les différents organes de *P. longirostris* et le corps total de la moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ).

Années	Sexe	Mâle	Femelle	t student	
		Organes			
<i>P. longirostris</i>	<b>Abdallah et Makhloufia, 2009</b>	Chair	0,0018±0,0002	0,0065±0,004	
		Hépatopancréas	0,00014±0,00002	0,0006±0,00002	
	<b>Bouckekhlel et Boughris, 2011</b>	Chair	0,133±0,006	0,119±0,005	0,006
		Hépatopancréas	0,271± 0,037	0,311 ± 0,013	0,1570
	<b>Boucebta et Bouznoun, 2013</b>	Cuticule	0,027± 0,005	0,032 ± 0,002	0,277
	<b>Boubahziz et Chioukh, 2014</b>	Chair	0,531±0,070	0,939±0,171	0,004
Céphalothorax		0,898±0,087	0,757±0,169	0,147	
<i>M. galloprovincialis</i>	Site	Oued Z	Sidi A	t student	
		Organe			
<b>Roula et khedimallah, 2016</b>	Corps total	0,028±0,01	0,012±0,0025	0,004	



**Figure 11.** Taux de GSH ( $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$  de protéine) dans les différents organes de *P. longirostris* et le corps total de la moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ).

(PL): *P. longirostris*; (MG) :*M. galloprovincialis*; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (cuti): Cuticule; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total.

#### IV.2.3. Taux du malondialdéhyde (MDA)

Le tableau 6 et la figure 12 représentent le taux du MDA dans les différents organes de la crevette *Parapenaeus longirostris* au cours des années de 2009 à 2014 et dans le corps total de la moule *Mytilus galloprovincialis* en 2016.

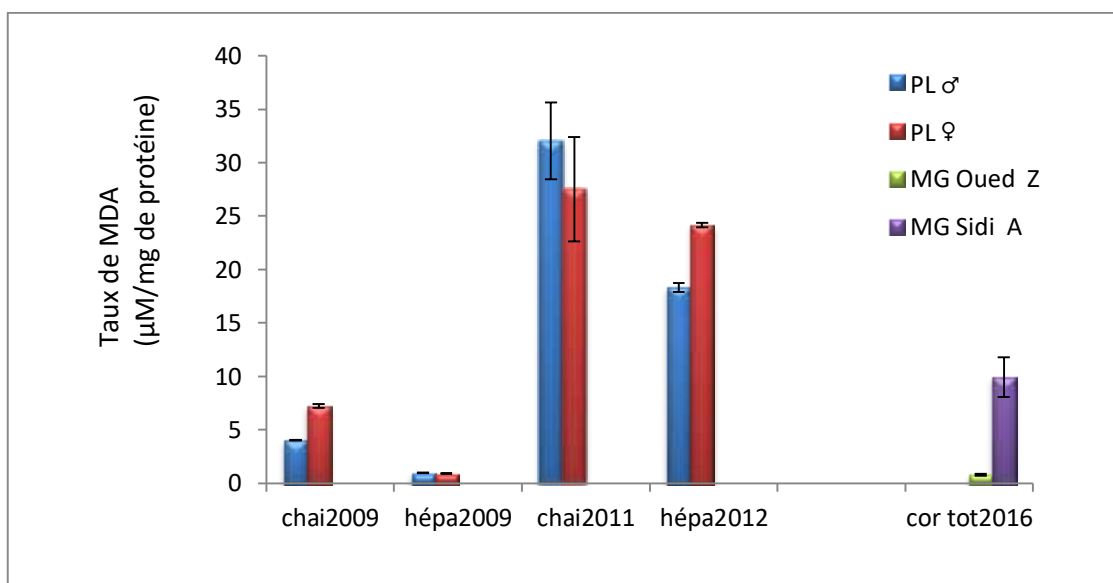
La comparaison entre les mâles et les femelles de *P. longirostris* par le test t de student n'a révélée aucune différence significative du taux de MDA dans la chair. par contre le même test révèle une augmentation significative ( $p < 0.05$ ) chez les femelles dans l'hépatopancréas de *P. longirostris* de l'année 2012.

Pour *M. galloprovincialis* le test t de student montre une augmentation hautement significative du taux de MDA chez les moules pêchées dans le site de sidi Abdelaziz (**Tableau 6, Figure 12**).

**Tableau 6.** Taux malondialdéhyde (MDA) ( $\mu\text{M}/\text{mg}$  de prot) dans les différents organes de *P. longirostris* et le corps total de la moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ).



	Années	Sexe	Mâle	Femelle	t student	
			Organes			
<i>P. longirostris</i>	<b>Abdallah et Makhloufia, 2009</b>		Chair	4,02±0,02	7,23±0,19	
			Hépatopancréas	0,95±0,02	0,89±0,02	
	<b>Bouckekhlel et Boughris, 2011</b>		Chair	32,033±3,607	27,499±4,870	0,092
			Hépatopancréas	18,323 ± 0,436	24,149 ± 0,193	2,9546.10 <sup>-5</sup>
<i>M. galloprovincialis</i>	<b>Roula et khedimallah, 2016</b>		Site	Oued Z	Sidi A	t student
			Organe	Corps total	0,806 ± 0,095	9,92 ± 1,88



**Figure12.** Taux de malondialdéhyde (MDA) (µM/mg de prot) dans les différents organes de *P. longirostris* et le corps total de la moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel (m ± s). (PL): *P. longirostris*; (MG) :*M. galloprovincialis*; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (cuti): Cuticule; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total.

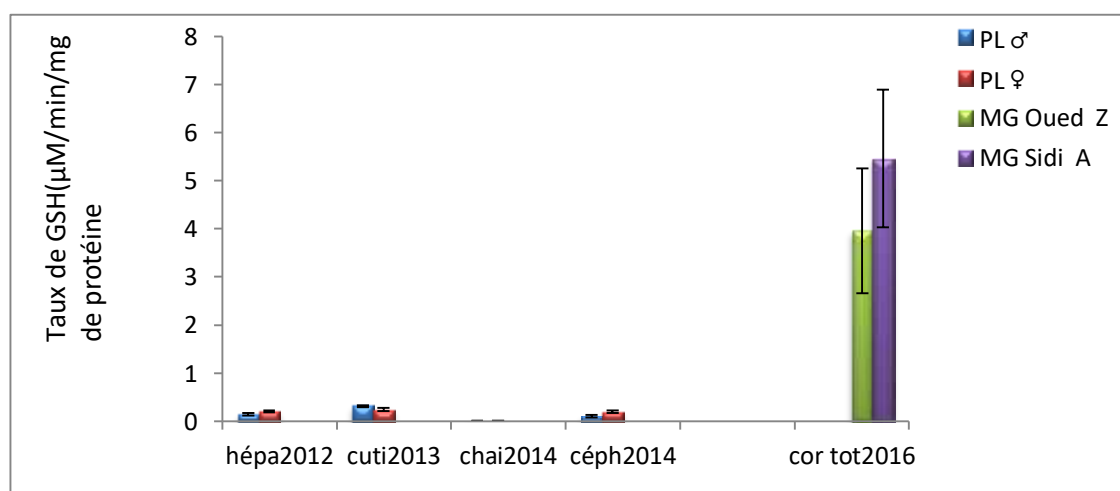
**IV.2.4.Taux de glutathion -S- transférase (GST)**

Le tableau 7 et la figure 13 représentent les résultats de dosage de la GST dans les différents organes de la crevette *Parapenaeus longirostris* au cours des années de 2009 à 2014 et dans le corps total de la moule *Mytilus gallopronvialis* en 2016.

L'analyse statistique des résultats par le test t de student montre que l'activité de GST augmente significativement dans l'hépatopancréas des femelles de *P. longirostris* et diminue significativement dans la cuticule chez les mâles de *P. longirostris* le test t de student a révélé une augmentation significative chez *M. galloprovincialis* de sidi Abdelaziz (**Tableau 7, Figure 13**).

**Tableau 7.** Taux de glutathion-S-transférase ( $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$  de protéine) dans les différents organes de *P. longirostris* et le corps total de la moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ).

Années	Sexe	Mâle	Femelle	t student	
					Organes
<i>P. longirostris</i>	<b>Kbieche et Kismoune, 2012</b>	Hépatopancréas	0,141 $\pm$ 0,029	0,207 $\pm$ 0,016	0,0143
		Cuticule	0,331 $\pm$ 0,004	0,244 $\pm$ 0,033	0,021
	<b>Boucebta et Bouznoun, 2013</b>	Chair	0,009 $\pm$ 0,002	0,008 $\pm$ 0,004	0,963
		Céphalothorax	0,112 $\pm$ 0,015	0,195 $\pm$ 0,029	0,352
<i>M. galloprovincialis</i>	<b>Roula et khedimallah, 2016</b>	Site	Oued Z	Sidi A	t student
		Organe	Corps total	3,96 $\pm$ 1,293	5,46 $\pm$ 1,43



**Figure 13.** Taux de glutathion-S-transférase ( $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$  de protéine) dans les différents organes de *P. longirostris* et le corps total de la moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel ( $m$

±s). (PL): *P. longirostris*; (MG) :*M. galloprovincialis*; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (cuti): Cuticule; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total.

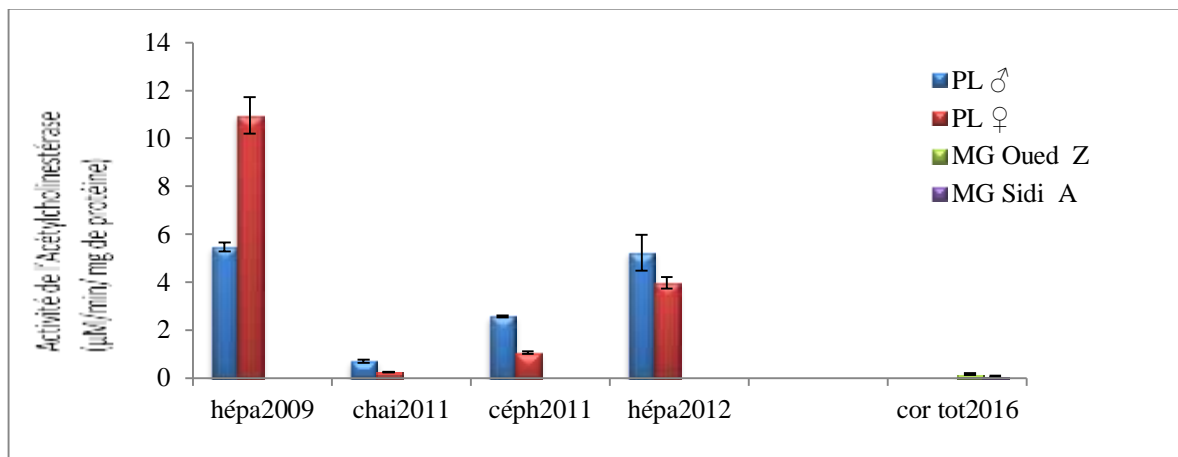
**IV.2.5. L'activité de l'acétylcholinestérase (AChE)**

Le tableau 8 et la figure 14 représentent les résultats de dosage de l'AChE dans les différents organes de la crevette *Parapenaeus longirostris* au cours des années de 2009 à 2014 et dans le corps total de la moule *Mytilus gallopronvialis* en 2016.

L'analyse statistique des résultats de l'activité de l'AChE par le test t de student montre une augmentation significatives ( $p < 0.05$ ) dans la chair et le céphalothorax des mâles de *P. longirostris* Pour *M. galloprovincialis* il y a une diminution hautement significative de l'activité de l'AChE chez les moules pêchées dans le site de Sidi Abdelaziz (**Tableau 8, Figure 14**).

**Tableau 8.** L'activité de l'acétylcholinestérase ( $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$  de protéine) dans les différents organes de *P. longirostris* et le corps total de la moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ).

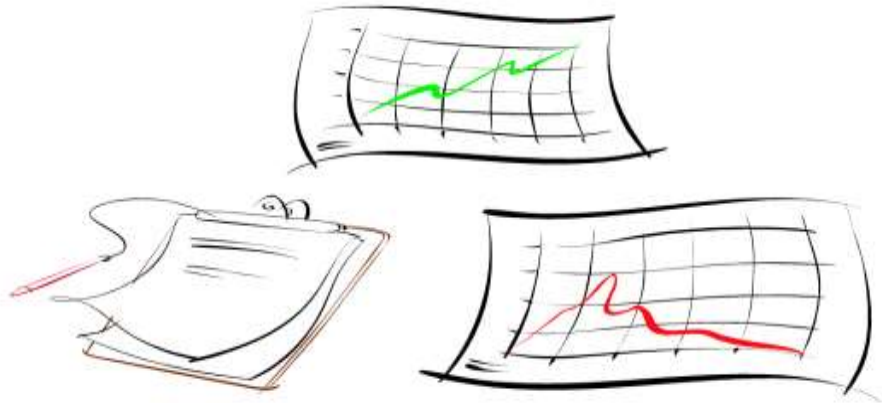
	Années	Sexe		t student	
		Mâle	Femelle		
<i>P. longirostris</i>	<b>Abdallah et Makhloufia, 2009</b>	Hépatopancréas	5,47±0,18	10,96±0,77	/
	<b>Bouchekhlel et Boughris, 2011</b>	Chair	0,701± 0,062	0,237 ±0,010	0,0003
		Céphalothorax	2,574± 0,044	1,062± 0,057	1.034.10 <sup>-7</sup>
	<b>Kbieche et Kismoune, 2012</b>	Hépatopancréas	5,236 ±0,748	3,975 ± 0,235	0,0527
<i>M. galloprovincialis</i>	<b>Roula et khedimallah, 2016</b>	Site	Oued Z	Sidi A	t student
		Organe	Corps total	0,17 ± 0,04	0,07 ± 0,02



**Figure 14.** L'activité de l'acétylcholinestérase ( $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$  de protéine) dans les différents organes de *P. longirostris* et le corps total de la moule *M. galloprovincialis* pêchés dans la région de Jijel ( $m \pm s$ ). (PL): *P. longirostris*; (MG) :*M. galloprovincialis*; (chai):chair; (hépa): Hépatopancréas; (céph): Céphalothorax et (cor tot): corps total.

# *Chapitre V*

## *Discussion*



Les métaux lourds contribuent à la contamination anthropogénique des écosystèmes marins. Parmi eux, on peut citer essentielles aux processus de vie des organismes (oligo-éléments): Fe, Cu, Zn, Mn, Mo et Co, mais ils peuvent devenir toxiques à des concentrations trop élevées, d'autres sont toxiques même à des faibles concentrations parmi eux le Cd et le Pb (**Jakimska et al., 2011**). Les métaux lourds peuvent altérer la physiologie des organismes de plusieurs manières, soit par liaison aux biomolécules solubles (enzymes, ADN) ou membranaires (phospholipides) ou en réagissant avec les groupements thiols (SH) des biomolécules (**Moukrim, 2002**).

Le Règlement (CE) N 466/2001 de la communauté européenne fixe la teneur maximale en plomb et en cadmium pour les crustacés à 0,5 µg /g de poids à l'état frais des crustacés à l'exception de la chair brune de crabe, et pour les Mollusques bivalves fixe la teneur maximale en plomb à 1,5 µg /g et en cadmium à 1 µg /g. Cependant l'analyse des résultats réalisés sur des crevettes depuis 2009 jusqu'à 2014 et sur des moules en 2016 a donné des concentrations en Pb chez la crevette *Parapenaeus longirostris* variant entre 0,022 et 2,856 µg/g chez les mâles et 0,016 et 3,271µg/g chez les femelles et des concentrations variant entre 0.0014 et 0.0064 µg/g dans chez la moule *Mytilus galloprovincialis* (Tableau 2).

Les concentrations en Cd chez les mâles de *Parapenaeus longirostris* varient entre 0,0008 et 0,468 µg/g et chez les femelles varient entre 0,0007 et 0,292 µg/g. Chez la moule *Mytilus galloprovincialis* les concentrations oscillent entre 0.0017 et 0.0018 µg/g dans les sites d'oued Zhour et sidi Abdelaziz (Tableau 3).

Ces teneurs en plomb obtenues dans la crevette de la baie de Jijel dépassent les teneurs maximales du plomb (supérieurs à 0,5 µg /g), cependant les résultats enregistrés pour le Cd sont inférieurs à 0.5µg/g. Les valeurs obtenues chez la moule *Mytilus galloprovincialis* restent inférieures aux normes que ce soit pour le Pb ou le Cd (1,5 µg /g en Pb et 1 µg /g en Cd).

Les résultats montrent que les concentrations des métaux dosés dans *Parapenaeus longirostris* sont élevées dans les hépatopancréas par rapport aux autres organes. Chez les crustacés, les lipides sont les réserves principales de l'hépatopancréas et cet organe peut agir en tant que source nutritive, et également pendant la maturation des gonades (**Buckup et al., 2004**).

Certains métaux possèdent un caractère lipophile. Cette lipophilie leur confère la double capacité de franchir aisément l'ensemble des membranes cellulaires et d'être éventuellement stockées dans les structures lipidiques. En revanche, ces substances exogènes hydrophobes sont difficilement éliminées de l'organisme (**Aarab, 2004**).

Les résultats obtenus ont montré qu'il existe une grande affinité au plomb par rapport au cadmium, étant donné que les crevettes pêchées ont été dans la période de l'activité sexuelle (Avril-Mai), on peut déduire que cette affinité au plomb revient aux réserves lipidiques parce que les

lipides jouent un rôle principal dans la vitellogenèse et la synthèse des prostaglandines (Yuan et al., 2000) et aussi ils représentent une importante source d'énergie chez les crustacés. Le cholestérol, stérol prédominant des tissus, est le précurseur des hormones stéroïdes qui sont essentielles pour la croissance, la maturation et la reproduction (Marangos et Vincent, 1988).

Une étude menée par (Taleb et Boutiba, 2007) sur la moule *Mytilus galloprovincialis* comme bioindicateur de pollution marine dans le port d'Oran a montré les concentrations de 1,48 ppm en Pb, et de 0,12 ppm en Cd. Ces valeurs sont nettement inférieures aux valeurs indiquées dans la région de Jijel.

Des concentrations des métaux lourds (Zn, Cd, Cr, Hg, As, Cu, Pb, et Ni) ont été trouvées chez la crevette *Parapenaeus longirostris* qui varient en fonction des saisons dans la côte de la mer de Marmara dans Tekirdağ en Turquie (Dökmeçi et al., 2013). Des variations saisonnières des teneurs en métaux lourds ont été observées chez la moule *Mytilus galloprovincialis* (Scudiero et al., 2014), et chez la moule *Saccostrea cucullata* (Shakouri et Gheytsi, 2018).

Une étude menée par (Gundacker, 1999) sur la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) pour les éléments (cadmium, cuivre et zinc) a montré les concentrations respectivement 0.0018 mg/kg, 2mg/kg et 3mg/kg, la valeur du cadmium enregistrée dans cette étude est semblable à celle enregistrée dans les moules de Sidi Abdelaziz. Ces faibles teneurs s'expliquent par le fait que ces éléments s'accumulent essentiellement dans la chair des moules tel que décrits par les travaux menés par (Gundacker, 1999). D'après les résultats obtenus chez *Mytilus galloprovincialis*, nous constatons que le site de Sidi Abdelaziz est le plus pollué par les métaux et par conséquent les organismes qui y vivent renferment des concentrations élevées de métaux.

Quant aux concentrations des métaux enregistrées dans la région de Jijel, celles-ci peuvent être dues aux affluents d'oued El kebir et oued Zhour; le gisement de Zn et de Fe, sans oublier le rôle des conditions climatiques dans la répartition des différents métaux (Hemissi, 2008).

Le facteur saisonnier affecte les concentrations des métaux lourds chez les espèces marines (Strogyloudi et al., 2012; Scudiero et al., 2014; Kefi et al., 2016) et (Azizi et al., 2018b) ont montré chez les mollusques marines que les concentrations métalliques sont plus élevées en hiver qu'en été .

Par contre, les observations de (Taleb et Boutiba, 2007; Li et al., 2009) et (Garcia-Rico et al., 2010) chez les mollusques marines montrent une contamination par différents métaux lourds. Confirmant que l'hiver reste la saison où les concentrations sont très basses, Alors que les plus élevées sont enregistrées pendant l'été.

(Azizi et al., 2018a) ont montré qu'il existe un certain nombre de facteurs biotiques et abiotiques interdépendants qui provoquent la variation saisonnière des concentrations des métaux lourds dans les moules. Il s'agit du ruissellement des polluants, de la physiologie de l'organisme, en

particulier du cycle sexuel, et des changements dans la qualité de l'eau ambiante comme la température et la salinité.

Le dosage des biomarqueurs enzymatiques retenus pour l'étude du stress oxydant nous a permis de constater en générale:

Le tableau 4 montre l'activité de la **catalase** dans la chair, l'hépatopancréas, le céphalothorax, et la cuticule chez les mâles et les femelles de *Parapenaeus longirostris* dans des études précédentes menées au cours des années 2009-2014 et dans le corps total de *Mytilus galloprovincialis* en 2016 dans la région de Sidi Abdelaziz et Oued Zhour.

Nous observons une activité élevée au niveau de la chair et l'hépatopancréas par rapport aux autres organes chez les mâles et les femelles de *Parapenaeus longirostris*, pour les mâles les valeurs varient de 0,012 à 10,951  $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$  et pour les femelles de 0,020 à 3,902  $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ , il est à noter que la valeur la plus élevée a été enregistrée en 2014 dans la chair des mâles. Nous avons constaté aussi que l'activité catalase est toujours importante dans la chair par rapport aux autres organes.

Pour *Mytilus galloprovincialis* l'activité de la catalase est plus importante chez les moules de Sidi Abdelaziz.

La CAT acquiert de l'importance dans la réponse au stress oxydant, Elle joue un rôle complémentaire dans l'élimination de l' $\text{H}_2\text{O}_2$  (Vidal-Linan et al., 2010).

L'augmentation de l'activité Catalase est donc due à la production des radicaux libres indiquant ainsi une protection contre l' $\text{H}_2\text{O}_2$  qui est un puissant agent oxydant (Nadji et al., 2010).

L'augmentation de l'activité Catalase a déjà été relevée chez la moule *Perna perna*, le copépode *Centropages ponticus* et la moule *Mytilus galloprovincialis* après exposition aux métaux lourds (Brahim Errahmani et al., 2014; Boudjema et al., 2014; Benali et al., 2016; Ensibi et Daly Yahia, 2017)

(Benali et al., 2016) ont observé aussi que l'exposition aux pesticides induit l'activité Catalase chez la moule *Mytilus galloprovincialis*.

Une diminution de l'activité Catalase a été rapporté par (Carvalho et al., 2012) chez le poisson d'eau douce *Oreochromis niloticus*, ce diminution est expliqué par l'augmentation du taux de peroxydation lipidique.

Le tableau 5 montre l'activité de **GSH** dans la chair, l'hépatopancréas, le céphalothorax, et la cuticule chez les mâles et les femelles de *Parapenaeus longirostris* dans des études précédentes menées au cours des années 2009-2014 et dans le corps total de *Mytilus galloprovincialis* en 2016 dans la région de Sidi Abdelaziz et Oued Zhour.

Nous avons noté que le taux de GSH varie de 0.00014 à 0.898  $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$  chez les mâles de *Parapenaeus longirostris* et de 0.0006 à 0.939  $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$  chez les femelles. La plus grande valeur



enregistrée pour le GSH était en 2014 dans la chair et le céphalothorax chez les deux sexes. L'activité enzymatique dans la chair a augmenté de 2009 à 2014. Chez *Mytilus galloprovincialis* le taux du glutathion réduit est faible dans la région de Sidi Abdelaziz ( $0,012\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ ) par rapport à Oued Zhou ( $0,028\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ ).

Le glutathion (GSH) est un tripeptide thiol ( $\gamma$ -glutamylcystéinyglycine) synthétisé de manière endogène avec d'importantes propriétés biochimiques. La fonction antioxydante du GSH est double:

- (1) En présence d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), son thiol est oxydé, ce qui entraîne la formation de glutathion oxydé (GSSG).
- (2) Le GSH est le substrat d'enzymes telles que le glutathion peroxydase (GPX), qui élimine les peroxydes en utilisant la GSH comme un facteur réducteur (**Franchi et al., 2012**).

Le rôle du GSH est la protection contre les espèces réactives de l'oxygène, aussi la détoxification des produits finaux de la peroxydation des lipides tels que les malondialdéhyde (**Lushchak., 2012**).

La synthèse de GSH en présence de Cadmium serait un mécanisme de protection dans lequel le métal se fixe aux groupements thiols du GSH, prévenant ainsi les dommages cellulaires (**Shukla et al., 2000**).

(**Kim et al. 2014**) ont observé l'augmentation de la teneur en glutathion (GSH) chez les copépodes *Tigriopus japonicas* exposés à l'Ag, l'As et le Cu.

Une augmentation de la teneur GSH a été rapportée dans les branchies et dans les glandes digestives des mollusques *Mytilus galloprovincialis* exposés au Cd selon l'étude de (**Santovito et al., 2020**).

(**Kim et Kang 2015**) ont remarqué l'augmentation de l'activité de GSH dans le foie et les branchies de *Pagrus major* après l'exposition au Sélénium

Une diminution de l'activité de GSH chez les rotifères, cette baisse du niveau de GSH est probablement lié à un dysfonctionnement du système de défense lié au GSH, entraînant une augmentation des dommages oxydatifs (**Lee et al., 2017**).

Le tableau 6 montre le taux de **MDA** dans la chair et l'hépatopancréas chez les mâles et les femelles de *Parapenaeus longirostris* dans des études précédentes menées au cours des années 2009-2012 et dans le corps total de *Mytilus galloprovincialis* en 2016.

Le taux de MDA varie entre  $0.95$  et  $32.033\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$  chez les mâles de *Parapenaeus longirostris* et de  $0.89$  à  $27.499\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$  chez les femelles. Nous remarquons que la plus grande valeur a été enregistrée en 2011 dans la chair des mâles.

Le taux de MDA était faible en 2009 dans l'hépatopancréas et la chair, mais il commence à augmenter à partir de 2011. Quant à *Mytilus galloprovincialis*, le taux du MDA est compris entre

0,809 et 9,92 $\mu$ M/min/mg, il est supérieur dans la région de Sidi Abdelaziz par rapport à Oued Zhour.

Le MDA est l'une des substances toxiques produites par l'augmentation des espèces réactives de l'oxygène (Zhang, 2020).

L'augmentation du niveau de malondialdéhyde (MDA) sous l'influence des métaux lourds indique que la toxicité de ces polluants est apparue en stimulant la formation d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), ce qui a conduit au développement du stress oxydatif (Sinegovskaya et al., 2020).

Le taux de MDA est important dans la chair des *Parapenaeus longirostris* et chez la moule *Mytilus galloprovincialis* pêchée de Sidi Abdelaziz qui peut s'expliquer par une peroxydation lipidique intense. Des résultats similaires ont été observés chez des moules exposées aux pesticides (Nadji et al., 2010) et aussi chez la crevette *Aristeus antennatus* exposée aux pesticides (Hernandez-Moreno et al., 2010).

Une induction significative du MDA dans différents tissus de palourde exposée au cadmium a été rapportée par (Khebbeb et al., 2010).

(Soltani et al., 2012) ont noté aussi une induction du MDA chez la palourde *Donax trunculus* prélevée d'un site contaminé par des polluants domestiques et industrielles dans le golf d'Annaba dans l'est algérien.

L'exposition au cuivre et le stress thermique sont de puissants inducteurs de stress oxydatif. En conséquence, l'accumulation de MDA chez la moule *Mytilus galloprovincialis* (Negri et al., 2013).

*Anodonta cygnea* est un habitant d'eau douce très répandu et joue un rôle essentiel dans la purification de l'eau des polluants biogènes et abiogènes, Où il a enregistré une augmentation de la teneur en MDA dans l'hépatopancréas, les branchies et l'hémolymphe de la moule *Anodonta cygnea* (Sokolova et al., 2020).

Le taux de MDA a été augmentée avec de faibles concentrations de cuivre chez le bivalves *Perna perna* (Brahim Errahmani et al., 2014).

Le tableau 7 présente l'activité GST dans l'hépatopancréas, la cuticule, la chair et le céphalothorax chez les mâles et les femelles de *Parapenaeus longirostris* dans des études réalisées au cours des années 2012-2014 et dans le corps total de *Mytilus galloprovincialis* en 2016.

L'activité GST varie entre 0.009 et 0.331  $\mu$ M/min/mg chez les mâles de *Parapenaeus longirostris* et de 0.008 à 0.244 $\mu$ M/min/mg chez les femelles. Nous observons que la plus grande valeur est enregistrée dans la cuticule des mâles. Chez *Mytilus galloprovincialis* l'activité GST obtenue dans le site de Sidi Abdelaziz est supérieure à celle obtenue dans le site d'Oued-Zhour.

Les GST sont des familles d'enzymes multifonctionnelles qui jouent un rôle important. L'importance des GST dans les organismes vivants a été mise en évidence dans la défense contre le stress oxydatif induit par les xénobiotiques (**Park et al., 2020**).

La glutathion S-transférase (GST) est une enzyme de phase II qui fonctionne comme un détoxiquant en catalysant la conjugaison du glutathion réduit (GSH) avec une variété de xénobiotiques via le cystéine thiol (**Won et al., 2011**).

L'activité de la GST a augmenté de manière significative chez *Perinereis nuntia* après exposition à des concentrations plus élevées de Cd (**Won et al., 2011**), et après exposition au Cu (**Won et al., 2012**).

L'activité de la GST s'est avérée plus élevée dans les tissus des crevettes d'eau douce *Macrobrachium malcolmsonhi* exposée au mercure (**Yamuna et al., 2012**).

L'augmentation de l'activité GST a été aussi observé chez *Pagrus major* exposé au Sélénium (**Kim et Kang., 2015**).

(**Lee et al., 2017**) ont noté une augmentation de l'activité antioxydante du GST Chez les copépodes et rotifères exposés au Méthylmercure(MeHg).

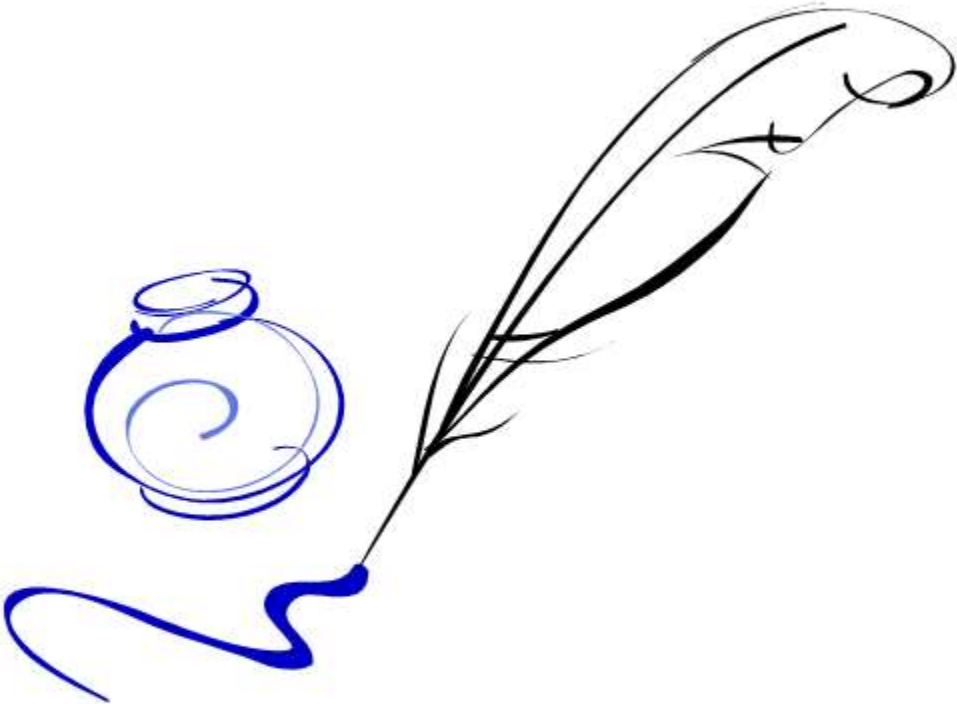
Le tableau 8 présente les teneurs de l'activité de L'AChE dans la chair, le céphalothorax et l'hépatopancréas des mâles et des femelles de *Parapenaeus longirostris* depuis 2009 jusqu'à 2012, et dans le corps total de *Mytilus galloprovincialis* en 2016. Les taux de l'activité AChE varient entre 0.701 à 5.47  $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$  chez les mâles et de 0.237 à 10.96  $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$  chez les femelles.

Nous remarquons que la valeur la plus élevée est dans l'hépatopancréas des femelles en 2009. Chez *Mytilus galloprovincialis* l'activité est importante (0.17  $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ ) à Oued Zhour par rapport à sidi Abdelaziz (0.07  $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ ).

L'AChE est un biomarqueur de la neurotoxicité. Elle est impliquée dans la dégradation de l'acétylcholine au niveau des fentes synaptiques. Du fait du caractère neurotoxique avéré de certains métaux lourds (**Grara et al., 2012**). Selon l'étude de (**Lionetto et al., 2003**) une forte inhibition de l'AChE a été enregistrée chez les crevettes.

Des travaux ont décrit l'inhibition de l'activité AChE après l'exposition au métaux lourds: chez la moule *Mytilus trossulus* (**Kopecka-Pilarczyk, 2010**), le poisson zèbre (**Lima et al., 2013; Zhang et al., 2016**), chez le poisson *Oreochromis niloticus* (**Şen et Karaytuğ, 2017**), chez la moule *Mytilus galloprovincialis* (**Peric et al., 2017**) et chez le poisson *Hoplosternum littorale* (**Araújo et al., 2018**).

*Conclusion*



Dans ce travail nous avons déterminé la réponse biologique, en ce qui concerne la contamination métallique des milieux aquatiques, de deux espèces marines à savoir la crevette *Parapenaeus longirostris* et la moule *Mytilus galloprovincialis*. En effet, l'état de l'écosystème aquatique est évalué par la bioaccumulation du plomb, du cadmium, des biomarqueurs de stress oxydatif (CAT ; GSH; GST ; MDA) et de neurotoxicité (AChE).

L'analyse des données chimiques du tissu animal par la SAA sur le tissu animal a permis de mettre en évidence la pollution de la région de Jijel par le plomb et le cadmium. Cette synthèse de données nous a permis de constater que les mollusques subissent une contamination métallique faible par rapport aux normes pour les deux métaux étudiés. Mais les crevettes subissent une contamination métallique plus ou moins élevée en plomb et inférieure aux normes concernant le cadmium.

L'analyse des données de dosage des métaux (Pb et Cd) dans les crevettes et les mollusques étudiées a révélé que les concentrations les plus élevées sont enregistrées dans les Hépatopancréas des crevettes et le corps total des mollusques pêchées dans la région de Sidi Abdelaziz.

L'étude menée sur les données de l'activité des biomarqueurs du stress oxydatif et de neurotoxicité a montré :

- Une augmentation de l'activité CAT et le GSH dans la chair et le céphalothorax de *Parapenaeus longirostris* de l'année 2014 et une augmentation de ces deux dernières dans le corps total de *Mytilus galloprovincialis* de Sidi Abdelaziz.
- Une augmentation du taux de MDA dans la chair de *Parapenaeus longirostris* de l'année 2011 et une augmentation de ce dernier dans le corps total de *Mytilus galloprovincialis* de Sidi Abdelaziz .
- Une augmentation du taux de GST dans la cuticule de *Parapenaeus longirostris* de l'année 2013 et chez *Mytilus galloprovincialis* de Sidi Abdelaziz.
- Une inhibition de l'activité de l'AChE dans l'hépatopancréas de *Parapenaeus longirostris* de l'année 2009 le corps total de *Mytilus galloprovincialis* de Sidi Abdelaziz .

Cette réponse varie en fonction, de la concentration des polluants étudiés, en fonction de tissu, de la saison, de la taille, du sexe et la durée d'exposition. Ces perturbations enregistrées dans les biomarqueurs évaluant le stress oxydant soit par augmentation ou par diminution indiquent qu'il existe une défense de l'organisme contre les agents polluants.

Il est clair que les résultats montrent bien que la pollution à Jijel a induit un stress oxydant chez les organismes étudiés. Or que ces résultats pouvaient être confirmés si un suivi saisonnier avec un prélèvement dans plusieurs sites de pêche a été effectué et ceci afin de donner un aperçu

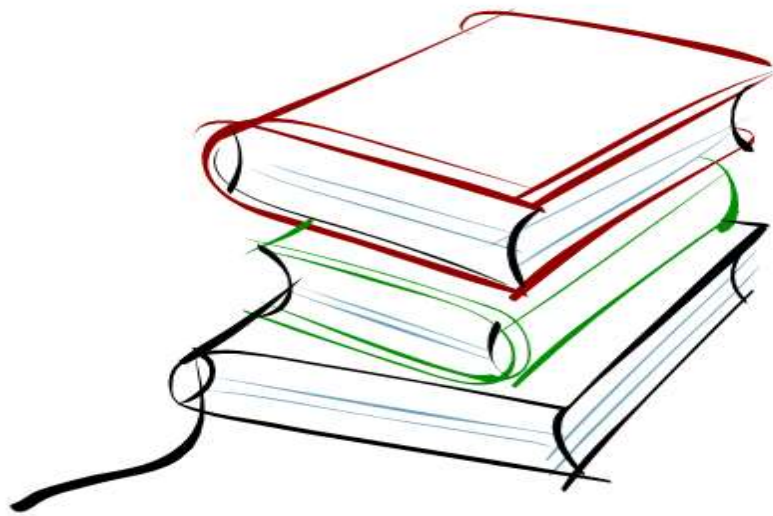
complet de l'évolution des concentrations de métaux avec le changement de saison et de climat. Aussi l'étude de la variation des composants biochimiques et métalliques dans les différents organes des organismes étudiés au cours des différents stades de développement pourrait valider ces résultats

En perspectives de nouvelles approches pourrait enrichir cette étude :

- ❖ Le dosage des autres métaux traces (Zn, Cr, Hg) et les autres polluants chimiques comme les HAP, les pesticides et les PCB dans le tissu animal.
- ❖ Faire une étude sur la population humaine consommatrice de ces crevettes et ces mollusques.
- ❖ Enfin, l'utilisation d'autres biomarqueurs tels que les metallothionéines et la superoxy de dismutase (SOD) pourrait compléter ces travaux.

*Références*

*Bibliographiques*



**A**

**Aarab N., 2004.** Les biomarqueurs chez les poissons et les bivalves: de l'exposition à l'effet et du laboratoire au terrain. Thèse de doctorat, Option : Ecotoxicologie des milieux aquatiques. Université de Bordeaux 1. P: 27.

**Abdallah A. et Makhloufia A., 2009.** Recherche de biomarqueurs de la pollution dans la chair de crevettes pêchées au niveau de la baie de Jijel. Mémoire de Master, Option: Contrôle de Qualité et Analyses, Université de Mohammed Essadik Ben Yahia, Jijel. PP: 36-46.

**Afonso V., Champy R., Mitrovic D., Collin P. et Lomri A., 2007.** Reactive oxygen species and superoxide dismutases: role in joint diseases. *Revue du Rhumatisme*, 74. PP: 636-643.

**Allocati N., Masulli M., Di Ilio C. et Federici L., 2018.** Glutathione transferases: substrates, inhibitors and pro-drugs in cancer and neurodegenerative diseases. *Oncogenesis*. 7(8). P: 15 .

**Almeida E. A., Miyamoto S., Bainy A.C., Medeiros M.H.G. et Mascio P. D., 2004.** Protective effect of phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase (PHGPx) against lipid peroxidation in mussels *Perna perna* exposed to different metals. *Marine Pollution Bulletin*, 49.PP: 386-392.

**Ambolet-Camoit A., Ji Kim M., Leblanc A. et Aggerbeck M., 2012.** Les polluants organiques persistants : implication dans l'obésité et le syndrome métabolique. *Cahiers de nutrition et de diététique* . 47. PP:183-192.

**Amiard J. C., Amiard-Triquet C., Berthet B. et Métayer C., 1986.** Contribution to the ecotoxicological study of cadmium, lead, copper and zinc in the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, 90. PP: 425-431.

**Amiard J .C., Caquet T. et Lagadic L., 1998.** Les biomarqueurs parmi les méthodes d'évaluation de la qualité de l'environnement **In Lagadic L., Caquet T., Amiard J .C. et Ramade F ,** Utilisation de biomarqueurs pour la surveillance de la qualité de l'environnement. Lavoisier Doc et Tec, Paris. PP: XXI-XXXI.

**Amiard-Triquet C., Amiard J. C. et Rainbow P.S., 2013.** History of Biomarkers **In Ecological biomarkers indicators of ecotoxicological effects.** Taylor & Francis Group, UK. PP: 15-35.

**Anto M., Arnau S., Buti E., Cotijo V., Gutiérrez E. et Solé M., 2009.** Characterisation of integrated stress biomarkers in two deep- sea crustaceans, *Aristeus antennatus* and *Nephrops norvegicus*, from the Nw fishing grounds of the Mediterranean sea. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(5). PP : 1455-1462.

**Araújo M.C., Assis C.R.D., Silva K.C.C., Souza K.S, Azevedo R.S., Alves M.H.M.E., Silva L.C., Silva V.L., Adam M.L., Carvalho Junior L.B., Souza Bezerra R. et Oliveira M.B.M., 2018.** Characterization of brain acetylcholinesterase of bentonic fish *Hoplosternum littorale*:



Perspectives of application in pesticides and metal ions biomonitoring. *Aquatic Toxicology*. 205. PP: 213-226.

**Arzel P., Baud J. P., Berthou P., Boletzky S. V., Campillo A., Clavier J., Dao J.C., Dardignac M.J., Decamps P., Duclerc J., Flassch J.P., Fleury P.G., Fontaine B., Harmelin J., Héral M., Hussenot J., Latrouite D., Laubier A., Le Calvez J.C., Le Foil ., Lemoine M., Marin J., Monniot C., Monniot F., Perez R., Quéro J.C., Raimbault R., Richard O., Talidec C., Tetard A., Vacelet J., Vadon C. et Véron G., 1992.** Les algues et invertébrés des pêches françaises, algues, éponges, corail rouge, escargots de mer, bivalves, poulpes, seiches, encornets, crustacés, oursins et violets. IFREMER., station de La Rochelle/L'Houmeau, Bp7 :17137, l'Houmeau.

**Azizi, G., Akodad, M., Baghour, M., Layachi, M., Moumen, A., 2018 a.** The use of *Mytilus* spp. mussels as bioindicators of heavy metal pollution in the coastal environment. A review. *J. Mater. Environ. Sci.* 9.PP: 1170–1181.

**Azizi G., Layachi M., Akodad M., Yáñez-Ruiz D.R., Martín-García A.I., Baghour M., Mesfioui A., Skalli A. et Moumen A., 2018b.** Seasonal variations of heavy metals content in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from Cala Iris offshore (Northern Morocco). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 137. PP: 688-694.

## **B**

**Barnabas K., 2009.** Contribution a l'évaluation de contamination par les métaux lourds, de trois espèces de poissons, des sédiments et des eaux du lac Tchad. Option: Sciences Alimentaires/Nutrition. Mémoire du Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA), Université de N'Gaoundéré. P: 8.

**Beaumont A. et Truchot j. P., 2004.** Biologie et physiologie animale. Dunod, Paris. P: 85.

**Behanzin G. J., Adjou E.S., Yessoufou A.G., Dahouenon A.E. et Sezan. A., 2014.** Effet des sels de métaux lourds (chlorure de Cobalt et chlorure de Mercure) sur l'activité des hépatocytes. *Journal Applied Biosciences*, 83. PP: 7499-7505.

**Bélangier D., 2009.** Utilisation de la faune macrobenthique comme bioindicateur de la qualité de l'environnement marin côtier. Maîtrise en biologie incluant un cheminement de type cours en écologie internationale .Sherbrooke, Québec. Canada. P: 18.

**Benali I., Boutiba Z ., Grandjean D., Alencastro L.F., Rouane-Hacene O. et Chèvre N., 2016.** Spatial distribution and biological effects of trace metals (Cu, Zn, Pb, Cd) and organic micropollutants (PCBs, PAHs) in mussels *Mytilus galloprovincialis* along the Algerian west coast. *Marine Pollution Bulletin*. 115: 1-2.PP: 539-550.

**Benard A., Durif M. et Vandamme L., 2004.** Utilisation d'une technique de biosurveillance pour évaluer les retombées des métaux lourds: Cas d'un site de seconde fusion du plomb. Rapport de recherche. N°55891. France: INERIS. PP: 13-14.

**Benkabouche I., 2007.** Contribution à l'étude de la reproduction et de la dynamique des population d'un Crustacé Décapode *Parapenaeus longirostris* (Lucas, 1846) exploité dans la région Oranaise. Mémoire de magister, Option : Halieutique. Université d'Oran Es-Senia, Algérie . P: 19.

**Bisson M., Diderich Houei X., Hulot C., Lacroix G., Lefevre J. P., Leveque S., Magaud H., Morin A., Pepin G. et Pichard A., 2011.** Cadmium et ses dérivés, édition INERIS. P: 11.

**Boubahziz K. et Chioukh I., 2014.** Recherche de certains métaux lourds et biomarqueurs de pollution dans la chair et le céphalothorax des crevettes pêchées dans deux régions de l'Est-Algérien. Mémoire de Master, Option : Toxicologie de l'Environnement, Université de Mohammed Essadik Ben Yahia, Jijel. PP: 48-53.

**Boucebta R. et Bouznoun N., 2013.** Evaluation de certains métaux lourds dans la cuticule des crevettes pêchées dans deux régions de l'est algérien. Mémoire de Master, Option : Toxicologie de l'Environnement, Université de Mohammed Essadik Ben Yahia, Jijel. PP: 49-53.

**Boucetta S., 2017.** Biosurveillance des eaux dullittoral Est Algérien à travers un mollusque gastéropode: *Phorcus(=Osilinus) turbinatus* (Born, 1780). Thèse de doctorat, Option : Écologie marine. Université Badji Mokhetar - Annaba. P: 1.

**Boudjema K., Kourdali S., Bounakous N., Meknachi A. et Badis A.2014.**Catalase Activity in Brown Mussels (*Perna perna*) under Acute Cadmium, Lead, and Copper Exposure and Depuration Tests. *Journal of Marine Biology*. 2014 (830657). 9 P.

**Bouchekhlel A. et Boughris S., 2011.** Recherche de certains métaux lourds et biomarqueurs de pollution dans la chair de crevettes pêchées dans deux régions : Jijel et Béjaia. Mémoire de Master, Option : Toxicologie de l'Environnement, Université de Mohammed Essadik Ben Yahia, Jijel. PP: 59-67.

**Brahim Errahmani M., Zouaoui F. et Bendjoudi D., 2014.** Metabolic Effects in the Bivalve *Perna perna* and *Mytilus galloprovincialis*: Impact on the Environment due to Contamination by Copper. *Journal of Marine Biology*. 2014(1). PP: 1–9.

**Buckup L., Dutra B.K., Ribarcki F. P., Fernandes F. A., Noro C.K., Oliveira G.T. et Vinagre A.S., 2004.** Seasonal variations in the biochemical composition of the crayfish *Parastacus defossus* (Crustacea, Decapoda) in its natural environment. Departamento de Zoologia-Programa de Pós-

graduação em Biologia Animal-Instituto de Biociências-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil, 149(1).PP : 59-67.

**Burtoon G., 1992.** Sediment Toxicity Assessment . Lewis Publishers, London.

**Butler P. & Lowe J., 1978.** Flowing sea water toxicity tests using oyster( *Creassostrea virginica*). In Bioessay procedures for the ocean disposal permit program, EPA-600/ 9-78-10. P: 25.

### C

**Cajaraville M.P., Bebianno M. J., Blasco J., Porte C., Sarasquete C. et Viarengo A., 2000.** The use of biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environments of the Iberian Peninsula: a practical approach. Science of the Total Environment, 247. PP: 295-311.

**Carvalho C.D.S., Bernusso V.A., Araùjo H.S.S ., Espindola I.L.G. et Fernandes M.N ., 2012.** Biomarker responses as indication of contaminant effects in *Oreochromis niloticus*. Chemosphere. 89. PP: 60-69.

**Carvalho C.D.S., Utsunomiya H.S.M., Pasquoto-Stiglianic T, Costaa M.J. et Fernandesd M.N., 2020.** Biomarkers of the oxidative stress and neurotoxicity in tissues of the bullfrog, *Lithobates catesbeianus* to assess exposure to metals. Ecotoxicology and Environmental Safety. 196: 110560.

**Casas S., 2005.** Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* en milieu méditerranéen. Thèse de Doctorat, Option: Océanologie biologique, Environnement marin . Université du sud Toulon Var. P: 276, 314.

**Castex M., 2009.** Evaluation du probiotique Bactéries *pediococcus aerdilactic* MA 18/5M chez la crevette péneide *Litopenaeus Stylirostris* en nouvelle-Calédonie. Thèse de doctorat, spécialité : physiologie, Nutrition, Institut des sciences et Industries du vivant et de l'environnement (Agro Paris Tech). PP: 66-67.

**Chabicovsky M., Klepal W. et DallingerR., 2004.** Mechanisms of cadmium toxicity in terrestrial pulmonates: programmed cell death and metallothionein overload. Environ. Toxicol. Chem. 23 (3). PP: 648–655.

**Chaouki M., Zeddouri A., Siboukeur H., Laouar M.et Hadj S. S., 2013.** Etude de la pollution chimique des eaux souterraine(cas des eaux non potables)de la région d'Ouargla, Sud-est algérien. International Journal of Environment & Water. 5(2). PP: 115-121.

**Chiffoleau J .F., Auger D., Chartier E., Michel P., Truquet I., Ficht A., Gonzalez J. L et Romana L. A., 2001.** Spatiotemporal changes in Cadmium contamination in the Seine estuary (France). Estuaries, 24(6B). PP: 1029-1040.

**Ciocan C. M., et Rotchell J. M., 2005.** Conservation of cancer genes in the marine invertebrate *Mytilus edulis*. Environ. Sci. Technol, 39. PP: 3029-3033.

**Colovic M. B., Krstic D. Z., Lazarevic-Pasti T. D., Bondzic A. M., et Vasic V. M., 2013.** Acetylcholinesterase Inhibitors: Pharmacology and Toxicology. *Current Neuropharmacology*. 11(3). PP: 315–335.

**Conti M.E. et Cecchetti G., 2001.** Biological monitoring lichens as bioindicators of air pollution assessment- A review, *Environmental pollution*, 114. PP: 471-492.

**Coulet M., 2005.** Fleuves , sources de vie . Agence de l'eau Rhine Meuse ,France .

## **D**

**Deby-Dupont G., Deby C. et Lamy M., 2002.** Données actuelles sur la toxicité de l'oxygène, Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS, 11. PP: 28-39.

**Di Franco E., Pierson P., Di Ioriob L., Calò A., Cottalorda J.M., Derijard B., Di Franco A., Galvé A., Guibbolini M., Lebrun J., Micheli F., Priouzeau F., Risso-de Faverney C., Rossi F., Sabourault C., Spennato G., Verrando P. et Guidetti P., 2020.** Effects of marine noise pollution on Mediterranean fishes and invertebrates: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 159. 111450.

**Dorts J., Silvestre F., Huynh T. et Tyberghein A., 2009.** Oxidative stress, protein carbonylation and heat shock proteins in the black tiger shrimp, *Penaeus monodon*, following exposure to endosulfan and deltamethrin. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 28. PP: 302-310.

**Dökmeci H., Yildiz T., Ongen A. et Sivri N., 2014.** Heavy metal concentration in deepwater rose shrimp species (*Parapenaeus longirostris*, Lucas, 1846) collected from the Marmara Sea Coast in Tekirdağ. *Environmental Monitoring and Assessment*. 186(4).PP: 2449-2454.

**Duchemin M., 2007.** Validations des outils immunotoxicologiques pour l'étude des effets biologiques des contaminants du milieu marin. Institut National de la Recherche Scientifique. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne occidentale-Brest. P: 50.

**Ducheminu J., 2015.** La pollution des rivières à l'heure des micropolluants, ou comment gérer les substances toxiques à de faibles concentrations. Formation du comité de bassin. Direction des études, de la connaissance et de l'appui technique. P: 13.

**Dumas T., Bonnefille B., Gomez E., Bocard J., Castro A. N., Fenet H. et Courant F., 2020.** Metabolomics approach reveals disruption of metabolic pathways in the marine bivalve *Mytilus galloprovincialis* exposed to a WWTP effluent extract. *Science of the Total Environment*, 712. P: 136551.

## **E**

**El Makhfouk M, Souissi A. et El Meray M., 2003.** Analyse de la fraction labile du zinc, cadmium, plomb et du cuivre dissous en milieu marin côtier par la redissolution anodique à impulsions différentielles. *Communication / Preliminary communication.C. R. Chimie*. 6. PP: 689–693.

**El Mamouni H. et Rhalem N., 2014.** Exposition de la population marocaine aux métaux lourds : Revue des études réalisées au Maroc .Publication officielle du Centre Anti Poison du Maroc, 21. PP: 4-6.

**Ennouri R., Chouba L., et Kraiem M.M., 2008.** Evaluation de la contamination chimique par les métaux traces (Cd. Pb. Hg. Zn) du zooplancton et de sardinelle (*Sardinella aurita*) dans le golfe de tunis. Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô, 35. PP: 87-94.

**Ensibi C. et Daly Yahia M.N., 2017.** Toxicity assessment of cadmium chloride on planktonic copepods *Centropages ponticus* using biochemical markers. Toxicology reports. 4. PP: 83-88.

**Ezziyyani M., Hamdache A., Barka N., Sebbar H., Mouraziq F., Lamarti A., Requena A.M., Egea-Gilabert C., Requena M.E. et Candela Castillo M.E., 2014.** Variations de la répartition géographique, taille et teneur en cadmium chez la moule *Mytilus galloprovincialis* prélevée au niveau du littoral de Safi (Variations in the geographical distribution, size and content of cadmium in the mussel *Mytilus galloprovincialis* collected at the coast of Safi). J. Mater. Environ. Sci, 5 (S2). PP: 2459-2466.

**Evans A. V, 2005.** Grzimek's Student Animal Life Resource Crustaceans, Mollusks, and Segmented Worms. Neil Schlager and Jayne Weisblatt, Canada. P: 275.

## F

**FAO., 2011.** Capture production 1950-2009. FishstatI Plus – Universal software for fishery statistical times series. Rome. (Available at [www.fao.org/fishery/statistics/global-production/fr](http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/fr)).

**Favier A., 2006.** Stress oxydant et pathologies humaines. Ann Pharm Fr, 64. PP: 390-396.

**Fischer W., Bauchot M.L., et Schneider M., 1987.** Guide Fao d'Identification des Espèces pour les Besoins de la Pêche. Méditerranée et Mer Noire - Zone de Pêche 37. Volume II: Vertébrés. FAO, Rome. P: 760.

**Flammarion P., Devaux A., Nehls S., Migeon B., Noury P. et Garric J., 2002.** Multibiomarker Responses in Fish from the Moselle River (France), Ecotoxicology and Environmental Safety, 51. PP: 145-153.

**Franchi N., Ferro D., Ballarin L. et Santovito G., 2012.** Transcription of genes involved in glutathione biosynthesis in the solitary tunicate *Ciona intestinalis* exposed to heavy metals. Aquat. Toxicol. 114-115. PP: 14-22.

## G

**Gaitán-Espitia J. D., Quintero-Galvis J. F., Mesas A. et D'Elía G., 2016.** Mitogenomics of southern hemisphere blue mussels (Bivalvia: Pteriomorpha) : Insights into the evolutionary characteristics of the *Mytilus edulis* complex. Scientific Reports, 6(26853). PP: 1-10.

**Garcia-Rico L., Tejada-Valenzuela L. et Burgos-Hernandez A., 2010.** Seasonal Variations in the Concentrations of Metals in *Crassostrea corteziensis* from Sonora, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol.* 85. PP: 209–213.

**Garnier R., 2005.** Toxicité du plomb et de ses dérivés. *EMC - Toxicologie-pathologie*, 2. PP: 67-88.

**Gauroy P., 1972.** Le monde animal au laboratoire. Manuel de travaux pratiques de sciences naturelles. Pierron-editeur, P: 217.

**Goeury D., 2014.** La pollution marine. In Woessner Raymond (dir.), *Mers et océans*, Paris : Atlante, Clefs concours. P: 1.

**Gosling E., 2015.** Marine bivalve molluscs. Wiley Blackwell. Second edition. India. P: 12, 34, 123.

**Grara N., Boucenna M., Atailia A., Berrebbah H. et Djebar M. R., 2012.** Stress oxydatif des poussières métalliques du complexe sidérurgique d'Annaba (Nord-Est algérien) chez l'escargot *Helix aspersa*. *Environ Risque Sante*, 11. PP: 221-229.

**Gravez V. et Bernard G., 2006.** Pollution marine : Les définitions. [www.com.univ-mrs.fr](http://www.com.univ-mrs.fr).

**Guerlet E., 2007.** Utilisation de biomarqueurs cellulaires chez plusieurs espèces d'invertébrés pour l'évaluation de la contamination des milieux dulçaquicoles, Thèse de doctorat, Université de Metz, France. P: 29.

**Gundacker C., 1999.** Tissue specific heavy metal (Cd, Pb, Cu, Zn) deposition in a natural population of the Zebra mussel *Dreissena polymorpha Pallas*. *Chemospher*, 38(14). PP: 3339-3356.

## **H**

**Heldt J. H., 1984.** Contribution à l'étude de la biologie des péneidés, les fonds à *parapenaeus longirostris* des mers Tunisiennes et âges des répartitions des péneides d'Afrique du Nord. *Bulletin. Station Océanographique de Salammbo*, Bu, 47. P: 27.

**Hemissi., 2008.** Présentation de la wilaya de Jijel et Bejaia .Andi .PP: 1-5.

**Hernandez-Moreno D., Soler F.,Mguez M. et Perez-Lopez M., 2010.** Brain Acetylcholinesterase, malondialdehyde and reduced glutathione as biomarkers of continuous exposure of tench, *Tinca tinca*, to carbofuran or deltamethrin, *Science of the Total environment*, 408 PP: 4976-4983.

**Holthuis L. B., 1987.** Fiche FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche en Méditerranée et mer Noire Zone 37. Volume 1 .FAO, Rome .PP: 191-292.

## **I**

**Ifremer Environnement. 2004.** Compte rendu du Séminaire : Les Journées contamination décontamination des mollusques bivalves. Nantes, du 26 au 27 Mai 2004. P: 18.

**J**

**Jacques P. et Claude P., 2000.** Toxicité des métaux. Elsevier, Paris. Revue Française des Laboratoires, 323.PP:35-43.

**Jakimska A., Konieczka P., Skóra K. et Namieśnik J., 2011.** Bioaccumulation of Metals in Tissues of Marine Animals, Part I: the Role and Impact of Heavy Metals on Organisms. Polish Journal of Environmental Studies. 20(5). PP: 1117-1125.

**Jarup L., 2002.** Cadmium overload and toxicity. Nephrol Dial transplant, 17Suppl: 2. PP: 35-39.

**K**

**Karray S., 2015.** Etude écotoxicologique et phylogéographique de la coque *Cerastoderma glaucum* issue du golfe de Gabès: Réponse adaptative (in situ et in vivo) au stress métallique et structure génétique. Sciences biologiques. Thèse de doctorat, Université de Sfax, Tunisie. P: 15.

**Kbieche L. et Kismoune R., 2012.** Evaluation des biomarqueurs des polluants dans l'hépatopancréas des crevettes pêchées dans trois régions de l'est Algérien. Université de Mohammed Essadik Ben Yahia, Jijel. PP: 50-57.

**Kefi F., Mleiki A., Maâtoug Béjaoui J et Trigui El Menif N., 2016.** Seasonal Variations of Trace Metal Concentrations in the Soft Tissue of *Lithophaga Lithophaga* Collected from the Bizerte Bay (Northern Tunisia, Mediterranean Sea) .Journal of Aquaculture Research & Development . 7: 6. 1000432.

**Khebbeb M. E. H., Nadji S. et Amrani A., 2010.** The effect of cadmium exposure on malonaldehyde and reduced glutathione concentrations in several tissues of a bivalve mollusc (*Ruditapes decussatus*) fished from Mellah lagoon (North East of Algeria). Ann. Biol. Res, 1(2).PP: 166-173.

**Kim J.H. et Kang J.C., 2015.** Oxidative stress, neurotoxicity, and non-specific immune responses in juvenile red sea bream, *Pagrus major*, exposed to different waterborne selenium concentrations. Chemosphere. 135. PP: 46–52

**Kim B.M., Rhee J.S., Lee K.W., Kim M.J. et Shin, K., 2014.** Heavy metals induce oxidative stress and trigger oxidative stress-mediated heat shock protein (hsp) modulation in the intertidal copepod *Tigriopus japonicus*. Comp. Biochem. Phys. C . 166. PP: 65–74.

**Kopecka-Pilarczyk J., 2010.** The effect of pesticides and metals on acetylcholinesterase (AChE) in various tissues of blue mussel (*Mytilus trossulus* L.) in short-term *in vivo* exposures at different temperatures. Journal of Environmental Science and Health Part B. 45. PP: 336–346.



**L**

- Lacoue-Labarthe T., 2007.** Incorporation des métaux dans les œufs de la seiche commune *Sepia officinalis* et effets potentiels sur les fonctions digestives et immunitaires, Option: Océanologie Biologique et Environnement Marin. Thèse de doctorat .Université de La Rochelle. P: 200.
- Lagadic L., Caquet T. et Amiard J. C., 1997.** Biomarqueurs en écotoxicologie : principes et définitions. In Lagadic L, Caquet T, Amiard J.C, Ramade F. Biomarqueurs en écotoxicologie : aspects fondamentaux, Masson, Paris. PP: 1-9.
- Lane T.W. et Morel F. M. M., 2000.** A biological function for cadmium in marine diatoms. Proceedings of the National Academy of Sciences, 97(9). PP: 4627-4631.
- Lee Y.H., Kim D.H., Kang H.M., Wang M., Jeong C.B., et Lee J.S., 2017.** Adverse effects of methylmercury (MeHg) on life parameters, antioxidant systems, and MAPK signaling pathways in the rotifer *Brachionus koreanus* and the copepod *Paracyclops nana*. Aquat. Toxicol. 190. PP: 181-189.
- Li X., Jia L., Zhao Y., Wang Q. et Cheng Y., 2009.** Seasonal bioconcentration of heavy metals in *Onchidium struma* (Gastropoda:Pulmonata) from Chongming Island, the Yangtze Estuary, Chin. Journal of Environmental Sciences. 21. PP: 255-262.
- Lima D., Roque G. M. et Almeida E. A., 2013.** In vitro and in vivo inhibition of acetylcholinesterase and carboxylesterase by metals in zebrafish (*Danio rerio*). Marine Environmental Research. 91. PP: 45-51.
- Lionetto M. G., Caricato R., Giordano M. E., Pascariello M. F., Marinosci L. et Schettino T., 2003.** Integrated use of biomarkers (acetylcholinesterase and antioxidant enzymes activities) in *Mytilus galloprovincialis* and *Mullus barbatus* in an Italian coastal marine area. Marine Pollution Bulletin, 46. PP: 324-330.
- Lioris D. et Rucabado J., 1998.** Guide d'identification des Ressources Marines vivantes du Maroc. Institut de sciences de mer. (CSIC).Passeig Joan de Bordé S/m 08039 Barcelona (Espagne). M-43 ISBN 92-5-204 162-1. P: 178.
- Lushchak V. I., 2012.**Glutathione Homeostasis and Functions: Potential Targets for Medical Interventions. Journal of Amino Acids. 2012 (736837). 26 P.

**M**

- Marangos C. et Vincent M., 1988.** Etude descriptive et biometrique des oeufs de la crevette grise *Crangon crangon* (L) (Crustacea: Decapoda) au cours de l'embryogenese . La mer, 26. PP: 53-60.
- Marchand M. et Kantin R., 1997.** Les métaux traces en milieu aquatique. Océans: 23(4). PP: 595-629.



**Maurin C.I., 1962.** Etude des fonds chalutables de la Méditerranée occidentale (écologie et pêche). Résultats des campagnes des navires « Président-Théodore-Tissier » 1957 à 1960 et « Thalassa » 1960 et 1961 . Rev. Trav. Inst. Pêches . Marit., 26 (2). PP: 163-218.

**Miquel M., 2001.** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Rapport Sénat: 261. PP : 94-96-98.

**Mori M., Sbrana M. et De Ranieri S., 2000.** Reproductive biology of female *Parapenaeus longirostris* (Crustacea, Decapoda, Penaeidae) in the northern Tyrrhenian Sea (western Mediterranean). Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Serie .,B. 107. PP: 1-6.

**Mouchel J. M. et Thévenot D., 2003.** Support de cours d'Ecotoxicologie du CEREV «Centre d'enseignement et de Recherche Eau Ville environnement».

**Moukrim A., 2002.** Réponse de certains paramètres biochimiques chez la moule méditerranéenne *Mytilus galloprovincialis* à la pollution métallique. Metal and radionuclides bioaccumulation in marine organisms . Laboratoire de recherche eau et environnement, département de biologie, faculté des sciences, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc. PP: 47-52.

## N

**Naciri M., 1998.** Dynamique d'une population de moules, *Mytilus galloprovincialis* (Lmk), vivant sur la cote atlantique marocaine. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, 21. PP: 43-50.

**Nandi A., Yan L.J., Jana C. K. et Das N., 2019.** Role of Catalase in oxidative stress- and age-associated degenerative diseases. Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2019(9). PP: 1-19.

**Negri A., Oliveri C., Sforzini S., Mignione F., Viarengo A. et Banni M., 2013.** Transcriptional response of the mussel *Mytilus galloprovincialis* (Lam.) following exposure to heat stress and copper. PLoS One.8: e66802.

**Nicholson S., 2002.** Ecophysiological aspects of cardiac activity in the subtropical mussel *perna viridis* (L) ( Bivalvia : *Mytilidae*). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 267.PP: 207-222.

**Nadji S., Amrani A., Mebarki R. et Khebbeb E.M., 2010.** Acetylcholinesterase and catalase activities in several tissues of a bivalve mollusk (*Ruditapes decussates*) fished from Mellah lagoon (North East of Algeria) after malathion exposure. Laboratoire de biologie animal appliqué, BP 12, 23000 Annaba, Algérie. P: 43.

**Nuhu F., Gordon A., Sturme R., Seymour A. M. et Bhandari S., 2020.** Measurement of Glutathione as a Tool for Oxidative Stress Studies by High Performance Liquid Chromatography. Molecules. 25(18). 16 P.

**P**

**Pandian T. J., 2017.** Reproduction and Development in Mollusca. Taylor & Francis Group, India. P: 45.

**Park J.C., Hagiwara A., Park H.G., et Lee S., 2020.** The glutathione *S*-transferase genes in marine rotifers and copepods: Identification of GSTs and applications for ecotoxicological studies. Marine Pollution Bulletin. 156: 111080.

**Pasquini L., Gorner T., Munoz J.F., Pons M.N., Boiteaux V., France X. et De Donato P., 2015.** Polluants émergents issus de l'activité domestique dans les eaux urbaines : le cas des composés perfluorés TSM. 10. PP: 26-32.

**Petit H., 2004.** La métamorphose chez les crustacés, un événement spectaculaire. Bio future, 249. PP: 50-52.

**Peric L., Nerlovi V., Zurga P., Zili L. et Ram-sak A., 2017.** Variations of biomarkers response in mussels *Mytilus galloprovincialis* to low, moderate and high concentrations of organic chemicals and metals. Chemosphere 174 : 554e562.

**Perrier A. et Tuzet A., 2005.** Le cycle de l'eau et les activités au sein de l'espace rural. Enjeux globaux, solutions locales et régionales. Géophysique externe, climat et environnement. C. R. Geoscience . 337. PP: 39–56.

**Pichard A., Bison M., Diderich R., Doomaert B., Lacroix G., Lefevre J. P., Leveque S., Magaud H., Morin A., Oberon D., Pepin G., et Tissot S., 2005.** Cadmium et ses dérivés. Fiche de données toxicologiques et des environnementales substances chimique INERIS. P: 60.

**Prankel S. M., Nixon R. H. et Philips C. J. C., 2004.** Méta-analysis of feeding trials investigating cadmium accumulation in the livers and kindeys of sheep. Environmental research, 94. PP: 171,183.

**Prouillac C., 2006.** Synthèse et évaluation de nouveaux composés organiques et phosphorés contre les effets des rayonnements ionisants, Etude de leur mécanisme d'action *in vitro*. Thèse de doctorat. Spécialité: Chimie–Biologie–Santé. Université Paul Sabatier de Toulouse III. P: 58

**R**

**Ramade F., 2008.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. Dunod, paris. P: 376.

**Radenac G., Miramand P. et Tardy J., 1997.** Search for impact a dredged material disposal site on growth and metal contamination of *Mytilus edulis* (L) in Charente Maritime (France). Mar. Pollut. Bull, 34. PP: 721–729.

**Reddy M. S., Mehta B., Dave S., Joshi M., Karthikyan L., Sarma V. K. S., Basha S., Ramachandraiah G. et Bhatta., 2007.** Bioaccumulation of heavy metals in some commercial fishes and crabs of the Gulf of Cambay, India-. *Current Science*, 92. PP: 1489-1491.

**Rehman Z. U, Khan S., Brusseau M. L et Tahir Shah M., 2017.** Lead and cadmium contamination and exposure risk assessment via consumption of vegetables grown in agricultural soils of five-selected regions of Pakistan. *Chemosphere*.168. PP: 1589–1596.

**RNB., 1999.** Réseau National de Basin. Les micropolluants dans les cours d'eau français, 3 années d'observation (1995–1997). Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement et les agences de l'eau, France.

**RNO., 1995.** Surveillance du milieu marin. Travaux du Réseau National d'Observation. Edition 1995. Ifremer et Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement., IFREMER (France).P: 21.

**Roula I. et khedimallah F., 2016.** Evaluation de l'effet de la pollution chez la moule (*Mytilus galloprovincialis*) et la moule (*Chelon labrousus*) pêchés dans la région de Jijel. Mémoire de master, Option : Toxicologie de l'Environnement. Université de Jijel. P: 32, PP: 60-70.

## S

**Salawudeen O.A., Tawabini B.S., Al-Shaibani M.A. et Saleh T.A., 2020.** Poly(2 hydroxyethyl methacrylate) grafted graphene oxide for cadmium removal from water with interaction mechanisms. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 13. 100288.

**Sanchez W., Bado-Nilles A. et Porcher J. M., 2012.** Biomarqueurs chez le poisson : un outil d'intérêt pour le contrôle d'enquête. *La Houille Blanche*, Société Hydrotechnique de France. 2012(2). PP: 49-54.

**Sanchez W. et Porcher J. M., 2009.** Utilisation des biomarqueurs pour la caractérisation de l'état écotoxicologique des masses d'eau. *Techniques Sciences Méthodes*. 6. PP: 29-38.

**Santovito G., Trentin E., Gobbi I., Bisaccia P., Tallandini L. et Irato P., 2020.** Non-enzymatic antioxidant responses of *Mytilus galloprovincialis*: Insights into the physiological role against metal-induced oxidative stress. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*: 240: 108909.

**Scudiero R., Cretì P., Trinchella F. et Esposito M.G., 2014.** Evaluation of cadmium, lead and metallothionein contents in the tissues of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from the Campania coast (Italy): levels and seasonal trends. *C. R. Biol*. 337, 451–458.

**Şen G. et Karaytuğ S., 2017.** Effects of Lead and Selenium Interaction on Acetylcholinesterase Activity in Brain and Accumulation of Metal in Tissues of *Oreochromis niloticus* (L., 1758). *NEsciences*. 2(2). PP: 21-32.

**Shakouria A. et Gheytasib H., 2018.** Bioaccumulation of heavy metals in oyster (*Saccostrea cucullata*) from Chabahar bay coast in Oman Sea: Regional, seasonal and size-dependent variations. *Marine Pollution Bulletin*. 126. PP: 323-329.

**Shukla G. S., Shukla A., Potts R. J., Osier M., Hart B. A. et Chiu J. F., 2000.** Cadmium mediated oxidative stress in alveolar epithelial cells induces the expression of gammaglutamylcysteine synthetase catalytic subunit and glutathione S-transferase alpha and pi isoforms: potential role of activator protein-1. *Cell biology and toxicology*, 16. PP: 347-362.

**Sinegovskaya V.T ., Terekhova O.A., Lavrent'yeva S. I., Ivachenko L.E. et Golokhvast K.S., 2020.** Effect of Heavy Metals on Oxidative Processes in Soybean Seedlings. *Russian Agricultural Sciences*. 46. PP: 28–32.

**Smolders R., Bervoets L., Wepener V. et Blust R., 2003.** A conceptual framework for using mussels as biomonitors in whole effluent toxicity. *Human and Ecological Risk Assessment*, 9(3). PP: 741-760.

**Sokolova A.S., Mikryakov D. V. et Mikryakov V. R., 2020.** Age-Related Changes in Malondialdehyde Levels in Tissues of the Bivalve *Anodonta cygnea* *Inland Water Biology*. 13: 1. PP: 107–110.

**Songy P. et Avezard J., 1963.** Documents pour l'étude des invertébrés (non Arthropodes). Cours de sciences naturelles. *Classique Hachette*. P :84.

**Soltani N., Amira A., Sifi K. et Beldi H., 2012.** Environmental monitoring of the Annaba gulf (Algeria): Measurement of biomarkers in *Donax trunculus* and metallic pollution. *Bull. Soc. Zool. France*, 137.PP: 47-56.

**Sparling D.W., 2016.** Bioindicators of contaminant exposure **In** *Ecotoxicology essentials environmental contaminants and their biological effects on animals and plants* .Elsevier. PP: 45-64.

**Strahm I., Wittmer I., Munz N., Schindler Wildhaber Y., Braun C.et Leu C., 2015.** Micropolluants dans les cours d'eau provenant d'apports diffus. Publié par l'Office fédéral de l'environnement OFEV Berne. P: 18.

**Strogloudi E., Angelidis M.O., Christides A. et Papathanassiou E., 2012.** Metal concentrations and metallothionein levels in *Mytilus galloprovincialis* from Elefsis bay (Saronikos gulf, Greece). *Environ. Monit. Assess*. 184. PP: 7189–7205.

## **T**

**Taleb Z. M. et Boutiba Z., 2007.** La moule bioindicateur de pollution marine, cas du port d'Oran. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 25.PP: 59-64.

**Tarras-Wahlberg N .H., Flachier A., Lane S.N. et Sangfors D., 2001.** Environmental impacts and metal exposure of aquatic ecosystems in rivers contaminated by small scale gold mining: The Puyango River basin, southern Ecuador. *The Science of the Total Environment*, 278. PP: 239-261.

**Thiam N. et Diallo A., 2010.** Le suivi des mollusques d'eau douce. Projet de démonstration Bassin du fleuve Gambie. P: 22.

**Thierry P., 2012.** Capacité d'acceptation de la pollution domestique résiduelle par des zones naturelles. Agro paris Tech. Paris. P: 12.

**Triplet P, 2017.**Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature. 3<sup>e</sup> édition. France. P: 139.

## V

**Van der Oost R., Beyer J. et Vermeulen N.P.E., 2003.** Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13 (2).PP: 57-149.

**Vidal-Linan L., Bellas J., Campillo J. et Beiras R., 2010.** Integrated use of antioxidant enzymes in mussels, *Mytilus galloprovincialis*, for monitoring pollution in highly productive coastal areas of Galicia (NW Spain), *Chemosphere*, 78. PP: 265-272.

**Vincent M., 2006** .Etude d'expertise en aquaculture– environnement– pêche – pollution. Saint-Maximin- France.

## W

**Won E., Kim R., Rhee J., Park G., Shin K., Lee Y. et Lee J., 2011.** Response of glutathione S transferase (GST) genes to cadmium exposure in the marine pollution indicator worm, *Perinereis nuntia*. *Comparative Biochemistry and Physiology C*. 154. PP: 82-92.

**Won E., Rhee J., Kim R., Ra K., Kim K., Shin K. et Lee J., 2012.** Susceptibility to oxidative stress and modulated expression of antioxidant genes in the copper-exposed polychaete *Perinereis nuntia*. *Comparative Biochemistry and Physiology C*. 155. PP: 344-351

## Y

**Yamuna A., Bhavan P.S. et Geraldine P., 2012.** Glutathione S-transferase and metallothionein levels in the freshwater prawn *Macrobrachium malcolmsonhi* exposed to mercury. *Journal of Environmental Biology*. 33. PP: 133-137.

**Yu D., Wu H., Peng X., Ji C., Zhang X., Song J. et Qu J., 2020.** Profiling of micro RNAs and mRNAs in marine mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, Part C, 230. P: 108697.

**Yuan H. H., Chiou-Fang L. et Szu I.W., 2000.** Nutrient dynamics of two aquatic angiosperms in an alpine lake, *Taiwan Bot. Bull. Acad. Sin*, 41. PP: 275-282.

**Z**

**Zhang T., Yang M., Pan H., Li S., Ren B., Ren Z., Xing N., Qi L., Ren Q., Xu S., Song J. et Ma J., 2016.** Does time difference of the acetylcholinesterase (AChE) inhibition in different tissues exist? A case study of zebra fish (*Danio rerio*) exposed to cadmium chloride and deltamethrin. *Chemosphere*. 168. PP: 908-916.

**Zhang J., Yang Z., Zhang S., Xie Z., Han S., Wang L., Zhang B. et Sun S., 2020.** Investigation of endogenous malondialdehyde through fluorescent probe MDA-6 during oxidative stress, *Analytica Chimica Acta*, 1116 .PP: 9-15.

Bougherra Zineb

Boufenghour Nihad

Encadreur : Dr. Ghorab Ismahene

Date de soutenance : 27.10.2020

### Thème

**Synthèse des travaux évaluant la pollution et le stress oxydant chez des crevettes et des moules.**

### Résumé

Le présent travail vise, à analyser les résultats des métaux lourds et des biomarqueurs du stress oxydant pour les études menées sur la crevette *P. longirostris* au cours des années 2009, 2011, 2012, 2013 et 2014, et la moule *M. galloprovincialis* pour l'année 2016, pêchées à partir des différentes zones de la baie de Jijel. L'analyse des concentrations de métaux lourds par la SAA dans les crevettes et les moules a prouvé d'une part, une prédominance du Plomb par rapport au Cadmium et d'autre part, l'existence des fortes concentrations des deux métaux à Jijel. L'analyse des résultats des biomarqueurs du stress oxydant (CAT, GSH, MDA et GST) et de neurotoxicité (AChE) a montré que la valeur la plus élevée de l'activité de la CAT et du GSH, ainsi que le taux le plus élevée du MDA ont été enregistrées chez les crevettes *P. longirostris*, tandis que la valeur la plus élevée de GST et une inhibition de l'AChE a été enregistrée chez les moules *M. galloprovincialis*.

**Mots clés : Crustacés, Mollusques, Métaux lourds, Biomarqueurs, Stress oxydant.**

### Abstract

The present work aims to analyze the results of heavy metals and oxidative stress biomarkers for studies conducted on the shrimp *P. longirostris* during the years 2009, 2011, 2012, 2013 and 2014, and the mold *M. galloprovincialis* for the year 2016, fished from the different areas of Jijel Bay. The analysis of heavy metal concentrations by SAA in shrimp and mollusks proved on the one hand a predominance of lead over cadmium and on the other hand the existence of high concentrations of both metals in Jijel. The analysis of the results of the biomarkers of oxidative stress (CAT, GSH, MDA and GST) and neurotoxicity (AChE) showed that the highest value of CAT and GSH activity, as well the highest level of MDA was recorded in shrimp *P. longirostris*, while the highest value of GST and AChE inhibition was recorded in mollusks *M. galloprovincialis*.

**Keywords: Crustaceans, Molluscs, heavy metals, Biomarkers, Oxidative stress.**

### ملخص

يهدف هذا العمل إلى تحليل نتائج المعادن الثقيلة والمؤشرات الحيوية للأوكسدة لدراسات أجريت على الجمبري في السنوات 2009, 2011, 2012, 2013 و 2014 والرخويات لسنة 2016 و المصطادة من مناطق مختلفة من خليج جيجل. أكد تحليل تركيز المعادن الثقيلة بواسطة SAA من جهة على سيادة الرصاص مقارنة بالكاديوم ومن جهة أخرى على وجود تراكيز عالية من هذه المعادن في خليج جيجل. أظهر تحليل نتائج المؤشرات الحيوية للأوكسدة (CAT, GSH, MDA, GST) والتسمم العصبي (AChE) أن أعلى قيمة لنشاط CAT و GSH وكذا نسبة MDA تم تسجيلها عند الجمبري *P. longirostris*, بينما تم تسجيل أعلى قيمة لنشاط GST وتثبيط AChE عند الرخويات *M. galloprovincialis*.

**الكلمات المفتاحية: الجمبري, الرخويات, المعادن الثقيلة, المؤشرات الحيوية, الأوكسدة.**

