

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun –Tiaret–

Faculté Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Toxicologie et sécurité alimentaire

Présenté par :

M<sup>elle</sup> IMESSAOUDENE SARA HADJER

. M<sup>elle</sup> AICHE FAIROUZ

M<sup>elle</sup> ABDI HADJER

Thème

**Etude de biomarqueurs de stress chez les bivalves  
marins (*Mytilus galloprovincialis*) (Lamarck, 1819)**

Soutenu publiquement le 25/06/2023

Jury :

Présidente : M<sup>me</sup> MILIANI A.

Encadrante : M<sup>elle</sup> BELMOKHTAR R.

Examinatrice : M<sup>me</sup> BOUZID A.

Grade

« MCB »

« MAA »

« MCB »

Année universitaire 2022-2023



# Remerciements

Avant tout, nous remercions ALLAH tout puissant de nous avoir guidés et aidés tout au long de notre vie, qu'il nous a donné courage et patience pour passer tous les moments difficiles, et qu'il nous a permis d'achever ce travail et de pouvoir le mettre entre vos mains aujourd'hui. Nous adressons nos vifs remerciements à tous ceux qui nous ont aidés à l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude par leurs conseils et leurs orientations

A notre encadreur Mme BELMOKHTAR RAHMA ont vous suis extrêmement reconnaissant pour votre précieux encadrement et votre soutien constant. Merci infiniment.

Nous remercions également Mme MELIANI.A qui a accepté présider ce jury. Et Mme BOUZID.A. d'avoir accepté examiner ce travail

Nous remercions également aux techniciens de laboratoire pour avoir facilité la partie expérimentale de ce travail.

Finalement, nous remercions vivement tous les enseignants du département des sciences de la Nature et de la Vie, et tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

# Dédicace

*À toi, mon cher père, ta sagesse inébranlable et ton amour inconditionnel m'ont guidé(e) sur le chemin de la réussite.*

*À toi, ma chère mère, ta bienveillance infinie et ton dévouement sans faille ont nourri ma détermination.*

*À mes chers frères et ma sœur, votre soutien indéfectible et votre complicité ont apporté de la joie et de l'équilibre à ma vie.*

*À mes chères amies Bouchra, Karima et Marcoua, vous avez illuminé ma vie de votre amitié sincère. Vos sourires contagieux,*

*Avec affection,*

**SARA HADJER**

# Dédicace

*À la mémoire de mon cher père, qui a quitté ce monde mais reste à jamais présent dans mon cœur, à ma mère bien-aimée, et à mes chers amis Bakhta, Habiba, Bouchra et Djamel,*

*Ce mémoire est un témoignage de gratitude et de reconnaissance envers vous tous. Mon père, ton absence laisse un vide immense, mais tes enseignements, ton amour et ta bienveillance continuent de m'inspirer chaque jour. Ma mère, tu as été ma force et mon roc, m'offrant ton soutien inconditionnel dans les moments les plus sombres. Bakhta, Habiba, Bouchra et Djamel, vos amitiés ont illuminé ma vie et m'ont apporté un réconfort précieux*

*Avec affection,*

**FAIROUZ**

# Dédicace

*Je dédie ce mémoire à :*

*Mes parents :*

*Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.*

*Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.*

*Mes frères qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*

*Avec affection,*

**HADJER**

## **Résumé**

Cette étude se concentrait sur l'évaluation des biomarqueurs de stress chez les bivalves marins *Mytilus galloprovincialis*, dans le but spécifique d'évaluer l'impact de la pollution sur ces organismes. Nous avons examiné plusieurs biomarqueurs clés, notamment le taux de glutathion réduit (GSH), le malondialdéhyde (MDA), ainsi que l'activité spécifique de la glutathion S-transférase (GST) et de la catalase. L'objectif central de notre recherche était de déterminer comment ces biomarqueurs pouvaient fournir des informations précieuses sur l'état de santé et le niveau de stress des *Mytilus galloprovincialis* en présence de pollution environnementale.

Des échantillons de moules ont été prélevés sur trois sites différents du littoral de l'Ouest Algérien, à savoir le port d'Oran, le port de Ghazaouet et la plage de Canastel. Ces sites ont été choisis en raison de leurs différences de niveaux de pollution potentielle.

Les résultats obtenus ont montré des variations significatives des biomarqueurs de stress entre les sites. L'activité de GST et de catalase ainsi que le MDA étaient plus élevés dans les moules prélevées dans les sites potentiellement pollués par rapport au site de référence. Cependant, le taux de GSH présente une valeur plus faible au niveau de site de Canastel.

**Mots-clés :** Biomarqueurs de stress ; *Mytilus galloprovincialis* ; ; Pollution

## المخلص

في هذه الدراسة، قمنا بتقييم مؤشرات التوتر الحيوي في ذوات الصفتين البحرية *Mytilus galloprovincialis*. كان الهدف الرئيسي هو استخدام هذه المؤشرات لتقييم تأثير التلوث على هذه الكائنات. تضمنت المؤشرات التي تمت دراستها معدل الجلوتاثيون المختزل (GSH) والمالونديالديهيد (MDA) بالإضافة إلى نشاط الجلوتاثيون-S ترانسفيراز (GST) والكاتالاز..

تم جمع عينات المحار من ثلاثة مواقع مختلفة على ساحل الجزائر الغربي، بما في ذلك ميناء وهران وميناء غزاوة وشاطئ كاناستيل. تم اختيار هذه المواقع بناءً على اختلاف مستويات التلوث المحتملة.

أظهرت النتائج الحاصلة اختلافات ملحوظة في علامات الإجهاد بين المواقع. كان نشاط GST والكاتالاز بالإضافة إلى MDA أعلى في المحار الذي تم جمعه في المواقع المحتملة للتلوث بالمقارنة مع الموقع المرجعي. علاوة على ذلك، مستوى GSH يظهر قيمة أقل في موقع Canastel.

**الكلمات المفتاحية:** مؤشرات التوتر البيولوجية؛ *Mytilus galloprovincialis*؛ التلوث.

## **Abstract**

In this study, we evaluated stress biomarkers in marine bivalves *Mytilus galloprovincialis*. The main objective was to use these biomarkers to assess the impact of pollution on these organisms. The biomarkers studied included reduced glutathione (GSH) levels, malondialdehyde (MDA), as well as the specific activity of glutathione S-transferase (GST) and catalase. Mussel samples were collected from three different sites along the Western Algerian coast, namely the Port of Oran, the Port of Ghazaouet, and Canastel Beach. These sites were chosen due to their potential differences in pollution levels.

The results obtained showed significant variations in stress biomarkers among the sites. GST and catalase activities, as well as MDA level were higher in mussels collected from potentially polluted sites compared to the reference site. However, the GSH level shows a lower value at the Canastel site.

**Keywords:** Stress biomarkers; *Mytilus galloprovincialis*; Pollution.



## Liste d'abréviation

BSA :	Albumine de sérum bovin
CAT :	Catalase
CDNB :	1-chloro-.2,4-dinitrobenzène
DBO	Demande biochimique en oxygène
DO :	Densité optique
DTNB :	Nitrobenzoïque
Ep :	Epaisseur maximale
ERO :	Espèces réactives d'oxygène
GSH :	Glutathion réduit
GST :	Glutathion s-transférase
HAP :	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
IC :	Indice de condition
La :	Largeur
Lt :	Longueur totale
MDA :	Malondialdéhyde
MES :	Matière en suspension
PCB :	Biphényles polychlorés
TBA :	Acide thiobarbiturique
TNB :	Nitrobenzoïque
Zn :	Zinc

## Liste des Figures

<b>Figure1.</b> Espèce <i>Mytilus galloprovincialis</i>	<b>8</b>
<b>Figure 2.</b> <i>Mytilus</i> sp. fixé à son support	<b>9</b>
<b>Figure3.</b> Schéma illustrant l'origine du stress induit par l'hypoxie/ réoxygénation ainsi que les défenses antioxydants diminuées	<b>13</b>
<b>Figure 4.</b> Les sites d'étude.	<b>15</b>
<b>Figure 5.</b> Port de Ghazaouet	<b>16</b>
<b>Figure 6.</b> Port d'Oran	<b>17</b>
<b>Figure 7.</b> Plage de Canastel	<b>18</b>
<b>Figure 8.</b> Méthode de mesure de la moule par le pied de coulisse	<b>20</b>
<b>Figure 9.</b> Poids de moule	<b>21</b>
<b>Figure10.</b> Dissection des moules	<b>22</b>
<b>Figure11.</b> Conductimètre	<b>24</b>
<b>Figure 12.</b> Oxymètres	<b>25</b>
<b>Figure 13.</b> Appareil de dosage MES	<b>26</b>
<b>Figure 14.</b> Comparaison de l'indice de condition de différents sites étudiés	<b>36</b>
<b>Figure15.</b> Variation inter-sites de l'activité spécifique du catalase (CAT)	<b>37</b>
<b>Figure16.</b> Variation inter-sites de l'activité spécifique moyenne de GST	<b>38</b>
<b>Figure17.</b> Variation inter-sites de la concentration moyenne en GSH	<b>39</b>
<b>Figure18.</b> Variation inter-sites de la concentration moyenne en malondialdéhyde (MDA).	<b>40</b>

## Liste des Tableaux

<b>Tableau1.</b> Description des sites étudiés	<b>19</b>
<b>Tableau 2.</b> Les paramètres physico-chimiques des différents sites étudiés	<b>34</b>
<b>Tableau3.</b> Mesure des paramètres biométriques de l'espèce <i>M. galloprovincialis</i> des différents sites étudiés	<b>35</b>

# SOMMAIRE

**Remerciements**

**Dédicace**

**Résumé**

**Liste d'abréviation**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 : GENERALITES.....</b>	<b>5</b>
1. POLLUTION MARINE EN MEDITERRANEE .....	6
1.1 Métaux lourds .....	6
1.2 Hydrocarbures .....	6
1.3 Plastiques.....	6
1.4 Pollution organique.....	6
2 . DESCRIPTION DE L'ESPECE ETUDIEE : LES BIVALVES MARINS MYTILUS GALLOPROVINCIALIS.....	7
2.1 Taxonomie et nomenclature .....	8
2.2 Description physique .....	8
2.3 Répartition géographique.....	9
2.4 Habitat et écologie.....	9
2.5 Régime alimentaire.....	9
3 STRESS OXYDANT.....	10
3.1 Biomarqueurs de stress.....	10
3.1.1 Glutathion réduit .....	11
3.1.2 Glutathion-S-transférases (GST) .....	12
3.1.3 Catalase (CAT) .....	12
3.1.4 Malondialdéhyde .....	13
<b>CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>14</b>
1 PRESENTATION DES ZONES D'ETUDE .....	15
1.1 Port de Ghazaouet .....	15
1.2 Port Oran.....	16

1.3 Plage de Canastel .....	18
2 METHODOLOGIE .....	18
2.1 Echantillonnage .....	18
2.2 Récolte et traitement des moules .....	19
2.3 Dissection des moules .....	21
3 INDICE DE CONDITION .....	22
4. MESURE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES .....	22
a. Température .....	23
b. pH .....	23
c. Salinité .....	23
d. Conductivité électrique .....	24
e. Oxygène dissous .....	24
f. Matière en suspension (MES) .....	25
g. Demande biochimique en oxygène (DBO) .....	26
5. ANALYSES BIOCHIMIQUES .....	27
5.1 Dosage des biomarqueurs .....	27
5.1.1 Dosage des protéines .....	28
5.1.2 Dosage de glutathion S-transférase (GST) .....	29
5.1.3 Glutathion réduit (GSH) .....	30
5.1.4 Dosage de Catalase .....	30
5.1.5 Dosage de Malondialdéhyde (MDA) .....	31
<b>CHAPITRE III :RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>32</b>
1 RESULTATS .....	33
1.1 Paramètres physico -chimiques .....	33
1.2 Parametres biometriques .....	34
1.3 Indice de condition .....	34
1.4 Biomarqueurs de stress .....	36
1.4.1 Activité spécifique du catalase (CAT) .....	36
1.4.2 Activité spécifique du glutathion S-transférase (GST) .....	37
1.4.3 Glutathion réduit (GSH) .....	38
1.4.4 Malondialdehyde (MDA) .....	39
2 DISCUSSION GENERALE .....	40
CONCLUSION GENERALE .....	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	51
ANNEXES .....	64

# **Introduction générale**

### Introduction

La pollution marine est une préoccupation majeure pour la santé des écosystèmes marins et la sécurité alimentaire humaine. Les sources de pollution marine sont nombreuses et variées. Le rejet des substances dangereuses résultant d'activités humaines telles que l'industrie, l'agriculture, l'aquaculture, la navigation et les activités récréatives sont les principales sources de pollution marine (**Andrady, 2017**).

Les eaux usées, les déchets plastiques, les marées noires et les pesticides sont également des sources majeures de pollution marine. En outre, le changement climatique peut également affecter la qualité de l'environnement marin en perturbant les écosystèmes marins, en augmentant les températures de l'eau et l'acidification des océans (**Hoegh-Guldberg et al., 2019**).

Les bivalves marins, tels que les moules, les huîtres et les palourdes, sont particulièrement vulnérables à la pollution marine en raison de leur mode de vie filtreur (**Langston et al., 2011**). Ces animaux sont connus pour accumuler divers polluants dans leur corps, tels que des métaux lourds, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des pesticides, qui peuvent entraîner des effets néfastes sur leur santé et leur capacité à fournir des services écosystémiques essentiels (**Leung et al., 2017**). En outre, les bivalves marins peuvent également servir de bioindicateurs de la pollution marine (**Fritsch et al., 2020**), car les variations de leur bio métabolisme et de leur physiologie en réponse aux polluants peuvent être utilisées pour évaluer la qualité de l'environnement marin (**Rainbow, 2015**).

De nombreux bivalves marins sont des organismes filtrants qui jouent un rôle important dans l'écosystème marin en régulant la qualité de l'eau et en fournissant de la nourriture pour les autres organismes. (**Comeau et al., 2019**). *Mytilus galloprovincialis* est une espèce de bivalves marins qui vit dans les zones côtières de la mer Méditerranée et de l'Atlantique. Cette espèce est importante pour l'aquaculture et la pêche commerciale, ainsi que pour son rôle écologique en tant que filtreur et indicateur de la qualité de l'eau (**Bacher et al., 2018**).

*Mytilus galloprovincialis* peuvent être exposés à des stress environnementaux tels que la pollution, le changement climatique, la surpêche, etc. qui peuvent compromettre leur santé et leur survie. Pour évaluer la santé de ces organismes et

## Introduction générale

---

comprendre les effets du stress environnemental, Des études récentes ont mis en évidence les effets de la pollution marine sur les bivalves marins. Par exemple, une étude menée par **Bocchetti et al. (2018)** a montré que l'activité de l'enzyme acétylcholinestérase et le niveau de peroxydation lipidique dans les moules *M. galloprovincialis* étaient significativement altérés dans les zones d'aquacultures par rapport aux zones témoins. Une autre étude menée par **Coelho et al. (2017)** a révélé que les moules *Mytilus galloprovincialis* exposées à des nanoparticules de dioxyde de titane présentaient une réponse de stress oxydatif accrue et une altération de l'intégrité de l'ADN.

Pour comprendre les effets du stress environnemental sur *M. galloprovincialis*, il est important d'identifier les biomarqueurs qui peuvent servir d'indicateurs de stress pour cette espèce (**Bocchetti et al., 2018**). Les biomarqueurs de stress sont des indicateurs biologiques de stress qui peuvent refléter les changements physiologiques, biochimiques et moléculaires chez les organismes exposés à des stress environnementaux. Ils sont aussi utilisés pour évaluer la capacité des organismes à s'adapter aux stress environnementaux. La capacité d'adaptation d'un organisme peut être évaluée en mesurant sa résilience, c'est-à-dire sa capacité à récupérer rapidement après une exposition à un stress. Pour *M. galloprovincialis*, plusieurs études ont montré que cette espèce de bivalve marin est capable de s'adapter à des conditions environnementales variables grâce à sa capacité de régulation physiologique et biochimique (**Coelho et al., 2017 ; Trenfield et al., 2018**).

Plusieurs biomarqueurs ont été proposés pour évaluer le stress chez *M. galloprovincialis*, tels que les enzymes oxydatives, les protéines de stress, les marqueurs immunologiques, les gènes de stress et les métabolites. Cependant, la sensibilité, la spécificité et la reproductibilité de ces biomarqueurs peuvent varier en fonction des conditions environnementales et de l'état de santé de l'organisme (**Fritsch et al., 2020**).

L'objectif de ce présent travail vise à montrer comment utiliser les biomarqueurs de stress pour évaluer l'impact de la pollution sur les bivalves marins *M. galloprovincialis*, à savoir le taux de GSH et de MDA ainsi que l'activité spécifique de GST et de catalase. . Le travail a été réalisé en utilisant des échantillons de ces moules provenant de trois sites différents du littoral de l'Ouest



## **Introduction générale**

---

Algériens. Ces sites ont été ciblés en vue de leur différence dans leurs niveaux d'exposition aux activités anthropiques.

Notre recherche a été structurée en trois chapitres :

Le premier chapitre est une revue générale de la littérature sur le sujet définissant les types de pollution marine et une description des biomarqueurs de stress.

Le deuxième chapitre est consacré au matériel et méthodes utilisées dans ce travail.

Le troisième chapitre correspond aux résultats et discussions sur les différentes manipulations effectuées lors de cette étude.

En fin, une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenues et des perspectives d'étude.

# **Chapitre 1 : Généralités**

## 1. Pollution marine en Méditerranée

La Méditerranée est une mer semi-fermée qui est considérée comme l'une des zones les plus polluées du monde en raison de la densité de population élevée, du tourisme et des activités industrielles. Plusieurs types de polluants ont été identifiés dans la mer Méditerranée, notamment les métaux lourds, les hydrocarbures, les nutriments, les pesticides, les produits pharmaceutiques et les plastiques. Ces polluants peuvent avoir des effets dévastateurs sur la faune et la flore marines ainsi que sur la santé humaine **(Galvani et al., 2013)**.

### 1.1 Métaux lourds

Les métaux lourds, tels que le mercure, le cadmium et le plomb, sont des polluants courants dans la mer Méditerranée en raison des activités industrielles, de l'agriculture et de l'utilisation de produits chimiques. Ces métaux peuvent s'accumuler dans les tissus des organismes marins et causer des dommages irréversibles aux systèmes nerveux, cardiovasculaire et reproducteur **(Ribera d'Alcalà et al., 2017)**.

### 1.2 Hydrocarbures

Les hydrocarbures sont un autre type de polluant courant dans la mer Méditerranée en raison des activités industrielles, de la navigation et du tourisme. Les déversements d'hydrocarbures peuvent causer des dégâts considérables à la faune et la flore marines ainsi qu'à l'environnement côtier **(Tsiola et al., 2017)**.

### 1.3 Plastiques

Les plastiques sont également une source majeure de pollution dans la mer Méditerranée, avec des quantités énormes de plastiques déversées chaque année. Les impacts environnementaux et économiques sont considérables, avec des coûts élevés pour le nettoyage des plages et pour la restauration de l'environnement marin **(Ünlü et al., 2018)**.

### 1.4 Pollution organique

La pollution organique est l'une des principales sources de pollution dans la Méditerranée. Elle provient principalement des activités humaines telles que l'agriculture intensive, les rejets domestiques et les industries. Les eaux usées contiennent des nutriments tels que les nitrates et les phosphates qui, en excès, peuvent

favoriser la prolifération des algues et des micro-organismes. Cette prolifération entraîne une diminution de la quantité d'oxygène dissous dans l'eau, créant ainsi des zones mortes où la vie marine est pratiquement absente. De plus, la pollution organique peut également entraîner la formation de marées noires qui ont des effets dévastateurs sur la faune et la flore marine. Plusieurs études ont été menées pour évaluer les effets de la pollution organique sur la Méditerranée et ses écosystèmes marins (**Bodeanu et al., 2014; Kehrig et al., 2018; Mouna et al., 2020**).

## **2 . Description de l'espèce étudiée : Les bivalves marins *Mytilus galloprovincialis***

Les bivalves marins *M. galloprovincialis*, sont des mollusques marins appartenant à la classe des bivalves, qui comprennent des espèces telles que les huîtres, les moules et les palourdes. Également connu sous le nom de moule méditerranéenne, est largement distribué en Méditerranée et constitue une espèce clé de la zone côtière (**Ferrante et al., 2014**). Les moules sont des organismes filtreurs, capables de filtrer de grandes quantités d'eau de mer pour se nourrir, mais sont également vulnérables à l'accumulation de contaminants dans leur environnement. En Méditerranée, les populations de bivalves sont soumises à des pressions environnementales multiples, notamment la pollution, la surpêche et le changement climatique. Des études ont montré que les bivalves peuvent être utilisés comme bioindicateurs de la qualité de l'eau en raison de leur capacité à accumuler les contaminants. De plus, les bivalves sont une source importante de nourriture pour les populations locales et sont également utilisés en aquaculture. Par conséquent, la santé des populations de bivalves dans la Méditerranée a une importance écologique, économique et sociale. Des mesures doivent être prises pour réduire les impacts environnementaux sur ces organismes marins et pour assurer leurs durabilités (**Banaigs et al., 2008 ; Gomoiu et al., 2004 ; Oliver et al., 2019**).

## 2.1 Taxonomie et nomenclature

*Mytilus galloprovincialis* est une espèce de moule marine de la famille des Mytilidae. La classification taxonomique complète de cette espèce est :

**Règne** : Animal

**Embranchement** : Mollusque

**Classe** : Bivalves (Lamellibranches)

**Sous classe** : Ptériomorphe

**Ordre** : Mytiloidés

**Famille** : Mytilidés

**Genre** : *Mytilus*

**Espèce** : : *Mytilus galloprovincialis* (**Lamarck, 1819**)



**Figure1.** Espèce *Mytilus galloprovincialis* (<http://www.omare.pt/>)

## 2.2 Description physique

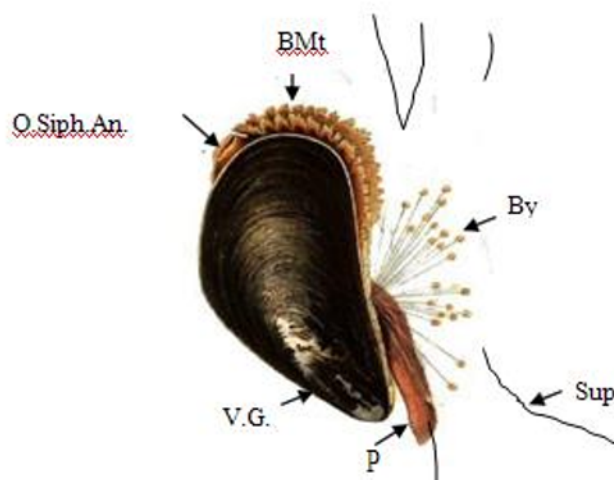
La taille de *M. galloprovincialis* peut varier de quelques centimètres à plus de 10cm.

La coquille de la moule est triangulaire, avec des bords légèrement incurvés et un sommet arrondi.

La couleur de la coquille est généralement brune ou verte, mais elle peut également être noire ou bleue.

La moule possède deux valves (coquilles) qui sont maintenues ensemble par un ligament à l'arrière et par des muscles adducteurs à l'avant.

Les moules ont un pied musculaire qui leur permet de se fixer sur des surfaces dures telles que des rochers ou des piliers de pont (**Gosling, 1992**) (**Figure2**).



**Figure 2.** *Mytilus* sp. fixé à son support (**Kantin & Pergent, 2004**) By: Byssus ; Sup: support; P: pied; V.G. : valve gauche ; BMt: bords frangés du manteau; O.Siph. An: Orifice du siphon anal.

### 2.3 Répartition géographique

L'espèce *M. galloprovincialis*, dite moule méditerranéenne (**Lamarck, 1819**), est un Mollusque bivalve, généralement bien étudié (**Lubet & Aloui, 1987**). L'aire de répartition de cette espèce s'étend sur la côte atlantique depuis la baie d'Agadir (Maroc) jusqu'aux îles britanniques et englobe aussi l'ensemble du bassin méditerranéen, l'Afrique du Sud, la Nouvelle-Zélande et la Californie (**McDonald et Koehn, 1991**).

### 2.4 Habitat et écologie

Les moules sont des organismes filtreurs, se nourrissant de phytoplancton et de matière organique en suspension dans l'eau. *Mytilus galloprovincialis* habite les zones intertidales et subtidales, où il s'attache à des surfaces dures comme des rochers ou des piliers de pont. Elle peut également être trouvée dans des environnements artificiels tels que des structures d'aquaculture (**Sfris et Facca, 2007**).

### 2.5 Régime alimentaire

*Mytilus galloprovincialis* est un organisme filtrant qui se nourrit essentiellement de phytoplancton et de matière organique en suspension. Elle aspire de l'eau à travers son conduit d'alimentation, qui achemine l'eau et les particules comestibles vers ses branchies, où les aliments sont triés.

Les moules peuvent également d'avoir la capacité d'assimiler des éléments nutritifs dissous dans l'eau, ainsi que des bactéries et des virus. Leur capacité à filtrer de grandes quantités d'eau les rend utiles pour maintenir la qualité de l'eau dans les écosystèmes marins (**Le Pennec et Levêque, 2000**).

### 3 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. 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**).

#### 3.1 Biomarqueurs de stress

Les biomarqueurs de stress sont des indicateurs biologiques utilisés pour mesurer l'exposition des organismes aux contaminants environnementaux. Chez les bivalves marins, plusieurs biomarqueurs ont été identifiés pour mesurer le stress oxydatif, la toxicité des métaux et des pesticides. Parmi ces indicateurs, on peut citer les protéines de tension, le glutathion réduit (GSH), la glutathion-S-transférase (GST), la catalase et les produits de peroxydation lipidique tels que le malondialdéhyde (MDA) (**Lacroix et al., 2018**).

Diverses recherches ont été réalisées afin de mesurer l'exploitation de ces biomarqueurs chez les bivalves marins. Une analyse entreprise par **Ben Khemis et al., (2016)** a mis en évidence que les taux de protéines de tension et de GST étaient considérablement plus hauts chez les moules ayant été exposées à des doses croissantes de cuivre. De manière similaire, une étude menée par **Gonzalez-Fernandez et al.,**

(2016) a montré que les niveaux de GSH et de catalase étaient significativement réduits chez les moules exposées à des concentrations élevées de mercure.

D'autres recherches ont également révélé l'efficacité de ces indicateurs biologiques chez les bivalves pour évaluer les effets de la pollution environnementale sur ces organismes. Par exemple, une étude menée par **Lacroix et al., (2018)** a démontré que les taux de MDA étaient considérablement plus élevés chez les moules exposées à la pollution organique que chez les moules témoins.

### 3.1.1 Glutathion réduit

Le GSH (glutathion réduit) est un tripeptide non-protéique présent dans les cellules animales, qui joue un rôle crucial dans la protection contre les radicaux libres et les dommages oxydatifs. Dans le cas des bivalves marins, le GSH est souvent utilisé comme biomarqueur de stress oxydatif. Une diminution du taux de GSH peut être observée en réponse à une exposition à des substances toxiques, à une pollution environnementale ou à des conditions stressantes.

De nombreuses recherches ont été menées pour évaluer l'utilisation du GSH en tant que biomarqueur de stress chez les mollusques bivalves marins. À titre d'exemple, une étude menée par **Falfushynska et al., (2019)** a examiné l'impact du stress thermique sur les niveaux de GSH chez *Unio tumidus*, un bivalve. Les résultats ont indiqué une baisse significative du taux de GSH chez les individus confrontés à des températures élevées, suggérant ainsi que le GSH peut être employé comme un indicateur sensible de stress thermique chez les bivalves marins.

De même, une étude menée par **Wu et al., (2018)** a examiné les effets de différents polluants sur les niveaux de GSH chez le bivalve *Scapharca subcrenata*. Les résultats ont montré une diminution significative des niveaux de GSH chez les individus exposés à des polluants tels que le cadmium et le mercure, suggérant que le GSH peut être utilisé comme un biomarqueur de stress en réponse à la pollution environnementale.



### 3.1.2 Glutathion-S-transférases (GST)

Les glutathion-S-transférases (GST) est un groupe d'enzymes qui jouent un rôle crucial dans la détoxification des composés xénobiotiques et la protection contre les espèces réactives de l'oxygène (ROS). Les GST sont impliquées dans le métabolisme de diverses substances, y compris les carcinogènes et les toxines environnementales (**Figure3**). En outre, les GST ont été utilisées comme biomarqueurs de stress chez les mollusques marins car elles participent à la détoxification. Une augmentation de l'activité des GST peut témoigner d'une réponse de stress aux polluants (**Rainbow, 2007**).

Plusieurs recherches ont confirmé que les GST étaient un biomarqueur sensible chez les mollusques marins exposés à des polluants comme les métaux lourds et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Par exemple, une étude menée par **Rocco et al., (2013)** a montré que l'exposition au zinc augmentait l'activité des GST chez la moule méditerranéenne. De même, une étude menée par **Ben Khemis et al., (2016)** a démontré que l'exposition au pétrole brut augmentait l'activité des GST chez la palourde brune.

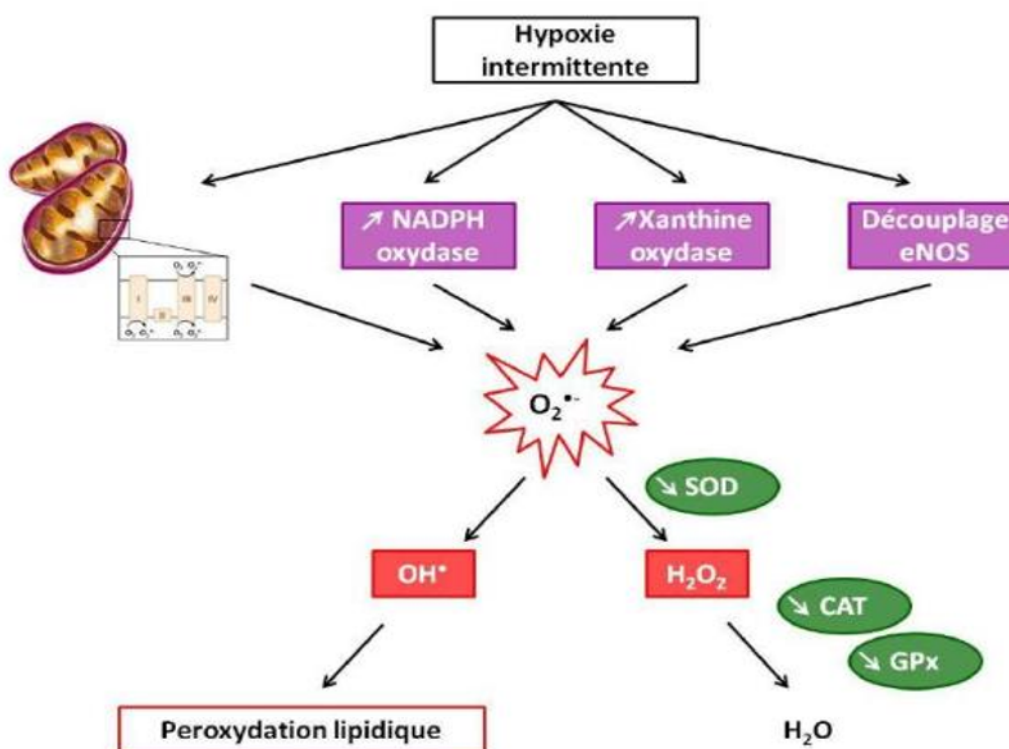
### 3.1.3 Catalase (CAT)

La catalase représente une enzyme détectable chez les bivalves marins, souvent reconnue comme un biomarqueur du stress engendré par l'oxydation. Cette enzyme agit en dégradant l'eau oxygénée en eau et oxygène, réduisant ainsi la génération de radicaux libres qui peuvent causer des dommages cellulaires. Des recherches ont démontré que les taux de catalase augmentent en réponse au stress oxydant déclenché par la pollution et divers autres facteurs environnementaux (**Ben Khemis et al., 2016; Gonzalez-Fernandez et al., 2016**) (**Figure3**).

Toutefois, il est important de souligner que la catalase ne constitue pas un indicateur exclusif du stress oxydant et peut être influencée par divers autres éléments tels que l'âge, le genre, la température et l'alimentation. C'est pourquoi elle est fréquemment utilisée en combinaison avec d'autres biomarqueurs pour mesurer le stress oxydant chez les bivalves marins (**Lacroix et al., 2018**)

### 3.1.4 Malondialdéhyde

Le malondialdéhyde (MDA) est un élément organique chimique qui se forme lors de la dégradation des lipides insaturés, notamment dans les membranes cellulaires, sous l'influence du stress oxydatif. Il est considéré comme un indicateur de dommages oxydatifs et de stress oxydatif dans les tissus biologiques. Le MDA est un sous-produit de la peroxydation lipidique, une réaction chimique qui se produit lorsque les lipides sont exposés à des radicaux libres et à des espèces réactives de l'oxygène. Cette réaction entraîne la dégradation des lipides, produisant des composés réactifs tels que le MDA (**Figure3**). Le MDA est souvent quantifié dans les études biomédicales et toxicologiques pour évaluer le niveau de stress oxydatif et de dommages causés par les radicaux libres. Le MDA a été utilisé comme biomarqueur de stress chez les bivalves marins pour évaluer les effets de la pollution environnementale sur leur santé (**Das et al., 2017**).



**Figure 3.** Schéma illustrant l'origine du stress induit par l'hypoxie/reoxygénation ainsi que les défenses antioxydantes diminuées (**D'après Morand 2017**). En rouge : le stress oxydant ; Violet : son origine ; vert : les défenses anti-oxydantes.  $O_2^{\bullet-}$ , anion superoxyde ; SOD, superoxyde dismutase ; CAT, catalase ; GPx, glutathion peroxydase ;  $H_2O_2$ , peroxyde d'hydrogène ;  $OH^{\bullet}$ , radical hydroxyle ;  $H_2O$ , eau.

# **Chapitre II : Matériel et méthodes**

## 1 Présentation des zones d'étude

La présente étude porte sur le port de Ghazaouet et le port d'Oran comme sites contaminés par plusieurs sources de pollutions considérées et un site loin des sources de contamination (site de référence), qui est le site de Canastel. Les campagnes d'échantillonnage des moules *M. galloprovincialis* sont effectuées au niveau de ces trois sites, et durant le mois de Mars 2023. La figure ci-dessous montre la localisation géographique des différents sites étudiés.



Figure 4. Les sites d'étude.

### 1.1 Port de Ghazaouet

Le port de Ghazaouet est situé sur la côte nord-ouest de l'Algérie, dans la wilaya de Tlemcen. Il est placé de manière stratégique sur la mer Méditerranée, près de la frontière avec le Maroc. Le port de Ghazaouet est essentiellement réservé aux opérations de négoce maritime et de transfert de produits. Il est doté d'équipements tels que des appontements de chargement et de déchargement, des magasins de rangement, des zones d'ancrage pour les navires et des dispositifs de manutention de la marchandise (Sogeports, 2008).

Le port a une structure semi fermée qui empêche la libre circulation des courants marins, entraînant une concentration des polluants à l'intérieur de celui-ci. Ce site d'étude permet d'estimer le degré de concentration des éléments métalliques à ce niveau. Cependant, les eaux usées sont l'une des causes majeures si ce n'est la plus importante source de dégradation de l'écosystème marin côtier algérien. Ces eaux usées chargées pour l'essentiel de matières organiques, de matières en suspension, de détergents et des huiles lubrifiantes génèrent des pollutions organiques et chimiques. La ville de Ghazaouet est connue par son unité d'électrolyse de zinc, ALZINC (Société Algérienne de Zinc) qui est une filiale de l'entreprise METANOF. La côte de Ghazaouet reçoit les eaux résiduaires industrielles recyclées en provenance de l'unité d'électrolyse de zinc, ces rejets chargés des métaux lourds, sont déversés dans le milieu marin et participent à la contamination de la vase aggravée par le stockage sauvage des déchets de lixiviation de zinc sur la falaise surplombant la mer et l'usine



**Figure 5.** Port de Ghazaouet ([www.portdeghazaouet.com](http://www.portdeghazaouet.com))

## 1.2 Port Oran

Son importance vient de plusieurs avantages qu'il confère : il est le deuxième port de commerce et premier port à passagers ; l'accès du port est facilité par les réseaux routiers et ferroviaires reliés à l'hinterland ; il dispose de 33 postes à quai pouvant recevoir des navires de 220 mètres de long avec des cargaisons de 40 000 tonnes à moins 12 mètres.

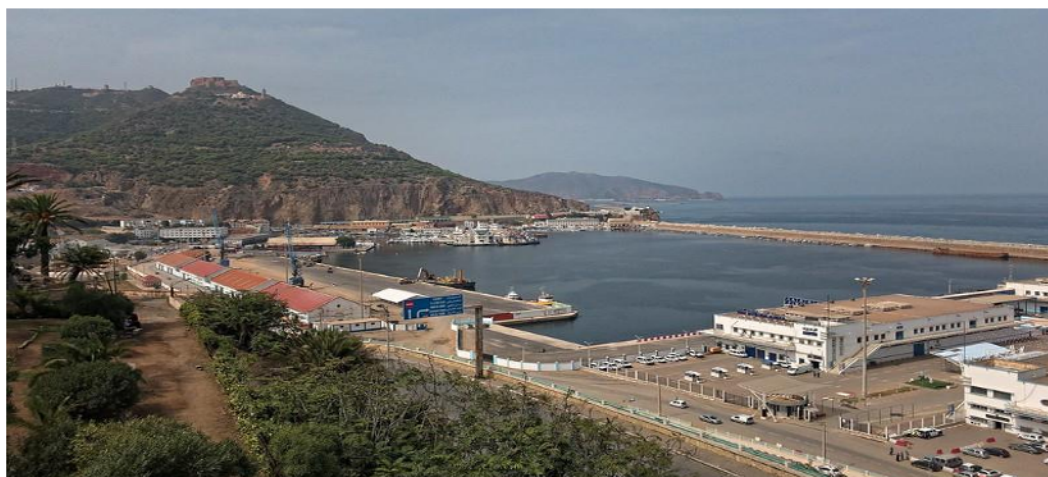
Le port d'Oran a été établi sur des plages situées entre la pointe de Lamoune à l'ouest et le Cap Blanc à l'est. Situé à l'ouest d'Alger, il a été construit avant 1962.

Géographiquement, selon Google earth il est localisé en longitude de 00° 37' 266'' Ouest et en latitude 35° 42' 963'' Nord. Fermé par deux jetées :

- a
- u nord, la grande jetée ou jetée du large d'une longueur totale de 2 827 mètres,
- à l'est, une autre jetée de 519 mètres de longueur qui prend naissance à 190 mètres de l'extrémité de la jetée du large.

Les émissaires urbains de la ville d'Oran sont au nombre de 11, les trois principaux sont à l'est et à l'ouest du port :

- à l'ouest, l'émissaire de fort Lamoune, se situe à l'extérieur du port d'Oran,
- à l'est, l'émissaire de la cheminée du petit lac et le collecteur de ceinture du centre ville et Oran Est qui évacue 80 % environ des rejets oranais (selon une communication orale des services d'assainissement de la Direction d'hydraulique d'Oran).
- dans le port, 8 émissaires en provenance de la ville d'Oran et de faible importance se déversent, à travers les différents bassins du port (bassin de Mostaganem : rejet très important, bassin de Ténès et le bassin de Bejaia) ; ainsi les eaux portuaires qui s'évacuent par la passe vers la baie d'Oran peuvent être considérées comme une source de pollution. Ces rejets sont essentiellement des eaux usées domestiques, de petits ruisseaux d'eaux usées débouchent sur les plages environnantes, soit à l'ouest de Mers el-Kébir, soit à l'est du port d'Oran. D'autres rejets d'eaux usées existent au niveau des ports de Mers el-Kébir et de Kristel.



**Figure 6.** Port d'Oran (Photo originale)

### 1.3 Plage de Canastel

Canastel est une plage située à l'ouest d'Oran, caractérisée par une eau de mer calme et loin de toutes sources de pollution. Cette plage est encore à l'état sauvage. Peu de personnes peuvent accéder à cette plage à cause de son éloignement et de sa profondeur. Pour cette raison il se considère comme une zone relativement propre et non polluée.



**Figure 7.** Plage de Canastel (Photo originale).

## 2 Méthodologie

### 2.1 Echantillonnage

**Tableau 01.** Description des sites étudiés

Zone	Date	Heur	Climat	Etat de la mer	Température (°C)
Port d'Oran	13.03.2023	08 :00	Journée nuageuse	Calme	12
Port de Ghazaouet	16.03.2023	10 :00	Journée nuageuse	Calme	16
Plage de Canastel	21.03.2023	8 :00	Journée nuageuse	Calme	13

Dans le cadre de cette étude, nous avons procédé à un échantillonnage aléatoire en Mars 2023 sur le littoral de l'Ouest algérien. Nous avons choisi deux sites

contaminés, à savoir le Port de Ghazaouet et le Port d'Oran, ainsi qu'un site de référence, à savoir la plage de Canastel. Nous avons prélevé des échantillons de la population de *M. galloprovincialis* dans ces trois sites afin de réaliser des analyses biochimiques pour les biomarqueurs de stress oxydant ainsi que des paramètres physico-chimiques de l'eau (**tableau 01**).

## 2.2 Récolte et traitement des moules

La collecte des échantillons de *M. galloprovincialis* s'est déroulée à une profondeur de 2 mètres, où les mollusques étaient fixés sur un substrat rocheux. Nous avons veillé à ce que toutes les moules prélevées soient des jeunes adultes âgés d'environ 18 à 24 mois, correspondant à une taille de coquille de 50 à 60 mm, afin de garantir l'homogénéité des échantillons (**Gulf of Maine Council, 1992 ; Andral & Alzieu, 2004**). Pour accéder aux sites d'échantillonnage, un plongeur a été chargé de la collecte des moules en raison de la difficulté d'accès.

Une fois les moules ramenées à terre, elles ont été soigneusement lavées avec de l'eau de mer propre provenant du site d'échantillonnage pour éliminer les excroissances souples, les sédiments et les débris pouvant les souiller. Nous avons évité d'endommager le byssus, qui est essentiel pour la croissance et la survie de l'espèce (**Gulf of Maine Council., 1992**). Les moules ont ensuite été transportées dans une glacière maintenue à basse température jusqu'au laboratoire, où elles ont été triées, nettoyées et débarrassées de leurs épibiontes avant d'être utilisées pour les analyses biochimiques.

La mesure des paramètres linéaires est réalisée à l'aide d'un pied à coulisse à 1/20 mm de précision (**Figure 8**).



- La longueur totale (Lt) correspondant à la plus grande distance ; séparant le bord antérieur du bord postérieur de la coquille ;
- La largeur (La) qui va de la charnière dorsale au bord ventral ;
- L'épaisseur maximale (Ep) qui est la largeur maximale de la convexité des deux valves réunies.

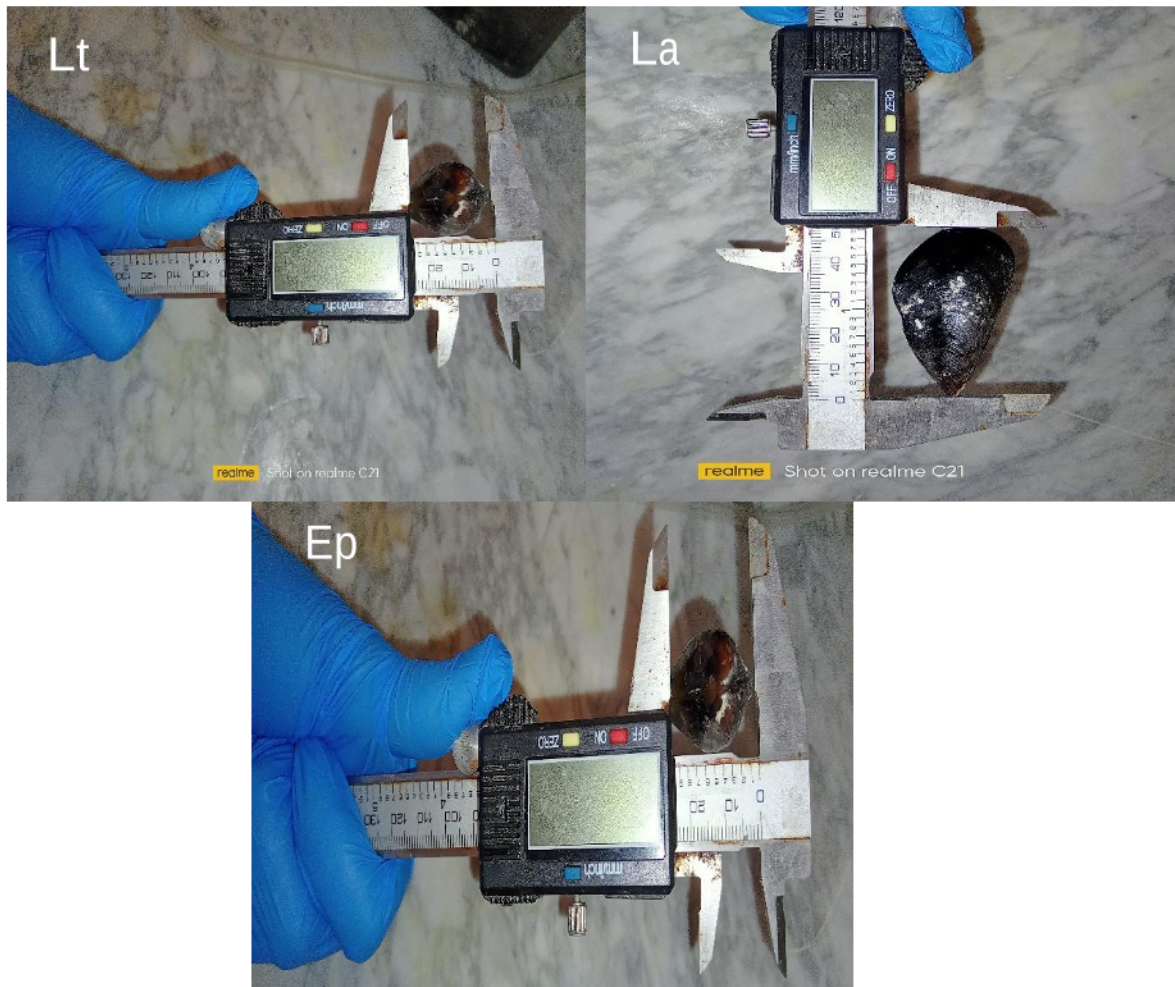


Figure 8. Méthode de mesure de la moule par le pied de coulisse

- Le poids frais des moules : On utilise une balance de précision qui permet de peser les moules fraîches directement après leur collecte.



**Figure 9.** Poids de moule

1 : Poids total de moule ; 2 : masse de la chair humide

### 2.3 Dissection des moules

La dissection des moules peut être réalisée en suivant les étapes suivantes :

1. **Nettoyage des moules** : les moules doivent être brossées pour éliminer les épibiontes et les impuretés de la surface de la coquille.
2. **Ouverture des moules** : les moules peuvent être ouvertes à l'aide d'un couteau ou d'un outil spécialisé en faisant levier sur la charnière de la coquille. Il est important de faire attention à ne pas endommager les tissus internes de la moule.
3. **Retrait de la chair** : après avoir ouvert la coquille, la chair de la moule peut être retirée à l'aide d'une cuillère ou d'un outil spécialisé. Il est important de retirer toute la chair de la moule, y compris les parties attachées à la coquille.



Figure10. Dissection des moules

### 3 Indice de condition

En effet, l'indice de condition est un paramètre important pour évaluer la santé et la qualité des moules. Il permet de déterminer si les moules sont suffisamment nourries et si elles sont en mesure de se développer normalement. Une moule en bonne santé avec une alimentation suffisante aura un indice de condition élevé, ce qui indique une chair plus abondante et une coquille plus épaisse (Jefferies et al., 2003).

Il convient de noter que cet indice peut varier en fonction de divers facteurs, tels que l'âge, la saison, l'emplacement et la qualité de l'eau. Il est donc important de prendre en compte ces facteurs lors de l'interprétation des résultats de l'indice de condition.

L'indice de condition (IC) basé sur le poids frais peut être calculé en utilisant la formule suivante :

$$\text{IC}\% = \frac{\text{masse de chair humide (g)}}{\text{masse totale (g)}} \times 100$$

### 4. Mesure des paramètres physico-chimiques

La mesure des paramètres physico-chimiques a été réalisée sur l'eau de mer à l'aide d'une bouteille stérile d'un litre. Les échantillons ont été transportés dans une glacière à une température de 4°C. Les analyses ont été effectuées dans les 24 heures suivant le prélèvement afin d'éviter toute altération des paramètres physico-chimiques.

Les analyses ont été réalisées au laboratoire de la station d'épuration de Bouchekif-Tiaret pour la mesure de l'oxygène dissous, matière en suspension (MES) et demande biochimique en oxygène (DBO) et au laboratoire "Science du sol" de l'université de Tiaret pour les autres paramètres.

#### a. Température

La détermination de la température est faite au laboratoire à l'aide d'un thermomètre incorporé à l'oxymétrie étalonné avant chaque manipulation. On lit directement la température exprimée en degré Celsius (°C) (Kassim, 2005).

#### b. pH

Le pH de l'eau a été mesuré au laboratoire par la méthode électrique à l'aide d'un pH-mètre de marque METTLER TOLEDO.

#### c. Salinité

La salinité de l'eau de mer est définie comme étant la masse totale de substances dissoutes dans un kilogramme d'eau de mer. Cette masse est calculée en remplaçant les ions bromure et iodure par leur équivalent de chlorure, en convertissant les carbonates en oxydes et en oxydant toute la matière organique présente. Cette définition n'est cependant pas applicable en routine (Sorensen, 1902) ce qui a conduit à l'utilisation de la notion de chlorinité, qui est basée sur la proportionnalité entre les principaux constituants du sel de l'eau de mer (**Dittmardès, 1884**). Le chlorure représente 55% de la salinité et peut être dosé précisément en routine par argentimétrie. Pour éviter que la valeur de la chlorinité ne dépende pas de déterminations successives des masses atomiques de l'argent et du chlore, la chlorinité a été redéfinie par Jacobsen et Knudsen en 1940. La nouvelle expression de la chlorinité était alors convertie en salinité selon la formule :

$$S\text{‰} = 1,80655 \times CI$$

Cette nouvelle expression concordait avec l'ancienne pour la salinité de 35,000. La salinité est un descripteur indispensable en milieu marin et est normalement associée à la mesure de la température. Les étapes de réalisation du titrage de la salinité se trouvent dans les annexes.

#### d. Conductivité électrique

La conductivité de l'eau de mer fait référence à sa capacité de conduire l'électricité en raison de la présence de sels dissous. Elle est influencée par la présence de sels tels que le sodium, le chlorure, le magnésium et le calcium, qui se dissocient en ions chargés électriquement. Cette dissociation permet à l'eau de mer de conduire l'électricité (Millero, 2006 ; UNESCO, 2010). La conductivité est mesurée en micro siemens par centimètre ( $\mu\text{S/cm}$ ). Elle est effectuée à l'aide d'un conductimètre



Figure11. Conductimètre

#### e. Oxygène dissous

Pour mesurer l'oxygène dissous des échantillons on utilise l'oxymétrie. On verse l'eau de mer à tester dans un bécher, plongé l'électrode dans le bécher et attend la stabilisation de l'appareil et on lit directement la valeur, il faut rincer l'électrode avec l'eau distillée après chaque lecture.



Figure 12. Oxymètres

#### f. Matière en suspension (MES)

La méthode de filtration est une méthode simple et largement utilisée pour mesurer la concentration de matière en suspension (MES) dans l'eau. Cette méthode est basée sur le principe de retenir toutes les particules de taille supérieure à 0,45 mm à travers un filtre. Le filtre est ensuite séché et pesé avant et après filtration. La différence de poids entre les deux pesées (P1, P2) permet de déterminer la masse sèche totale de la matière en suspension dans le volume d'eau correspondant (Amminot et al., 1983).

Pour effectuer cette méthode, on utilise un papier filtre de type Wattman GF/C de diamètre 47mm. Le filtre est d'abord placé dans une étuve à 100-105°C pendant 24 heures pour renforcer sa rigidité et sa solidité. Ensuite, on pèse le filtre vide (P1 en mg). On place ensuite le filtre dans un dispositif de filtration et on verse 250 ml d'échantillon. Après un certain temps, le filtre est retiré et placé de nouveau dans l'étuve à 105°C pendant 24 heures pour sécher. On pèse alors le filtre après filtration (P2 en mg).

La concentration de MES est calculée en utilisant l'expression suivante :

$$\text{MES (mg/l)} = (P2 - P1) / V$$

Sachant que :

**MES** : représente la matière en suspension en mg/l,

**P1** : est le poids du filtre sec avant filtration en g,

**P2** : est le poids du filtre sec après filtration en g.

**V** : est le volume d'eau filtré en ml.



**Figure 13.** Appareil de dosage MES

#### **g. Demande biochimique en oxygène (DBO)**

La méthode standard pour mesurer la DBO (Demande Biochimique en Oxygène) consiste à comparer la quantité d'oxygène consommée par des micro-organismes lors de la dégradation de la matière organique dans l'échantillon d'eau à celle consommée dans un échantillon témoin qui ne contient pas de matière organique. Cette comparaison est réalisée en mesurant la concentration en oxygène dissous dans l'eau à deux moments différents : au début de l'incubation ( $t_0$ ) et après une période de 5 jours ( $t_5$ ) (APHA, 2017).

Le protocole de mesure de la DBO comprend les étapes suivantes :

- Prélever un échantillon d'eau à analyser et un échantillon témoin, qui sera utilisé pour déterminer la concentration initiale d'oxygène dissous ( $d_0$ ).

- Mesurer la concentration d'oxygène dissous (d5) dans les deux échantillons après une incubation de 5 jours à 20°C dans l'obscurité, en utilisant une sonde de mesure d'oxygène.
- Calculer la DBO en utilisant l'équation suivante :

$$DBO = [F (T0-T5) - (F-1) (D0-D5)]$$

Où :

**T0** : est la concentration initiale d'oxygène dissous dans l'échantillon à analyser (en mg/l).

**T5** : est la concentration d'oxygène dissous dans l'échantillon à analyser après 5 jours d'incubation (en mg/l).

**D0** : est la concentration initiale d'oxygène dissous dans l'échantillon témoin (en mg/L).

**D5** : est la concentration d'oxygène dissous dans l'échantillon témoin après 5 jours d'incubation (en mg/l).

**F** : est un facteur de dilution qui permet de corriger la concentration initiale d'oxygène dissous dans l'échantillon à analyser en fonction de sa dilution éventuelle.

Il est important de noter que la mesure de la DBO est une méthode indirecte pour évaluer la qualité de l'eau, car elle ne mesure pas directement la concentration de matière organique dans l'échantillon. Cependant, la DBO est largement utilisée comme indicateur de la pollution organique des eaux, car elle permet de mesurer l'activité biologique dans l'échantillon et donc d'estimer la quantité de matière organique biodégradable présente (APHA, 2017).

## 5. Analyses biochimiques

### 5.1 Dosage des biomarqueurs

- Préparation des surnageants

Pour la préparation des surnageants, nous avons préparé quatre tampons, le tampon phosphate à 0.1 M (pH = 6.5) pour le dosage des protéines, du GST, GSH et le tampon phosphate à 0.1M (pH = 7.5) pour le dosage de catalase. Pour le MDA on a utilisé le tampon KCl.



Les dosages ont été évalués dans la partie S9. Pour ce faire, nous avons écrasé 1g de tissu (branchie/glande digestive dans 3ml d'une solution tampon adéquate. Après l'écrasement, le mélange homogène a été mis en centrifugeuse à 9000 g pendant 20 minutes à une température de 4°C. Les liquides obtenus ont été répartis dans des tubes Eppendorf et maintenus à une température de -20°C jusqu'au moment de l'analyse.

### 5.1.1 Dosage des protéines

Nous allons employer la technique de Bradford pour estimer la quantité de protéines. La technique de Bradford est une méthode usuelle pour évaluer la densité de protéines dans un échantillon. Cette méthode repose sur une réaction colorimétrique entre les protéines et le colorant de Bradford, qui produit une coloration bleue distinctive en présence de protéines. La mesure de la densité de protéines est effectuée en mesurant l'absorbance de la solution à une longueur d'onde de 595 nm (**Bradford, 1976**).

La méthode de Bradford est considérée comme rapide, facile et fiable pour déterminer la concentration de protéines dans les échantillons biologiques tels que les extraits de tissus, les surnageants de culture cellulaire, les liquides biologiques, etc. Plusieurs études ont démontré l'efficacité de cette méthode dans des contextes variés, tels que la recherche biomédicale, la microbiologie et la biotechnologie (**Waheed & Fatima, 2016**).

Voici les étapes pour réaliser le dosage des protéines :

Préparer une gamme étalon de protéines standard en diluant la solution d'albumine de sérum bovin (BSA) à différentes concentrations (0 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 et 1mg/l). Pour mesurer la concentration des protéines dans un échantillon en utilisant la méthode du réactif de Bradford.

Dans un eppendorf, mélanger 799µl d'H<sub>2</sub>O + 1µl d'échantillon + 200µl de réactif Bradford.

Après la période d'incubation (5min), le mélange est transféré dans un récipient de spectrophotomètre particulier et la densité optique (DO) est mesurée à une longueur d'onde de 595 nm. Cette lecture de la DO permet d'estimer l'absorption de la lumière par les conjonctions protéine-réactif de Bradford.

### 5.1.2 Dosage de glutathion S-transférase (GST)

Nous avons utilisé la méthode colorimétrique de Habig et al. (1974) pour mesurer l'activité de la glutathion S-transférase (GST). Cette réaction chimique est le résultat de la conjugaison du substrat 1-chloro-2,4-dinitrobenzène (CDNB) avec le glutathion réduit (GSH), catalysée par l'enzyme glutathion S-transférase (GST). Lors de cette réaction, le produit formé est le S-(2,4-dinitrophényl) glutathion (DNB-GS), accompagné de la libération d'acide chlorhydrique (HCl). Les étapes de la méthode impliquent la préparation d'une solution de substrat CDNB, d'une solution de GSH, l'incubation de l'échantillon de protéine avec les deux solutions précédentes, l'arrêt de la réaction avec du méthanol.



L'absorbance a été mesurée en 340nm pendant 2 min à un intervalle de temps de 30 secondes contre une solution ne contenant pas l'échantillon à doser (blanc). Cette mesure permet d'évaluer l'efficacité de la GST, qui est exprimée en fonction de la teneur protéique de l'échantillon, en unités de  $\mu\text{mol}$  par minute par milligramme de protéines. Cette efficacité est calculée en utilisant une formule spécifique pour cette évaluation.

$$AS = \frac{\Delta DO / \text{min} \times Vt \times F}{\epsilon \times L \times Vs \times c \text{ protéines}}$$

Où

**AS** : Activité spécifique (nmol de CDNB conjugué formé/ minute /mg de protéines).  
 **$\Delta DO / \text{min}$**  est la différence de la densité optique obtenue après hydrolyse du substrat, mesurée en unités de  $\Delta DO / \text{min}$

**Vt** est le volume total où est réalisée la mesure, exprimé en millilitres (ml)

**Vs** est le volume du surnageant, exprimé en millilitres (ml)

**F** est le facteur de dilution

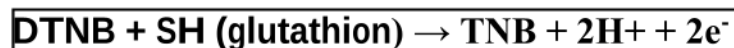
**$\epsilon$**  est le coefficient d'extinction molaire du CDNB, qui est de  $9,6 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$

**L** est la longueur de la cuve utilisée, qui est de 1 cm

**C protéines** est la concentration des protéines, exprimée en milligrammes par litre (mg/l)

### 5.1.3 Glutathion réduit (GSH)

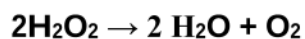
La méthode choisie pour le dosage de la glutathion réduit (GSH) est celle décrite par **Weckbecker et Cory (1988)**. La méthode de dosage est basée sur l'évaluation de la réaction de réduction suivante :



La technique de dosage du glutathion réduit à l'aide de l'acide DTNB est largement répandue pour évaluer les niveaux de glutathion dans les échantillons biologiques. Pour débiter l'analyse, des échantillons de test sont préparés et traités avec de l'acide sulfosalicylique à 4% pour faire précipiter les protéines et obtenir le surnageant contenant le glutathion. Ce surnageant est ensuite centrifugé à basse température pour éliminer les précipités indésirables. Par la suite, un tampon Tris-HCL à l'EDTA est ajouté à la solution, suivi de l'ajout du réactif d'Ellman, qui interagit avec le glutathion réduit pour former l'acide TNB, produisant une coloration jaune intense. Pour établir une relation quantitative, une courbe étalon est tracée en utilisant des solutions standard de GSH de 6 concentrations (0 ; 20 ; 40 ; 60 ; 80 et 100 $\mu\text{mol/ml}$ ). Des dilutions préalables peuvent s'avérer nécessaires afin que les valeurs d'absorbance des échantillons soient comprises dans l'intervalle des valeurs d'absorbance de la gamme étalon. On mesure l'absorbance à une longueur d'onde 412nm. La lecture se fait contre un blanc préparé dans les mêmes conditions avec du tampon Tris-HCL à l'EDTA remplaçant le surnageant.

### 5.1.4 Dosage de Catalase

La technique utilisée pour le dosage de la catalase est celle décrite par **Sint-Denis (1998)** et qui se base sur la disparition de l'eau oxygénée par action de la catalase selon la réaction suivante :



Le protocole pour mesurer l'activité spécifique de la catalase comprend plusieurs étapes. Tout d'abord, un tampon phosphate à pH 7,5 est préparé. Ensuite, un mélange est créé en combinant le tampon phosphate, l'eau oxygénée et l'échantillon contenant la catalase. La densité optique de la solution est mesurée à 240 nm pendant une minute toutes les 15 secondes. Un blanc est également préparé avec seulement le tampon phosphate. En utilisant les données recueillies, l'activité spécifique de la catalase est

calculée. Cette méthode fournit des informations quantitatives sur l'efficacité catalytique de la catalase dans la dégradation de l'eau oxygénée. L'activité spécifique de la catalase est calculée en utilisant la formule suivante :

$$AS = \frac{\Delta DO / \text{min} \times Vt \times F}{\epsilon \times L \times Vs \times c \text{ protéines}}$$

Où

**AS** : Activité spécifique ( $\mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  réduit/ minute /mg de protéines).

**$\Delta \text{DO}/\text{min}$**  : Différence de la densité optique obtenue après hydrolyse du substrat.

**Vt** : Volume total où est réalisée la mesure.

**Vs** : Volume du surnageant.

**F** : Facteur de dilution.

**$\epsilon$**  : Coefficient d'extinction molaire du CDNB ( $\epsilon = 0.04 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ).

**L** : Longueur de la cuve utilisée ( $L = 1\text{cm}$ ).

**C protéines** : Concentration des protéines (mg/l).

### 5.1.5 Dosage de Malondialdéhyde (MDA)

La technique de dosage du malondialdéhyde (MDA) repose sur la méthode **d'Uchiyama et Mihara (1978)**. Cette méthode utilise une mesure colorimétrique pour détecter les composés issus de la peroxydation lipidique tels que le malondialdéhyde (MDA), en réagissant avec l'acide thiobarbiturique (TBA) pour former un produit coloré (rose) visible à une longueur d'onde de 532 nm. Pour réaliser le dosage, il est nécessaire de préparer une gamme étalon de standards à partir de 1, 1, 3, 3 tétra-éthoxypropane, qui comprend 6 points (0, 20, 40, 60, 80 et 100  $\text{nmol ml}^{-1}$ ).

La lecture se fait par rapport à un blanc préparé dans les mêmes conditions avec du tampon KCl à 1,15% en remplacement du surnageant. En utilisant les résultats obtenus sur la gamme étalon, on peut déduire la concentration en MDA de chaque échantillon. Les résultats sont exprimés en  $\text{nmol mg}^{-1}$  de protéines.

# **Chapitre III : Résultats et discussion**

## 1 Résultats

### 1.1 Paramètres physico -chimiques

La confrontation des divers paramètres physico-chimiques évalués dans le port d'Oran, le port de Ghazaouet et le site Canastel, a mis en évidence que la température, le pH, la conductivité, les MES ainsi que l'oxygène dissous et la DBO varient d'un site à l'autre. Les températures oscillent entre 9.4 et 13.50°C, atteignant leur point culminant au port de Ghazaouet ( $T^{\circ}=13.50^{\circ}\text{C}$ ).

Le pH a été mesuré à trois sites différents au cours de cette étude. La plus faible valeur a été enregistrée au port de Ghazaouet ( $\text{pH}=7.3$ ), tandis que la plage de Canastel a affiché la valeur maximale de  $\text{pH}=8.72$ . La concentration en oxygène dissous affiche un niveau minimal au port de Ghazaouet ( $\text{O}_2$  dessous =7,4 mg/l) et un niveau maximal sur la plage de Canastel ( $\text{O}_2$  dessous =8,27 mg/l). La conductivité affiche une valeur minimale au port d'Oran (41,74 ms/cm) et une valeur maximale au port de Ghazaouet (64,20 ms/cm). La matière en suspension (MES) enregistre une valeur maximale de (74.25 mg/l) au niveau de la plage de Canastel et une valeur minimale au niveau du port d'Oran (46.55 mg/l). La demande biochimique en oxygène (DBO) enregistre une valeur maximale de 2.6 mg/l au niveau du site de Canastel (**tableau2**).

**Tableau 2.** Les paramètres physico-chimiques des différents sites étudiés

Les zones	Port Oran	Port de Ghazaouet	Site de Canastel
Température °C	10.4	13.5	9.4
pH	8.6	7.3	8.72
O <sub>2</sub> (mg/l)	7.7	7.4	8.2
Salinité	34.3	34.5	36.3
Conductivité	41.4	64.2	46.5
MES (mg/l)	46.5	57.5	74.2
DBO (mg/l)	2.0	1.4	2.6

## 1.2 Paramètres biométriques

Les valeurs moyennes et les rapports des mesures biométriques de la moule *M. galloprovincialis* provenant de trois sites sont présentés dans le **tableau 3**.

**Tableau3.** Mesure des paramètres biométriques de l'espèce *M. galloprovincialis* des différents sites étudiés

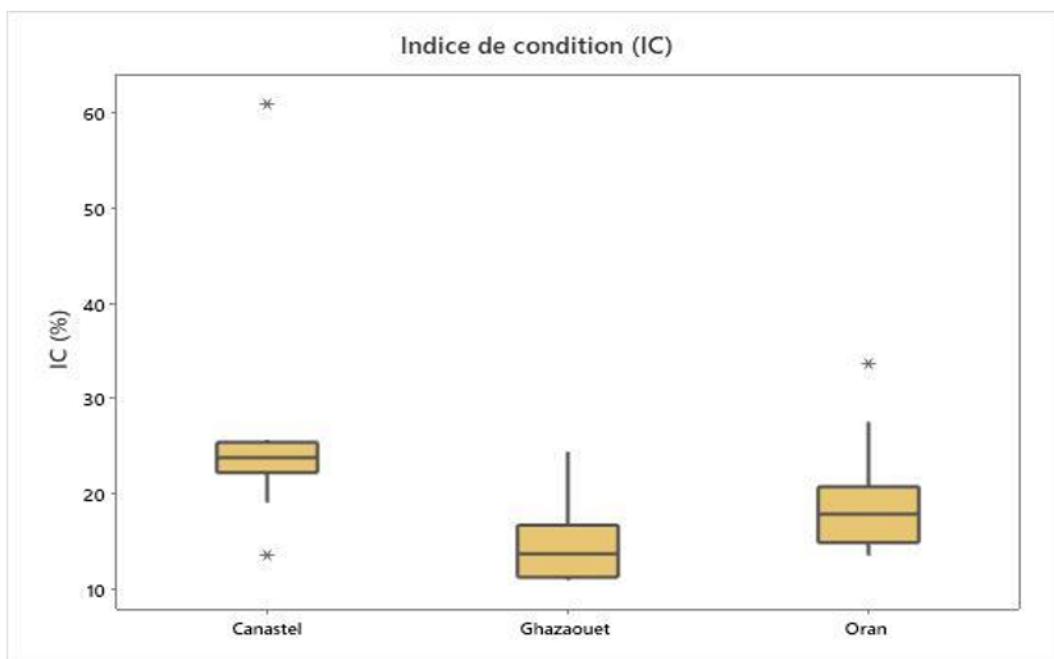
	Port d'Oran N=72	Port de Ghazaouet N=70	Canastel N=64	P-value
<b>Poids(g)</b>	7.48±3.14	4.76±3.79	12.20±7.98	0.0001
<b>Longueur (mm)</b>	40.95 ± 6.40	32.37±8.62	48.54± 7.87	0.0001
<b>Largeur (mm)</b>	22.44 ± 3.49	19.14±4.35	26.06 ± 4.40	0.0001
<b>Hauteur (mm)</b>	15.67 ± 2.80	13.26±3.61	21.37 ± 19.23	0.0001
<b>Largeur/longueur</b>	0.55 ± 0.05	0.60±0.09	0.53 ± 0.07	0.0001
<b>Hauteur/longueur</b>	0.38 ± 0.03	0.41±0.06	0.44 ± 0.40	0.0001
<b>Hauteur/largeur</b>	0.70 ± 0.08	0.69±0.09	0.83 ± 0.77	0.0001

Les différentes mesures morphométriques (Poids, longueur, largeur et hauteur) de *M. galloprovincialis* démontrent des valeurs moyennes significativement différentes entre les trois sites étudiés, où les valeurs supérieures correspondent à la plage de Canastel ( $p < 0.001$ ).

Les rapports de largeur/longueur, hauteur/longueur et hauteur/largeur diffèrent significativement entre les trois sites étudiés ( $p < 0.001$ ).

## 1.3 Indice de condition

Les résultats de l'analyse de l'IC dans les moules marines des différents sites, Canastel, Port d'Oran et Ghazaouet, révèlent des variations significatives (**Figure 14**). À Canastel, l'IC varie de 23 à 25 %, ce qui indique une condition relativement bonne des moules dans ce site de référence. Ces résultats suggèrent que les moules à Canastel sont en bonne santé et présentent une condition physique optimale.



**Figure 14.** Comparaison de l'indice de condition de différents sites étudiés

#### Calcul ANOVA

Indice	P-value	F
Valeur	0.005	6.08

En revanche, à Port D'Oran, l'IC varie de 5 à 12 %, ce qui est significativement inférieur à celui de Canastel. Ces résultats indiquent une détérioration de la condition physique des moules à Port d'Oran. Une valeur d'IC aussi basse peut être le signe de stress environnemental, de malnutrition ou d'autres facteurs défavorables qui affectent négativement la santé des moules dans ce site.

À Ghazaouet, l'IC varie de 15 à 20 %, ce qui se situe entre les valeurs observées à Canastel et à Port D'Oran. Bien que l'IC à Ghazaouet soit relativement plus élevé qu'à Port d'Oran, il est néanmoins inférieur à celui de Canastel. Cela suggère que les moules à Ghazaouet peuvent être soumises à des conditions environnementales moins favorables, ce qui se reflète dans leur état de condition physique.

L'analyse de variance (ANOVA) montre une valeur de p égale à 0,005 et une valeur de F égale à 6,08. Cette p-value inférieure à 0,05 indique une différence statistiquement significative entre les groupes de moules des différents sites en ce qui concerne l'IC. Le



F-value élevé suggère également une variation significative des valeurs d'IC entre les sites.

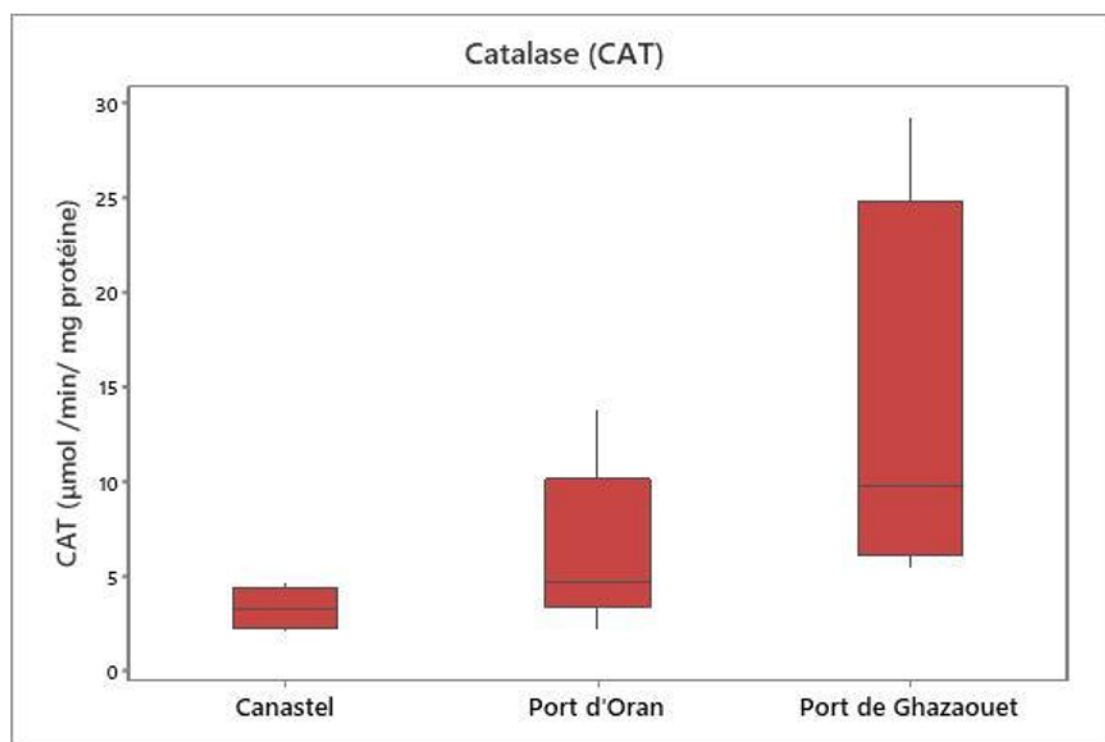
## 1.4 Biomarqueurs de stress

### 1.4.1 Activité spécifique du catalase (CAT)

Les résultats indiquent une différence significative dans les valeurs d'activité spécifique du catalase entre les trois sites étudiés ( $p=0.038$ ,  $F=4.16$ ).

En termes de valeurs d'activité spécifique, le site de Canastel présente la plus faible moyenne, allant de 2 à 4  $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$  de protéine, tandis que le site de Port d'Oran montre une moyenne plus élevée, variant de 3 à 10  $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$  de protéine. Le site de Ghazaouet affiche la plus haute moyenne, avec des valeurs d'activité spécifique allant de 7 à 25  $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$  de protéine (**Figure15**).

Ces résultats indiquent que les sites de Port d'Oran et Ghazaouet ont une activité spécifique plus élevée par rapport à Canastel.



**Figure15.** Variation inter-sites de l'activité spécifique du catalase (CAT).

## Calcul ANOVA

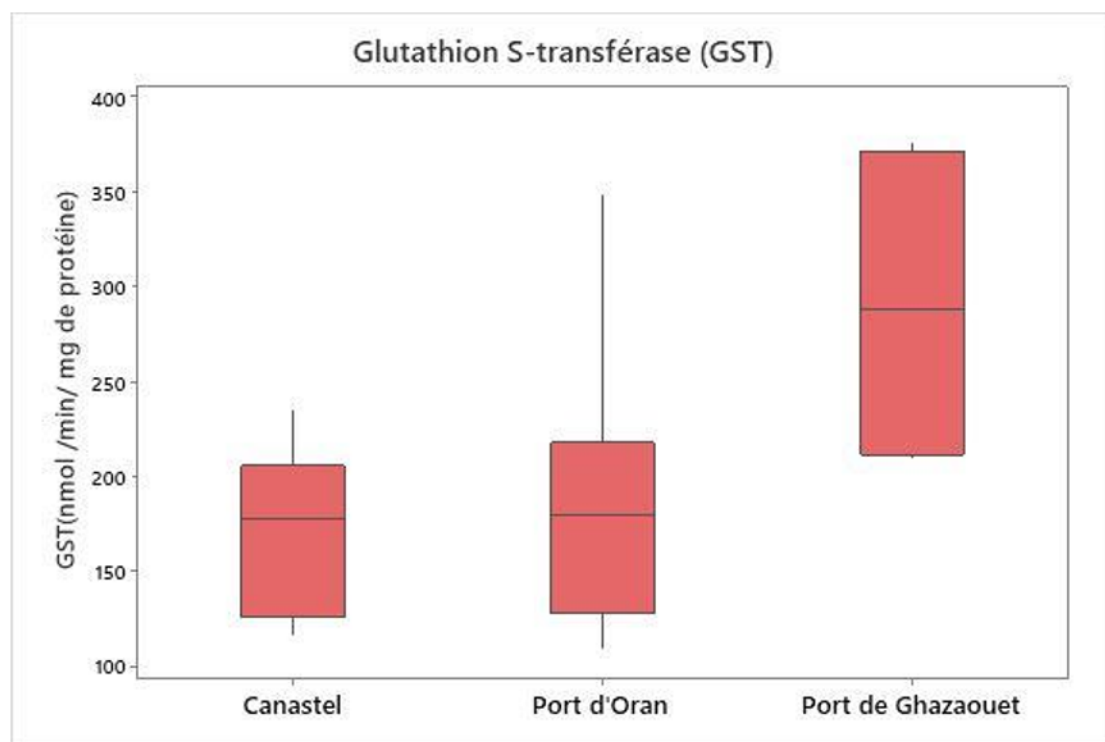
Indice	P-value	F
Valeur	0.038	4.16

## 1.4.2 Activité spécifique du glutathion S-transférase (GST)

Les résultats indiquent une différence significative dans les valeurs d'activité spécifique de GST entre les trois sites ( $p = 0.036$ ,  $F=2.44$ ).

En ce qui concerne les valeurs d'activité spécifique du GST, le site de Canastel présente une plage moyenne de 60 à 200 nmol/min/mg de protéine, tandis que le site du port d'Oran montre une plage moyenne légèrement élevée, allant de 60 à 220 nmol/min/mg de protéine. Le site de Ghazaouet affiche la plus haute moyenne, avec des valeurs d'activité spécifique allant de 220 à 370 nmol/min/mg de protéine.

Ces résultats suggèrent que le site du Port d'Oran a une activité spécifique légèrement plus élevée par rapport à Canastel en ce qui concerne le GST. Cependant le site de Ghazaouet présente des valeurs d'activité spécifique considérablement plus élevées (**Figure16**).



**Figure16.** Variation inter-sites de l'activité spécifique moyenne de GST.

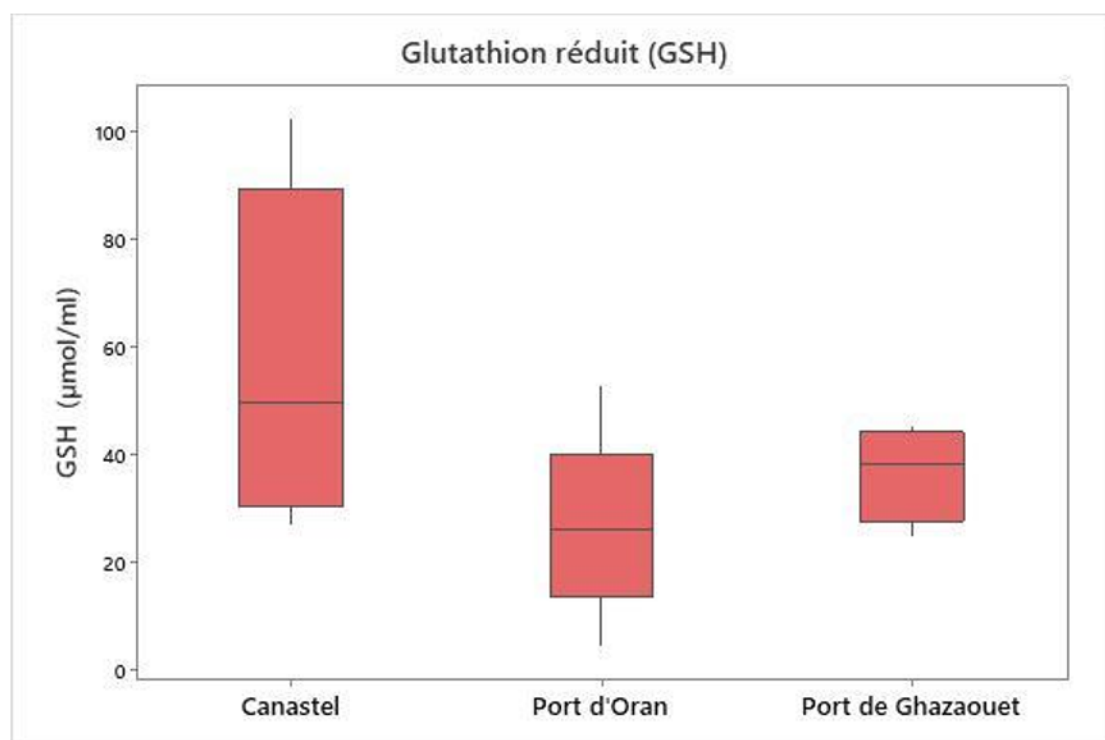
## Calcul ANOVA

Indice	P-value	F
Valeur	0.034	4.14

## 1.4.3 Glutathion réduit (GSH)

Les résultats de l'analyse ANOVA indiquent une différence statistiquement significative dans les concentrations mesurées pour les trois sites (Canastel, Port d'Oran et Ghazaouet) ( $p = 0.034$ ,  $F = 4.14$ ).

En ce qui concerne les concentrations du GSH (glutathion réduit), le site de Canastel présente la moyenne la plus élevée allant de 30 à 90  $\mu\text{mol/ml}$ . Le site de port d'Oran affiche une moyenne légèrement plus faible, allant de 18 à 40  $\mu\text{mol/ml}$ . Ainsi que, le site de Ghazaouet présente une moyenne allant de variant de 25 à 43  $\mu\text{mol/ml}$ . Ces résultats suggèrent que les sites de port d'Oran et port de Ghazaouet ont des concentrations similaires, tandis que le site de Canastel présente une concentration légèrement plus élevée (**Figure16**).



**Figure17.** Variation inter-sites de la concentration moyenne en GSH

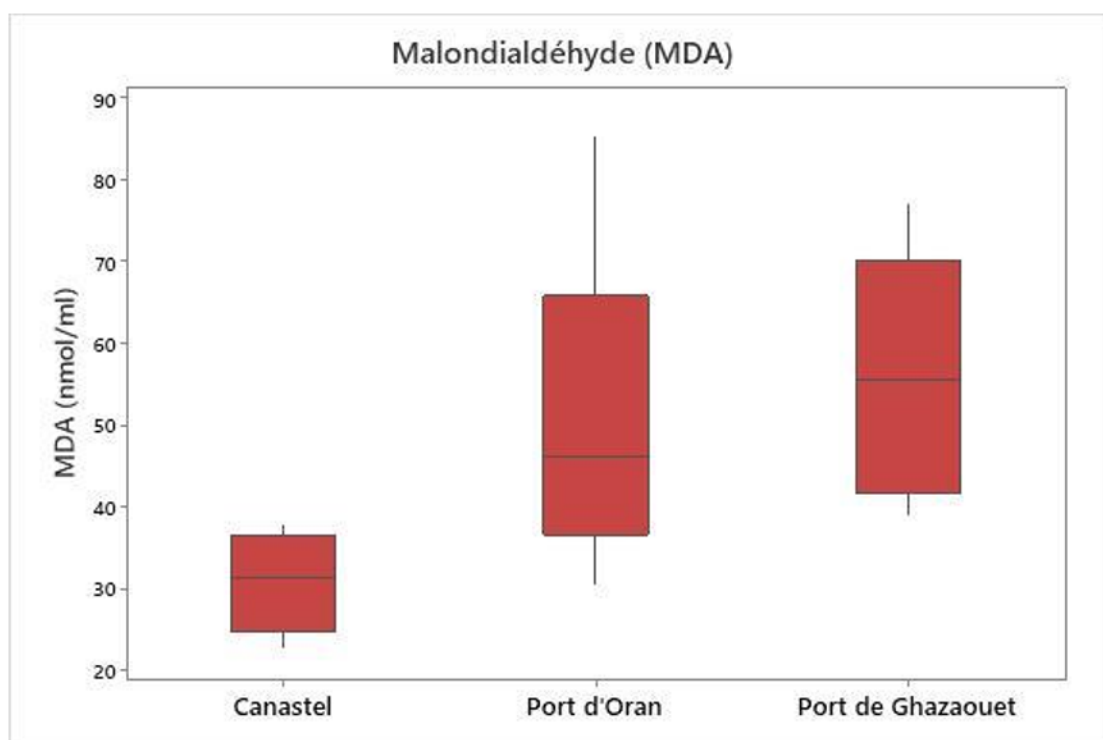
## Calcul ANOVA

Indice	P-value	F-value
Valeur	0.034	4.14

## 1.4.4 Malondialdehyde (MDA)

Les résultats de l'analyse ANOVA indiquent une différence statistiquement significative dans les concentrations mesurées pour les trois sites ( $p= 0.04$ ,  $F=3.62$ ). En ce qui concerne les concentrations du MDA, le site de Canastel présente une concentration moyenne plu faible allant de 25 à 35  $\mu\text{mol/ml}$ . Le site du port d'Oran affiche une moyenne plus élevée, allant de 35 à 68  $\mu\text{mol/ml}$ . En revanche, le site de du port de Ghazaouet présente une concentration similaire à celle de port d'Oran, avec des valeurs variant de 43 à 70  $\mu\text{mol/ml}$  (**Figure17**).

Ces résultats suggèrent que les sites du port d'Oran et port de Ghazaouet ont des concentrations potentiellement plus élevées par rapport à Canastel.



**Figure18.** Variation inter-sites de la concentration moyenne en malondialdéhyde (MDA).

### Calcul ANOVA

Indice	P-value	F
Valeur	0.04	3.62

## 2 Discussion générale

Les problèmes posés par la dispersion des polluants dans l'environnement ont suscité l'intérêt de la communauté scientifique depuis maintenant de nombreuses décennies. La prise de conscience de la nécessité de préserver les écosystèmes terrestres et aquatiques a ainsi fait poser certaines questions, notamment la transformation de ces polluants dans l'environnement ainsi que de leurs effets sur les communautés animales et végétales. Cependant, la compréhension de l'impact de cette pollution est limitée par la complexité de nombreux états (eau, sédiment, paramètre physicochimique de l'eau, les mouvements d'air).

**La température** est un facteur important qui contrôle le métabolisme des organismes, et elle peut affecter la toxicité des contaminants, tels que les métaux lourds, de plusieurs façons. La température peut influencer la physiologie des organismes ainsi que la chimie environnementale des métaux (**Cossins et Bowler, 1987**). Elle peut affecter les taux d'absorption, d'élimination et de biotransformation des contaminants chez un organisme aquatique. Par exemple, la toxicité peut augmenter à haute température en raison d'une augmentation du taux d'absorption, ou diminuer en stimulant la détoxification et l'élimination (**Lydy et al., 1999**).

Les résultats obtenus montrent que la température présente des variations au niveau de trois sites étudiés. Les résultats obtenus correspondent aux travaux réalisés au niveau du littoral d'Oran par **Bekada (2014)**, et aux résultats obtenues par Benguadda (2012) sur le littoral de Ghazaouet. D'après ces résultats on remarque que pour les trois sites la température est inférieure à la norme qui est 25°C (**Rodier, 2009**). La diminution de la température de l'eau de mer est due au climat qui influe sur la couche superficielle de la mer (**Rodier, 2009**).

**Le pH (potentiel hydrogène)** : Le pH de l'eau mesure la concentration des protons  $H^+$  contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les

carbonates et les bicarbonates (**Himmi et al., 2003**). Il est lié aux variations de la température, de la salinité, de l'oxygène dissous, du taux de CO<sub>2</sub> et des terrains traversés (**Ben Bouih, 2000**). Le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci est compris entre 5 et 9 (**Hceflcd, 2007**). Les données collectées ne montrent pas une variation importante entre les trois sites, et présente généralement des valeurs similaires, l'alcalinité des différents sites d'étude enseigne une bonne qualité du milieu pour la biodiversité et la production de la faune et de la flore aquatique. Ces résultats se concordent avec celles obtenues par **Bensahla et al. (2014)** et **Rouane-Hacene (2013)**.

**La salinité** : La salinité de l'eau de mer joue un rôle crucial dans de nombreux aspects environnementaux et biologiques. Elle influence la densité de l'eau, son point de congélation et de solidification, ainsi que la régulation osmotique des organismes marins. De plus, la composition chimique de l'eau de mer est modulée par la salinité, avec la présence d'ions tels que le sodium, le chlore, le magnésium et le calcium. Les écosystèmes marins sont également influencés par la salinité, car elle façonne la biodiversité et la répartition des espèces marines. Il est important de noter que la salinité varie d'une région à l'autre en raison de facteurs tels que l'évaporation, les précipitations, les apports en eau douce et les courants océaniques (**Smyth 2016**). La salinité joue un rôle dans la croissance et la reproduction des moules. Des conditions optimales de salinité sont essentielles pour leur taux de croissance, leur taille et leur succès reproducteur (**Tamadoni et al., 2018**). Les niveaux de salinité influencent l'absorption des nutriments, le métabolisme et le développement des gamètes chez ces moules. De plus, les variations de salinité peuvent induire des réponses au stress chez les moules. Une salinité élevée (conditions hyperosmotiques) ou une faible salinité (conditions hypoosmotiques) peuvent entraîner un stress physiologique, affectant leur fonction immunitaire et leur condition physique globale (**Husmann et al., 2014**). Les résultats obtenus à partir des mesures de la salinité effectués pendant la période d'étude ne montre pas une grande différence entre les trois sites d'étude. Ces observations sont en accord avec les travaux réalisés au niveau de la côte Oranaise par **Rouane-Hacene (2013)**, du site de Skikda par **Gueddah (2003)**, et de la baie d'Alger (**Bachari-Houma, 2011**).

**Matière en suspension (MES)** : Les limites de matière en suspension dans la Méditerranée varient en fonction de différents facteurs, tels que la localisation

géographique, la saison, les conditions météorologiques et les activités humaines. En général, les niveaux de matière en suspension peuvent être plus élevés près des embouchures des fleuves et des zones côtières densément peuplées, où il y a une plus grande influence des apports terrestres et des activités anthropiques (**Aurélie, 2013**).

Les éléments majeurs de matière en suspension (MES) dans l'eau de mer en Méditerranée comprennent des particules de sédiments, de la matière organique, des particules biologiques et des particules inorganiques. Ces éléments sont transportés par les courants marins et peuvent provenir de sources naturelles ainsi que d'activités humaines telles que les rejets industriels et les eaux usées. **OMS/PNUE** en 1995 fixent comme valeur limite pour les MES, dans les effluents liquides (ménagers, industriels et agricoles), une concentration de 35 mg/l. La valeur trouvée pour le port de Ghazaouet (74.5 mg/l) dépasse la norme et les teneurs en MES au niveau du port d'Oran et à plage de Canastele représentent des valeurs de 41.4 mg/l et 46.5 mg/l respectivement qui dépassent légèrement les normes.

**L'oxygène dissous** joue un rôle crucial dans les écosystèmes marins, car il est essentiel à la survie des organismes aquatiques. En Méditerranée, la concentration d'oxygène dissous peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la température de l'eau, la salinité et la productivité biologique. La limite minimale d'oxygène dissous acceptable pour la plupart des organismes marins est d'environ 4 à 5 mg/l (milligrammes par litre). En dessous de cette valeur, les organismes peuvent rencontrer des difficultés respiratoires, ce qui peut entraîner des effets néfastes sur leur survie et leur reproduction (**CCME, 1999**). Les niveaux enregistrés dans tous les sites de cette étude correspondent à la norme demandée.

**La demande biochimique en oxygène (DBO)** est une mesure utilisée pour évaluer la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation biochimique des matières organiques présentes dans l'eau. Les causes de la DBO dans l'eau sont principalement liées à la présence de matières organiques provenant de diverses sources. Cela peut inclure les eaux usées domestiques, les rejets industriels, les débris végétaux, les matières organiques en décomposition, les engrais agricoles et les pesticides. Lorsque ces matières organiques se décomposent, elles consomment de l'oxygène dissous dans l'eau, réduisant ainsi les niveaux d'oxygène disponibles pour les organismes aquatiques. Une DBO élevée peut avoir des conséquences néfastes sur les écosystèmes aquatiques.

Lorsque les niveaux d'oxygène dissous deviennent insuffisants en raison d'une demande excessive causée par une DBO élevée, cela peut entraîner une diminution de la biodiversité, une détérioration de la qualité de l'eau et la mort de certaines espèces aquatiques sensibles (**CDAEQ, 2014**). Le niveau de DBO dans les sites étudiés est inférieure à la concentration de O<sub>2</sub> dissous ce qui correspond à la norme.

**La conductivité** est une mesure de la capacité d'une substance, telle que l'eau, à conduire le courant électrique. Dans le contexte de l'eau, la conductivité est principalement influencée par la présence d'ions dissous, tels que les ions sodium, potassium, calcium et chlorure. Plus la concentration en ions est élevée, plus la conductivité de l'eau sera élevée. La conductivité de l'eau est couramment utilisée comme indicateur de sa salinité, qui est la mesure de la quantité de sel dissous. Dans les environnements marins, où la salinité est généralement plus élevée, la conductivité de l'eau sera également plus élevée. Cependant, la norme pour la conductivité de l'eau de mer est de 20 à 60 mS/cm (**Reinhard, 2007**). Les résultats trouvés dans notre étude ont été 41,4 mS/cm, 64,2 mS/cm et 46,5 mS/cm au port d'Oran, port de Ghazaouet et plage de Canastel respectivement, ce qui montre que le port de Ghazaouet présente une conductivité plus élevée et qui dépasse les normes.

**Paramètres biométriques :** Au large des côtes algériennes, le courant algérien (courant général des eaux atlantiques de Gibraltar vers l'est) (0,5 à 1 m/s) est contre un contre courant littoral qui est généré vers l'ouest (**Benzohra, 1993**). Ces faibles conditions énergétiques facilitent la mise en valeur de la chlorophylle disponible (**Sara et al., 2012**). L'hypothèse avancée est que l'accès facile à la nourriture et un moindre investissement métabolique dans les processus de protection (byssus et épaisseur de la coquille) en faveur de la production de chair (tissus mous). Cette particularité explique les moyennes de poids plus importants sur le site de Canastel. Les moyennes de longueur, largeur et hauteur sont significativement plus importantes et procurent le plus de volume pour contenir la quantité de chair produite exprimée en termes de poids. Ce cas de figure donne à penser que l'exposition hydrodynamique était la cause sous-jacente des différences dans la forme de la coquille, en réponse à l'augmentation du risque de délogement (**Gosline, 1992**). Cette particularité coquillière peut être expliquée par la taille supérieure qui réduit le risque de prédation au niveau des sites abrités (**Branch et Steffani, 2004**) et affectent la variation morphologique. Les ratios morphologiques (Largeur/Longueur) de site de Barbadjani démontrent des moyennes



inférieures au deux autres sites. Par contre le rapport Hauteur /Longueur et Hauteur/Largeur sont plus élevé au niveau de Canastel par rapport au autres sites. **Babarro et Carrington (2011)** ont observé que le ratio Hauteur/Largeur était réduit au niveau de site exposé « forçage hydrodynamique. . En effet, les coquilles étaient plus cylindriques (moins hautes et plus larges). Afin de réduire au minimum leur exposition à la force hydrodynamique (**Zardi et al., 2006**). Cette meilleure résistance ayant pour effet de réduire le risque de délogement dû à l'action des vagues (**Carrington, 2008**).

**L'indice de condition (IC)** évalue la quantité des tissus organiques dus à l'effet des fluctuations saisonnières sur la biologie et la physiologie des Mollusques, affectant le cycle biologique qui détermine la croissance ou la reproduction (**Rouane-Hacene, 2013**) en fonction de l'état d'équilibre entre la disponibilité en nourriture et les exigences métaboliques, accumulation puis émission de produits sexuels (**Gabbot et Walker, 1971**). Enfin, cet indice fournit facilement une image du cycle physiologique, sans recourir aux analyses ou aux mesures expérimentales. Le taux de croissance représente un indicateur intégré des conditions physiologiques chez les mollusques Bivalves. Les plus hautes valeurs de l'indice de condition (IC) sont généralement associées à des maxima de la maturation sexuelle. Les valeurs de l'indice de condition au niveau de Canastel ont les moyennes les plus élevées. En effet, les moules inféodés aux habitats protégés possèdent des valeurs d'état significativement plus élevées que sur les sites exposés. L'indice de condition (IC) peut être considéré comme un indicateur peu fiable pour détecter le stress chez les mollusques Bivalves (**Amiard et al., 2004**) car sa variabilité est liée aux fluctuations du cycle gamétogénétique / reproduction et de variations saisonnières de la disponibilité de la nourriture (**Boscolo et al., 2004**).

### **Biomarqueurs de stress**

**La catalase** joue un rôle essentiel dans la réponse au stress oxydant en éliminant le  $H_2O_2$ , un ROS potentiellement toxique. Elle agit en tandem avec d'autres enzymes antioxydantes pour protéger les cellules contre les dommages oxydatifs. Son activité complémentaire dans l'élimination du  $H_2O_2$  contribue à maintenir l'équilibre redox et à préserver l'intégrité cellulaire (**Vidal-Linan et al., 2010**). L'augmentation de l'activité de la catalase en réponse à la production accrue de radicaux libres et qui est un puissant agent oxydant l' $H_2O_2$ , représente un mécanisme de protection adaptatif de l'organisme contre les effets néfastes du stress oxydatif. En accélérant la décomposition de l' $H_2O_2$

en eau et en oxygène (**Nadji et al., 2010**). Effectivement, des études ont rapporté une augmentation de l'activité de la catalase chez certaines espèces marines, telles que la moule *Perna perna*, le copépode *Centropages ponticus* et la moule *Mytilus galloprovincialis*, suite à une exposition aux métaux lourds. (**Brahim et al., 2014**; **Boudjema et al., 2014**). Cependant, d'autres études ont montré que l'exposition à certains pesticides, tels que les insecticides organophosphorés et les herbicides à base de glyphosate, peut induire une augmentation de l'activité de la catalase (**Benali et al., 2016**). Pour nos résultats, l'activité de la catalase a été élevée au niveau du port de Ghazaouet et du port d'Oran par rapport au site de référence plage de Canastel ce qui suggère une exposition des moules aux différentes sources de pollutions.

**Le glutathion réduit (GSH)** est un tripeptide thiol ( $\gamma$ -glutamylcystéinyglycine) synthétisé de manière endogène, et il présente d'importantes propriétés biochimiques. Le GSH joue un rôle essentiel en tant qu'antioxydant grâce à ses deux fonctions principales :

- 1)- En présence d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), le thiol du GSH subit une oxydation, ce qui entraîne la formation de glutathion oxydé (GSSG).
- 2)- Le GSH sert de substrat à des enzymes telles que la glutathion peroxydase (GPX), qui utilise le GSH comme agent réducteur pour éliminer les peroxydes (**Franchi et al., 2012**).

Plusieurs travaux aident à mieux expliquer la relation entre la diminution du taux de GSH et le niveau de contamination du milieu; ceci a été observé par **Gorbi et al. (2008)** chez *M. galloprovincialis* transplantée en mer adriatique et exposée à des sédiments pollués par les ETM, et par **Sifi et al. (2013)** chez *D. trunculus*.

Les individus du port d'Oran qui présentent le taux le plus bas en GSH. Ce site est soumis à de nombreux rejets permanents d'origine urbaine, industrielle et portuaires. La diminution des taux de GSH indique clairement la sollicitation des voies de détoxification GSH dépendante dont le but est la réduction des peroxydes en alcools primaires non toxiques

**Les glutathion S-transférases** sont des familles d'enzymes multifonctionnelles qui jouent un rôle crucial dans les organismes vivants. Leur importance a été démontrée dans la défense contre le stress oxydatif induit par les xénobiotiques, tels que les

substances étrangères à l'organisme (**Park et al., 2020**). La GST, une enzyme de phase II, agit comme un détoxiquant en catalysant la conjugaison du glutathion réduit (GSH) avec divers xénobiotiques, en utilisant le cystéine thiol (**Won et al., 2011**). Cette réaction de conjugaison facilite l'élimination des xénobiotiques du corps.

Les résultats trouvés au cours de notre étude montrent une augmentation de l'activité de GST des moules du port de Ghazaouet par rapport à celle de port Oran et plage de canastel. Des études ont montré une augmentation significative de l'activité de la GST après une exposition à des concentrations élevées de cadmium (**Won et al., 2011**) et de cuivre (**Won et al., 2012**). Ces résultats suggèrent que l'activité de la GST est stimulée en réponse à la présence de ces métaux lourds, probablement dans le but de neutraliser leurs effets toxiques. Plusieurs autres études ont montré une activité de la GST plus élevée chez les organismes provenant de sites pollués que chez ceux provenant de sites de référence (**Bouzenda et al., 2017 ; Mejdoub et al., 2017**).

La **malondialdéhyde (MDA)** est une substance toxique produite suite à l'augmentation des espèces réactives de l'oxygène (**Zhang, 2020**). Notre étude a montré une élévation importante du niveau de MDA pour les moules de site de port Ghazaouet et port Oran par rapport au site de Canastel. L'élévation du niveau de MDA en présence de métaux lourds indique que la toxicité de ces polluants est associée à une stimulation de la formation d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), ce qui entraîne le développement du stress oxydatif (**Sinegovskaya et al., 2020**). Des chercheurs ont également observé une augmentation du MDA chez la palourde *Donax trunculus* prélevée dans un site contaminé par des polluants domestiques et industriels dans le golfe d'Annaba, à l'Est de l'Algérie (**Soltani et al., 2012**). Cette constatation met en évidence l'effet des polluants sur la formation de MDA et le stress oxydatif chez cette espèce. Une étude menée sur le bivalve *Perna perna* a révélé une augmentation du taux de MDA même à de faibles concentrations de cuivre (**Brahim Errahmani et al., 2014**).

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

L'objectif de ce mémoire était le diagnostic de l'état de santé de la zone côtière de l'Ouest Algérien en mettant en valeur les potentialités du Mollusque Gastéropode bivalves *M. galloprovincialis* en tant qu'espèce sentinelle utilisable pour la surveillance de la pollution du milieu marin. L'utilisation d'une approche multi-marqueurs basée sur le suivi des indices biologiques, morphométriques et biochimiques chez cette espèce au niveau de trois sites du littoral Ouest Algérien : Port de Ghazaouet, Port d'Oran et un site de référence Canatel.

D'une manière générale, l'ensemble des résultats reflètent des variations inter-sites significatives des différents paramètres mesurés.

Les biomarqueurs mesurés sont des paramètres sensibles et inductibles, leur variation chez les moules *M. galloprovincialis* peut être expliquée par la combinaison de deux facteurs majeurs ; un facteur abiotique qui englobe le changement des conditions environnementales (température, salinité ...) et un deuxième facteur biotique qui concerne l'état physiologique de ce gastéropode sur chacun des sites étudiés.

La réponse des différents biomarqueurs étudiés résulterait d'une part, des perturbations anthropiques (rejets urbains, industriels et agricoles) et d'autre part de la localisation du site et de son hydrodynamisme.

Les avantages de l'utilisation de plusieurs biomarqueurs dans cette étude résident dans leur complémentarité et leur capacité à fournir une évaluation globale du stress et de la santé des moules. Cette approche multidimensionnelle a offert une base de donnée à analyser.

Les résultats de cette étude peuvent être utilisés comme base pour le développement des stratégies de gestion environnementale visant à réduire la pollution et à préserver la santé des bivalves marins. À l'issue de ce travail, *M. galloprovincialis* a permis de communiquer une vision réaliste de la qualité chimique de l'ensemble des milieux étudiés, elle pourrait constituer un organisme sentinelle modèle tout à fait satisfaisant dans le cadre d'une approche multibiomarqueurs pour la surveillance de la pollution métallique au milieu côtier méditerranéen.

Cette étude ouvrent de nouvelles perspectives de recherche qui méritent d'être explorées.

## Conclusion générale

---

1. Évaluer des variations saisonnières des biomarqueurs de stress chez les bivalves marins.
2. Étudier les variations des biomarqueurs en conditions contrôlées au laboratoire (essais permettant d'identifier les niveaux d'exposition sans dangers ou au contraire associés à l'apparition d'effets indésirables réversibles ou non). En effet, la réalisation d'études sous conditions contrôlées pourrait permettre une meilleure compréhension des interactions biomarqueurs-contaminants et de leur prise en compte dans l'interprétation des résultats obtenus in situ.
3. Évaluer l'effet des contaminants chimiques sur notre espèce par l'étude des biomarqueurs de génotoxicité (test des comètes, test des micronoyaux).
4. Proposer un modèle de classification des biomarqueurs sous forme d'indices écotoxicologiques pour l'évaluation du potentiel de risque des sites côtiers, afin de pouvoir cartographier le gradient de pollution sur le littoral d'Ouest Algérien.

## **Références bibliographiques**

**Reference bibliographique**



## Reference bibliographique

---

- Amiard J.C., Bacheley H., Barillé A. L., Barillé L., Geffard A., & Himery N.** (2004). Temporal changes in nickel and vanadium concentrations and in condition index and metallothionein levels in three species of molluscs following the “Erika” oil spill. *Aquatic Living Resources*, 17(3), 281-288.
- Aminot, A., & Kérouel, R.** (2004). Dosage automatique des nutriments dans les eaux marines : méthodes en flux continu (3e éd.). Ifremer.
- Andrady, A. L.** (2017). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 12-22.
- Andral, B., & Alzieu, C.** (2004a). Culture et élevage des moules : techniques et méthodes. Ifremer.
- Andral, B., & Alzieu, C.** (2004b). Manuel de procédures pour le suivi des moules marines de Méditerranée. IFREMER.
- Babarro J.M.F., Carrington E.** (2011). Byssus secretion of *Mytilus galloprovincialis*: effect of site at macro- and micro-geographical scales within Ría de Vigo (NW Spain). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 435 : 125–140
- Bachari-Houma, F.** (2011). Monitoring et étude de la pollution dans les eaux marines et les sédiments superficiels de la côte algéroise: modélisation et impact sur l’environnement. Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l’Aménagement du Littoral, 23
- Bacher, C., et al.** (2018). The blue mussel *Mytilus galloprovincialis* in the northeastern Atlantic: A distinct phylogeographic pattern reveals glacial refugia. *Marine Biology*, 165(12), 185.
- Banaigs, B., & Lefevre, Y.** (2008). Bivalves as indicators of coastal eutrophication: Long-term monitoring in the Thau Lagoon, French Mediterranean coast. *Marine Pollution Bulletin*, 56(8), 1421-1431.
- Battiston, A., Binelli, A., Provini, A., & Benedetti, M.** (2018). Marine Pollution in the Mediterranean Sea: The Need for a Plan. *Frontiers in Marine Science*, 5, 420. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00420>
- Bekada D.E.** (2014). La pêche et ses statistiques : Cas des ports de Beni Saf, Bouzedjar, Oran, Arzew et Mostaganem. Mémoire de Magister. Université d’Oran 1, pp87.
- BELAID N.** (2010). Evaluation des impacts de l’irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d’El Hadjeb- Sfax : salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques. Thèse Doctorat. Université de Sfax.

## Reference bibliographique

---

- Ben Bouih, H.**, (2000). Contribution à l'évaluation de la pollution métallique des zones humides de la région du Gharb, cas du lac Fouarat. Thèse de Doctorat, Université Ibn Tofail, kénitra, 200
- Ben Khemis, I., El Bour, M., Gharred, T., El Cafsi, M., & Aïssa, P.**,(2016). Differential bioaccumulation of heavy metals in bivalves from the Gulf of Gabes (Tunisia) and their impact on biochemical parameters. *Marine Pollution Bulletin*, 105(1), 345-354.
- Ben Khemis, I., Hassen, D., Bouzidi, N., & Aïssa, P.**, (2016). Antioxidant enzymes activities and lipid peroxidation in the freshwater bivalve *Unio crassus* (Philipsson, 1788) as biomarkers of environmental pollution. *Environmental monitoring and assessment*, 188(4), 226.
- Ben Khemis, I., Louiz, I., Dellali, M., Aïssa, P., & Aïssa, M. B.**, (2016). Assessment of pollution in Bizerte Lagoon (Tunisia) using biochemical markers in the clam *Ruditapes decussatus*. *Marine Environmental Research*, 113, 17-24.
- Benali, I., Boutiba, Z., Merabet, A., Chèvre, N.**, (2015). Integrated use of biomarkers and condition indices in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) for monitoring pollution and development of biomarker index to assess the potential toxic of coastal sites. *Mar. Pollut. Bull.* 95(1), 385-394.
- Benzohra M.** (1993). Les structures hydrodynamiques le long des côtes Algériennes. Centre d'Océanologie de Marseille, 33
- Bocchetti, R., Fattorini, D., Macchia, S., Benedetti, M., d'Errico, G., & Regoli, F.**,(2018). Multi-biomarker approach for evaluating the impacts of farming activities on the health status of *Mytilus galloprovincialis*. *Marine Environmental Research*, 139, 38-47.
- Bodeanu, N., Diaconu, C. E., Dinu, C., & Udriou, I.**, (2014). Ecological risks assessment in the context of marine pollution. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 15(3), 945-954.
- Boscolo R., Pan H., & Roychowdhury V. P.** (2004). Independent component analysis based on nonparametric density estimation. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 15(1) :55-65
- 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.

## Reference bibliographique

---

- Bouzenda, R., Soltani N., Khebbeb, M.E.H.,** (2017). Assessment of pollution in the Gulf of Annaba (Algeria) by monthly measurements of two biomarkers in a fish species *Liza aurata*. *J. Entomol. Zool. Stud.* 5(1), 366-372.
- Bradford, M. M,** (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- 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), 1–9.
- Branch G. M., Steffani C. N.** (2004). Can we predict the effects of alien species? A case history of the invasion of South Africa by *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 300 (1–2): 189–215. doi:10.1016/j.jembe.2003.12.007.
- Carrington E., Moeser G.M., Thompson S.B., Coutts L.C., Craig C.A.** (2008). Mussel attachment on rocky shores: the effect of flow on byssus production. *Integr. Comp. Biol.* 48, 801–807.
- CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC,** (2014), Détermination de la demande biochimique en oxygène : méthode électrométrique, MA. 315 – DBO 1.1, Rév. 3, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, p 11
- Chambre de Commerce et d'Industrie de Tlemcen,** "Présentation de la région de Tlemcen", <http://www.cci-tlemcen.dz/fr/tlemcen/decouvrir-la-region-de-tlemcen>
- Coelho, J. P., Gravato, C., Cardoso, P. G., Diniz, M. S., & Santos, M. M,** (2017). Differential response of oxidative stress and genotoxicity biomarkers in mussels, *Mytilus galloprovincialis*, exposed to nanosized titanium dioxide and bulk sediments. *Environmental Pollution*, 223, 412-420.
- Comeau, L. A., et al,** (2019). Role of bivalve molluscs in marine ecosystems: Advances in understanding their physiology, interactions with other organisms, and response to global climate change. In *Advances in Marine Biology* (Vol. 82, pp. 1-83). Elsevier.
- Cossins, A. R., & Bowler, K,** (1987). *Temperature biology of animals.* Chapman and Hall. P 500-507
- Cossu, C., A. Doyotte, M.-C. Jacquin, P. Vasseur,** (1997). Mécanismes de formation et effets des espèces réactives de l'oxygène, dans L. Lagadic et al. (ed), *Biomarqueurs en écotoxicologie*, Paris, Masson, p. 125-148.

## Reference bibliographique

---

**Das et al**, (2017). Assessment of oxidative stress and biomarker responses in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) exposed to environmentally relevant concentrations of heavy metals. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(11), 10780-10793.

**Davenport, John & Anderson, Timothy & Pratchett, Marie & Currie, Duncan & Braithwaite, Richard & Smith, Terence**, (2005), A practical guide to the dissection of the mussel (*Mytilus edulis*), *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, p 1519-1525

**Del Rio, D., et al**, (2005). Dietary (poly)phenolics in human health: Structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases. *Antioxidants & Redox Signaling*, 7(9-10), 1769-1802.

**Dittmar, W**, (1884). Ueber die Zusammensetzung des Meerwassers. *Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 34(1), 445-462.

**El Bour, M., El Cafsi, M., El Menif, N. T., & Aleya, L**, (2015). Use of biomarkers in mussels, *Mytilus galloprovincialis*, as indicators of heavy metal pollution in Bizerte Lagoon, Tunisia. *Environmental monitoring and assessment*, 187(7), 440.

**Esterbauer, H., et al**, (1991). Free radicals and oxidative stress: Chemistry, biology, and medicine. *Biochemical Journal*, 286(Pt 2), 313-320.

**Falfushynska, H., Gnatyshyna, L., & Sokolova, I**, (2019). Glutathione in thermally stressed *Unionidus* (*Bivalvia*: *Unionidae*): the role of glutathione peroxidase and glutathione reductase. *Hydrobiologia*, 830(1), 109-122.

**FAO**, (2003). Food and Agriculture Organisation. L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation, 73 p.

**Feistel, R., et al**, (2010). Thermodynamic consistency of the International Association for the Properties of Water and Steam industrial formulation IAPWS-IF97 for the thermodynamic properties of seawater. *Ocean Science*, 6(3), 781-790.

**Ferrante, M. C., Copat, C., & Signorelli, C**, (2014). Trace metals in sea water and mussels from Augusta Bay (Sicily): levels and possible health risk. *Journal of preventive medicine and hygiene*, 55(2), 59.

**Fisheries Science Ed Amsterdam, Elsevier, Amsterdam 25: 1-20.**

**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.

**Fritsch, E., et al**, (2020). Bivalve mollusks as bioindicators of environmental pollution in coastal waters: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(19), 22945-22963.

## Reference bibliographique

---

- Gabbott P. A. & Walker A. J. M.** (1971). Changes in the condition index and biochemical content of adult oysters (*Ostrea edulis* L.) maintained under hatchery conditions. *Journal du Conseil*. 34 : 99–106
- Galgani, F., Hanke, G., & Werner, S.** (2013). Marine litter within the Mediterranean Sea: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 76(2), 225-246
- Gomoiu, M. T., & Gomoiu, M.** (2004). Bivalve mollusc culture in the Black Sea: present status and perspectives. *Aquaculture International*, 12(6), 539-558.
- Gonzalez-Fernandez, C., Bebianno, M. J., Mattos, J. J., & DelValls, T. A.** (2016). Study of antioxidant defense system and DNA damage in the clam *Ruditapes decussatus* with exposure to dispersed oil. *Science of the Total Environment*, 565, 539-549.
- Gonzalez-Fernandez, C., Gesto, M., Beiras, R., & Vieites, J. M.** (2016). Biomarkers in the razor clam *Ensisarcuatus* as indicators of exposure to metals and organic pollutants. *Ecological Indicators*, 60, 428-438.
- Gorbi, S., Virno Lamberti, C., Notti, A., Benedetti, M., Fattorini, D., Moltedo, G., Regoli, F.** (2008). An ecotoxicological protocol with caged mussels, *Mytilus galloprovincialis*, for monitoring the impact of an offshore platform in the Adriatic Sea. *Mar. Environ. Res.* 65(1), 34-49
- Gosling E.** (1992). Systematics and geographic distribution of *Mytilus*. In: *The mussel*
- Grasshoff, K., Kremling, K., & Ehrhardt, M.** (2009). *Methods of seawater analysis*. John Wiley & Sons.
- Gueddah D.** (2003). Evaluation de la pollution industrielle et urbaine dans la region de Skikda : impact sur l'écosystème marin côtier. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences de la Mer, Université Badji Mokhtar, Annaba, 145.
- Gulf of Maine Council on the Marine Environment**, (1992). *Water quality guidelines for the protection of marine life: Mytilus edulis (blue mussel)*. The Gulf of Maine Council on the Marine Environment.
- Hceflcd (Haut Commissariat Aux Eaux et Forêt et la Lutte Contre la Désertification)**, (2007). Etude diagnostique de la zone humide AL Massira- Faija, cercle d'EL Brouj et Cercle de Settat (Maroc), 242
- Himmi, N., Fekhaoui, M., Foutlane, A., Bouchich, H., El Maroufy, M., Benazzou, T., Hasnaoui, M.** (2003). Relation plancton descripteurs physique et

## Reference bibliographique

---

chimique dans un bassin de maturation (Lagunage Mixte Ben Slimane - Maroc). Riv. Idrobiol. Perugia 42(1-3), 107-129.

**Hoegh-Guldberg, O., et al**, (2019). The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. In IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (pp. 1-95). Intergovernmental Panel on Climate Change.

<http://www.omare.pt/>

**Husmann G, Abele D, Rosenstiel P, Clark MS, Kraemer L, Phi-lipp EER**, (2014) Age-dependent expression of stress and antimicrobial genes in the hemocytes and siphon tissue of the Antarctic bivalve *Laternula elliptica* exposed to injury and starvation. Cell Stress and Chaperones 19:15–32.

**IOC, SCOR, and IAPSO**, (2010). The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides No. 56. UNESCO.

**Jacobsen, T. R., & Knudsen, O.**, (1940). The practical determination of salinity in sea and brackish water. Marine Research, 3, 1-14.

**Jefferies, A., Kappel, K., & Hopkins, G**, (2003). Condition indices and their relationship to growth in the green-lipped mussel *Perna canaliculus*. Aquaculture, 221(1-4), 433-446.

**Kantin, R., Pergent, G.**, (2004). Groupement de recherche. Gestion des écosystèmes littoraux méditerranéens. Rapport octobre 2004. IFREMER, p. 156.

**Kehrig, H. A., Seixas, T. G., Barbosa, L. A., Fillmann, G., & Di Benedetto, A. P.**, (2018). Organic pollution and its effects on the marine environment of the Rio de Janeiro State coast, southeastern Brazil. Environmental Monitoring and Assessment, 190(4), 210.

**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. 46–52

**Lacroix, C., Coquillé, V., & Baudrimont, M**, (2018). Enzymatic biomarkers as tools to assess environmental stress in bivalves. In Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 243 (pp. 95-129). Springer, Cham.

**Lacroix, C., Haberkorn, H., Hégaret, H., & Le Goïc, N**, (2018). Biomarkers in marine bivalves to assess the effects of pollution: a review. Marine pollution bulletin, 135, 388-400.

**Lamarck J.-B. M**, (1819). Histoire naturelle des animaux sans vertèbres. Tome 6(1): vi + 343. Paris: published by the author., available online at <http://www.biodiversitylibrary.org/item/47441>

## Reference bibliographique

---

**Lamarck, J.B.P.A.**, (1819). Histoire naturelle des animaux sans vertèbres. Tome 6, p. 148. Paris : Verdière.

**Langston, W. J., et al**, (2011). Bivalve biomarkers in environmental monitoring. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400(1-2), 158-166.

**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. 181-189.

**Leung, K. M. Y., et al**, (2017). Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorine pesticides (OCPs) in wild and farmed mollusks in Hong Kong mariculture zones. *Marine Pollution Bulletin*, 124(2), 679-686.

**Lubet, and Aloui**, (1987). Limites létales thermiques et action de la température sur la gaméto-genèse et l'activité neurosécrétoire chez la moule (*M. edulis* et *M. galloprovincialis*), mollusque bivalve. *Haliotis* 16, p. 309-316.

**Lushchak V. I.**, (2012). Glutathione Homeostasis and Functions: Potential Targets for Medical Interventions. *Journal of Amino Acids*. 2012 (736837). 26 P.

**LYDY, M. J., BELDEN, J. B., & TERNES, M. A.** (1999). Effects of temperature on the toxicity of M-parathion, chlorpyrifos, and pentachlorobenzene to *Chironomus tentans*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 37(4), 542-547. <https://doi.org/10.1007/s002449900550>

**Mcdonald, J. & Koehn, R.** (1991). Allozymes and morphometric characters of 3 species of *Mytilus* in the Northern and Southern hemispheres. *Mar. Biol.* 111, pp. 323-333.

**Mejdoub, Z., Fahd, A., Loutfi, M., Kabine, M.,** (2017). Oxidative stress responses of the mussel *Mytilus galloprovincialis* exposed to emissary's pollution in coastal areas of Casablanca. *Ocean Coast. Manag.* 136, 95-103.

**Millero, F. J.** (2006). *Chemical Oceanography* (4th ed.). CRC Press. (ISBN: 978-0849331493)

**Ministère des Travaux Publics et des Transports (MTPT)**, "Ports d'Algérie", <http://www.mtpt.gov.dz/fr/ports-algerie>

**Morand J.**, (2017) Dysfonction cardiovasculaire et arythmies ventriculaires de l'ischémie-reperfusion : effets délétères de l'hypoxie intermittente et protecteurs de la supplémentation en zinc. Médecine humaine et pathologie. Université Grenoble Alpes, Français. <NNT : 2017GREAV015>

**Mouna, O, Chouba, L., &Boulila, S.,** (2020). Impact of organic pollution on the quality of the sea water and sediments along the coast of Sfax (Tunisia). *Environmental Science and Pollution Research*, 27(18), 23321-23334.

### **Mytilus: ecology, physiology, genetics and culture. Developments in Aquaculture and**

**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. 43.

**Narváez-Mata et al.**, (2020). "Proteomic response of *Mytilus galloprovincialis* exposed to a mixture of environmental contaminants." *Science of the Total Environment*, 717, 137115.

**National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)**, (2021). Oil Spills. Retrieved from <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills>.

**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.

**Office National de la Navigation (ONN)**, "Présentation des ports", <http://www.onn.dz/fr/les-ports/presentation>

**Oliver, J., & Massutí, E.** (2019). Advances in research on Mediterranean bivalve fisheries. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 27(1), 1-16.

**OMS-IPCS**, (1998). Environmental Health Criteria n°200: copper, World Health Organisation, International Programme on chemical safety.

<http://www.inchem.org/fullist.htm>.

**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.

**Pichard A., Bison M., Diderich R., Doomaert B., Lacroix G., Lefevre J. P.,**

**Leveque S., Magaud H., Morin A., Oberon D., Pepin G., Tissot S.**, (2005) -

Cadmium et ses dérivés. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques- INERIS, P60.

**PNUE/PAM.**, (2004) Programme des nations unies pour l'environnement. Plan d'action pour la méditerranée PAM, MEDPOL. Lignes directrices pour l'élaboration d'indicateurs d'état écologique et de réduction de stress. N° 154 de la série de rapport techniques de PAM.

**Rainbow, P. S.** (2015). Metal uptake and accumulation in marine invertebrates. In *Metal Ecotoxicology* (pp. 67-107). Academic Press.



## Reference bibliographique

---

**Rainbow, P.S.**, (2007). Biomarkers in marine organisms: issues and challenges, and directions for future research. In *Biomarkers: Biochemical, Physiological, and Histological Markers of Anthropogenic Stress* (pp. 1-14). CRC Press.

**Regoli, F.**, (2000). Total oxyradical scavenging capacity (TOSC) in polluted and translocated mussels: a predictive biomarker of oxidative stress. *Aquat. Toxicol.* 50 : 351-361

**Ribera d'Alcalà, M., Civitarese, G., Conversano, F., Lavezza, R., & Yohannes, E.**, (2017). *The Mediterranean Sea: Its history and present challenges*. Springer International Publishing.

**RNO** (Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin) en 2006.

**Rocco, L., Carginale, V., & Stingo, V.**, (2013). Zinc exposure induces oxidative stress and immunotoxicity in mussel *Mytilus galloprovincialis* (Lam.). *Chemosphere*, 92(6), 688-696.

**Rodier, J.**, (2009). *L'analyse de l'eau*, 9e édition. DUNOD (éditeur), Paris, France, 1579

**Rouane-Hacene, O.**, (2013). *Biosurveillance de la qualité des eaux côtières du littoral occidental Algérien par la suivi des indices biologiques et la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pd, Cd) chez la moule Mytilus galloprovincialis et l'oursin Paracentrotus lividus*. Thèse de doctorat, Option : science de l'environnement. Université d'Ahmed Ben Bella. Oran. Algérie. 295

**Rouane-Hacene, O.**, (2013). *Biosurveillance de la qualité des eaux côtières du littoral occidental Algérien par la suivi des indices biologiques et la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pd, Cd) chez la moule Mytilus galloprovincialis et l'oursin Paracentrotus lividus*. Thèse de doctorat, Option : science de l'environnement. Université d'Ahmed Ben Bella. Oran. Algérie. 295

**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.

**Sara G., Reid G. K., Rinaldi A., Palmeri V., Troell M., Kooijman S. A. L. M.** (2012). Growth and reproductive simulation of candidate shellfish species at fish cages in the southern Mediterranean: dynamic energy budget (DEB) modelling for integrated multitrophic aquaculture. *Aquaculture* 324– 325, 259–266.

## Reference bibliographique

---

- 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. 28–32.
- Sogeports** (2008). Fiche de présentation de l'entreprise (port de Ghazaouet). Société de gestion des participations ports ; Alger. 6 p. <http://www.sogeports.com>
- 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.
- Sørensen, S. P. L.** (1902). Über die Bestimmung der Salinität des Meeres und der damit verbundenen Aufgaben. *Meddelelser fra Kommissionen for Havundersøgelser, Serie Hydrografi*, 3(2), 1-52.
- Sverdrup, H. U., Johnson, M. W., & Fleming, R. H.** (2012). *The oceans: their physics, chemistry, and general biology*. Prentice Hall.
- Tamadoni Jahromi S, Barzkar N.** (2018) Future direction in marine bacterial agarases for industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology* 102: 6847–6863
- Trenfield, M. A., Hosegood, P. J., & Evans, S. M.** (2018). Biomineralisation of *Mytilus edulis* and *Mytilus galloprovincialis* shells in acidified seawater: Insights from field transplantation experiments. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 471-481
- Tsiola, A., Pitta, P., Mandalakis, M., Karakassis, I., & Tsapakis, M.** (2017). Marine litter in bottom trawls off the Greek coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 628-633.
- Uchiyama, M., Mihara, M.** (1978). Determination of malondialdehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test. *Anal. Biochem.* 86, 271-280.
- UNESCO**, (2010). *The International Thermodynamic Equation of Seawater - 2010: Calculation and Use of Thermodynamic Properties*. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides No. 56. (ISBN: 978-9231041903)
- Ünlü, S., & Erdogan, A.** (2018). The pollution of the Mediterranean Sea: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(19), 18049-18065.
- 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
- Waheed, A., & Fatima, T.** (2016). A review on protein quantification methods. *African Journal of Biotechnology*, 15(18), 707-714.

## Reference bibliographique

---

**Weckbecker, G., Cory, J.G.,** (1988). Ribonucleotide reductase activity and growth of glutathione- depleted mouse leukemia L 1210 cells in vitro. *Cancer Lett.* 40, 257-264.

**Wei et al.,** (2017). "Proteomic and metabolomic responses of clam *Ruditapes philippinarum* to arsenic exposure under different salinities." *Science of the Total Environment*, 580, 1087-1097.

**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. 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. 344-351

**Wu, H., Wu, Y., Zhou, L., & Chen, L,** (2018). Acute toxicity and bioaccumulation of cadmium and mercury in *Scapharca subcrenata*, and its potential use as a bioindicator in the coastal environment. *Environmental pollution*, 237, 734-742.

[www.portdeghazaouet.com](http://www.portdeghazaouet.com)

**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. 133-137.

**Zardi G. I., Nicastro K. R., McQuaid C. D., Rius M., Porri F.** (2006).

Hydrodynamic stress and habitat partitioning between indigenous (*Perna perna*) and invasive (*Mytilus galloprovincialis*) mussels: constraints of an evolutionary strategy. *Mar. Biol.* 150: 79–88.

**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. 9-15.

# **ANNEXES**

## Annexes

### FICHE D'ÉCHANTILLONNAGE

<b>Référence station</b>	Site : port d'Oran	Code :
<b>Coordonnées</b>	Latitude : N 35° 41' 51.555"	Longitude : W 0° 38' 1.455"
<b>Etat du temps</b>	Ensoleillé <input checked="" type="checkbox"/> Peu nuageux    Très nuageux    Pluvieux	
	Type de nuage :	Précipitations :
	Direction du vent :	Vitesse du vent :
<b>Etat de la mer</b>	Très calme    Calme <input checked="" type="checkbox"/> Peu agitée    Agitée    Très agitée	
	<b>Houle</b>	<b>Courants</b>
	Direction : Hauteur : Période :	Direction : Vitesse :
<b>Paramètres physicochimiques &amp; biologiques</b>	Température (°) :	pH :
	Salinité (‰) :	O <sub>2</sub> dissous (mg/l ; %) :
	Turbidité (NTU) :	biologiques
<b>Références de l'échantillon</b>	Nature : Moules	Espèce : Mytilus galloprovincialis
	Date du prélèvement : 13/03/2023	Heure du prélèvement : 8 H
	Profondeur (hauteur d'eau)	Nature du substrat

## ANNEXES

<b>Référence station</b>	Site : port ghazaouet	Code :
<b>Coordonnées</b>	Latitude : N 35° 6' 00"	Longitude : W 1° 52' 21"
<b>Etat du temps</b>	Ensoleillé <input checked="" type="checkbox"/> Peu nuageux    Très nuageux    Pluvieux	
	Type de nuage :	Précipitations :
	Direction du vent :	Vitesse du vent :
<b>Etat de la mer</b>	Très calme    Calme <input checked="" type="checkbox"/> Peu agitée    Agitée    Très agitée	
	<b>Houle</b>	<b>Courants</b>
	Direction :	Direction :
	Hauteur :	Vitesse :
	Période :	
<b>Paramètres physicochimiques &amp; biologiques</b>	Température (°) :	pH :
	Salinité (‰) :	O <sub>2</sub> dissous (mg/l ; %) :
	Turbidité (NTU) :	biologiques
<b>Références de l'échantillon</b>	Nature : Moules	Espèce : Mytilus galloprovincialis
	Date du prélèvement : 16/03/2023	Heure du prélèvement : 10 H
	Profondeur (hauteur d'eau)	Nature du substrat
	Autres :	

## ANNEXES

<b>Référence station</b>	Site : <b>canastel</b>	Code :
<b>Coordonnées</b>	Latitude : N 35° 6' 00"	Longitude : W 0° 34' 3"
<b>Etat du temps</b>	Ensoleillé <input checked="" type="checkbox"/> Peu nuageux    Très nuageux    Pluvieux	
	Type de nuage :	Précipitations :
	Direction du vent :	Vitesse du vent :
<b>Etat de la mer</b>	Très calme    Calme <input checked="" type="checkbox"/> Peu agitée    Agitée    Très agitée	
	<b>Houle</b> Direction : Hauteur : Période :	<b>Courants</b> Direction : Vitesse :
<b>Paramètres physicochimiques &amp; biologiques</b>	Température (°) :	pH :
	Salinité (‰)	O <sub>2</sub> dissous (mg/l ; %) :
	Turbidité (NTU) :	biologiques
9.40		
<b>Références de l'échantillon</b>	Nature : Moules	Espèce : Mytilus galloprovincialis
	Date du prélèvement : 16/03/2023	Heure du prélèvement : 10 H
	Profondeur (hauteur d'eau)	Nature du substrat
	Autres :	

### • Protocole de mesure de salinité

La salinité de l'eau de mer est définie comme étant la masse totale de substances dissoutes dans un kilogramme d'eau de mer. Cette masse est calculée en remplaçant les ions bromure et iodure par leur équivalent de chlorure, en convertissant les carbonates en oxydes et en oxydant toute la matière organique présente. Cette définition n'est cependant pas applicable en routine, **(Sorensen, 1902)** ce qui a conduit à l'utilisation de la notion de chlorinité, qui est basée sur la proportionnalité entre les principaux constituants du sel de l'eau de mer. Le chlorure représente 55% de la salinité et peut être dosé précisément en routine par argentimétrie **(Dittmardès, 1884)**. Pour éviter que la valeur de la chlorinité ne dépende des déterminations successives des masses atomiques de l'argent et du chlore, la chlorinité a été redéfinie par Jacobsen et Knudsen en 1940. La nouvelle expression de la chlorinité était alors convertie en salinité selon la formule :  $S\% = 1,80655 \times CI$ , qui concordait avec l'ancienne pour la salinité de 35,000. La salinité est un descripteur indispensable en milieu marin et est normalement associée à la mesure de la température. Les applications de la mesure de la salinité diffèrent en milieu côtier par rapport au milieu océanique **(AMINOT, 2004)**.

Voici les étapes générales pour réaliser le titrage et calculer la salinité :

1. Préparer la solution standard de nitrate d'argent en dissolvant une quantité connue de sel d'argent ( $AgNO_3$ ) dans de l'eau distillée pour obtenir une concentration connue.
2. Préparer l'indicateur de chlorure en dissolvant une petite quantité de chromate de potassium ( $K_2CrO_4$ ) dans de l'eau distillée pour obtenir une solution jaune pâle.
3. Ajouter l'indicateur de chlorure à l'échantillon d'eau de mer, qui deviendra alors orange vif.
4. Ajouter la solution standard de nitrate d'argent à l'échantillon d'eau de mer en petites quantités tout en agitant constamment, jusqu'à ce que la couleur orange de l'indicateur vire au rouge brique.
5. Noter le volume de la solution standard de nitrate d'argent utilisé pour atteindre le point final du titrage.



## ANNEXES

---

Calculer la concentration en chlorures (Cl<sup>-</sup>) dans l'échantillon d'eau de mer à partir du volume de la solution standard de nitrate d'argent utilisé et de la concentration de la solution standard. En utilisant la formule suivante Où :

$$\frac{C_2 * V_2}{V_1} = C_1$$

**C<sub>1</sub>** est la concentration connue de la solution standard de nitrate d'argent (généralement en mol/L) ;

**V<sub>1</sub>** est le volume de la solution standard de nitrate d'argent utilisé (en mL) ;

**C<sub>2</sub>** est la concentration en chlorures (Cl<sup>-</sup>) de l'échantillon d'eau de mer (en mol/L) ;

**V<sub>2</sub>** est le volume de l'échantillon d'eau de mer utilisé (en mL).

6. Convertir la concentration en chlorures en salinité en utilisant une formule appropriée,

La formule  $S_{\text{‰}} = 1,80655 \times \text{CI}$  est en effet la façon de convertir la concentration en chlorures en

Salinité,

$$S_{\text{‰}} = 1,80655 \times \text{CI}$$

Où

**S<sub>‰</sub>** est la salinité en unité pratique d'océanographie (UPS)

**CI** est la concentration en chlorures en mg/L

## Les matériaux utilisés



**Balance électrique**



**pH mètre**



**Spectraux mètre  
(cinétique)**



Centrifugeuse

Les dosages



Dosage des protéines



Dosage de GSH

## ANNEXES

---



Dosage de MDA