

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

L'école Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de L'aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en  
Science de la Mer

**Option : Aquaculture**

**Thème**

**Contribution à la mesure du stress chez *mytilus galloprovincialis***

Réalisé par :

- Ouahhadi akram abd errahman
- Kerrad aissa

Devant les membres du jury :

**Mme GHAIMI R .**

**Maître-assistant A - ENSSMAL**

**Présidente**

**Mme KAIDI N .**

**Maître-assistant A - ENSSMAL**

**Examineur**

**Mme AMAR I.**

**Maître-assistant A - ENSSMAL**

**Promotrice**

Année universitaire 2024/2025

## Remerciement

*Avant toute chose, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Madame Amar Iman, notre encadrante, pour son accompagnement bienveillant, sa disponibilité et ses conseils précieux tout au long de ce travail. Sa rigueur scientifique et son soutien constant ont été déterminants dans la réalisation de ce mémoire.*

*Nous remercions sincèrement l'ensemble des membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et pour leurs observations constructives.*

*Nous sommes profondément reconnaissants envers nos familles pour leur amour inconditionnel, leurs encouragements constants et leur patience durant toutes les étapes de cette formation.*

*Nous remercions également chaleureusement nos amies fidèles pour leur présence, leur soutien moral et les moments de réconfort qu'elles nous ont apportés.*

*Nous tenons également à saluer et remercier toutes les personnes qui nous ont aidés dans le cadre de cette étude à l'École, notamment Madame Houda et Madame Amina, pour leur assistance précieuse et leur disponibilité dans les laboratoires.*

*Enfin, nous n'oublions pas d'exprimer notre reconnaissance envers notre établissement, l'École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL), ainsi que l'ensemble de ses employés sans exception, pour la qualité de l'enseignement reçu, les moyens mis à disposition, et l'environnement propice à notre épanouissement académique.*

## Dédicace

Mes remerciements s'adressent également à mon binôme **Kerrad Aissa**, pour sa collaboration exemplaire, son sérieux et l'esprit d'équipe que nous avons partagé durant cette belle aventure académique.

Je suis profondément reconnaissante envers ma Famille, précisément mon père ouahhadi oudjdi ma belle mère et ma mère ma fiancé yousra , mais collègues [ malak , maroua , siham , ines , raid , yesser ,oussama , salah, et tous l'équipe aqua et a tout les membres du club orca au travail et a l'école pour son amour inconditionnel, ses encouragements constants et sa patience durant toutes les étapes de cette formation.

## Dédicace

Mes remerciements s'adressent également à mon binôme **Ouahhadi Abderrahmen Akram**, pour sa collaboration exemplaire, son sérieux et l'esprit d'équipe que nous avons partagé durant cette belle aventure académique.

Je suis profondément reconnaissante envers ma Famille, pour son amour inconditionnel, ses encouragements constants et sa patience durant toutes les étapes de cette formation.

## Résumé

Cette étude porte sur l'évaluation de la qualité environnementale de la zone côtière méditerranéenne d'Ain Taya (Algérie), à travers l'analyse de biomarqueurs physiologiques chez la moule *Mytilus galloprovincialis*. L'indice de condition et l'activité spécifique de la catalase ont été utilisés pour apprécier l'état de santé de la population et le niveau de stress oxydatif. Les résultats révèlent un indice de condition élevé et homogène, témoignant d'un bon état nutritionnel et physiologique des moules. L'activité spécifique de la catalase mesurée ( $0,6 \text{ nmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$  de protéines) reste faible en comparaison des valeurs relevées dans des milieux plus dégradés. Ces observations suggèrent un habitat relativement préservé et peu soumis au stress oxydatif. Cette recherche confirme la pertinence de l'utilisation conjointe de biomarqueurs enzymatiques et d'indices biométriques pour le suivi écologique des milieux marins.

Mots-clés : *Mytilus galloprovincialis*, biomarqueur, stress oxydatif, activité de la catalase, écosystème marin ,pollution

## **Abstract**

This study focuses on the evaluation of the environmental quality of the Mediterranean coastal area of Ain Taya (Algeria) through the analysis of physiological biomarkers in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. The condition index and the specific activity of catalase enzyme were used to assess the health status of the population and the oxidative stress levels. The results reveal a generally high and homogeneous condition index, indicating good nutritional and physiological status of the mussels. The specific activity of catalase measured ( $0.6 \text{ nmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ protein}$ ) remains low compared to data from polluted environments. These findings suggest a relatively preserved habitat with limited oxidative stress. This research confirms the relevance of combining enzymatic biomarkers and biometric indices for the ecological monitoring of marine environments.

Keywords: *Mytilus galloprovincialis*, biomarker, oxidative stress, catalase activity, marine ecosystem,

Pollution

## ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم جودة البيئة الساحلية للبحر الأبيض المتوسط في منطقة عين طاية (الجزائر)، من خلال تحليل تم استخدام مؤشر الحالة والنشاط النوعي لإنزيم *Mytilus galloprovincialis* المؤشرات الفسيولوجية في بلح البحر الكاتالاز لتقييم الحالة الصحية للأفراد ومستوى الإجهاد التأكسدي. أظهرت النتائج أن مؤشر الحالة مرتفع ومتجانس بشكل عام، مما يعكس حالة غذائية وفسيولوجية جيدة. كما أن النشاط النوعي للكاتالاز المقاس (0.6 نانومول•دقيقة<sup>-1</sup>•ملغ<sup>-1</sup> من البروتين) منخفض مقارنة بالقيم المسجلة في بيئات ملوثة. تشير هذه النتائج إلى بيئة طبيعية محفوظة نسبيًا مع مستويات منخفضة من الإجهاد التأكسدي. تؤكد هذه الدراسة أهمية دمج المؤشرات الإنزيمية والمؤشرات البيومترية في رصد ومراقبة النظم البيئية البحرية



<b>CHAPITRE II :</b> .....	18
<b>MATÉRIEL ET MÉTHODES</b> .....	18
<b>Chapitre II</b> .....	19
<b>II.1 Échantillonnage</b> .....	19
<b>II.1.1 Présentation de la zone d'étude</b> .....	19
<b>II.2 Traitement des échantillons</b> .....	20
<b>II.2.1 Conservation des échantillons</b> .....	20
<b>II.3 Mesure des paramètres biométriques</b> .....	20
<b>II.3.1 Mesures et pesée des moules</b> .....	20
<b>II.3.2 Étude de la croissance</b> .....	21
<b>II.4 L'indice de condition</b> .....	22
<b>II.5 Étude de la réponse biologique exprimée par la moule</b> .....	23
<b>II.5.1 Mesure de l'activité de la catalase</b> .....	23
<b>CHAPITRE III :</b> .....	34
<b>RÉSULTATS ET DISCUSSION</b> .....	34
<b>Chapitre III</b> .....	35
<b>III.1 Étude de la croissance</b> .....	35
<b>III.1.1 Distribution des fréquences de taille</b> .....	35
<b>III.1.2 Étude de la croissance relative</b> .....	37
<b>III.2 Indice de condition</b> .....	38
<b>III.3 Biomarqueurs du stress oxydatif</b> .....	39
<b>III.3.1 Dosage des protéines</b> .....	39
<b>III.3.2 Dosage de l'activité spécifique de la catalase</b> .....	40
<b>III.4 Discussion</b> .....	41
Comparaison et interprétation des résultats avec l'étude de Latreche Abire (2020) .....	41
Analyse des écarts .....	42
Interprétation globale.....	42
<b>Conclusion</b> .....	45
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	46
<b>Références bibliographiques</b> .....	46
<b>Références Bibliographiques</b> .....	48

<i>Annexes</i> .....	53
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral .....	58
- Kerrad Aissa.....	58
Ouhadi Akrem Abd Rahman .....	58

## **Liste des abréviations**

AFNOR : Association Française de Normalisation

CAT : Catalase

DO : Densité Optique (ou Absorbance)

ENSSMAL : École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

ERO : Espèces Réactives de l'Oxygène

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : Peroxyde d'Hydrogène

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

IC : Indice de Condition

MAT : Matières Azotées Totales

PCB : Polychlorobiphényles

ROS : Reactive Oxygen Species (Espèces Réactives de l'Oxygène)

S9 : Fraction subcellulaire 9 (cytosolique et microsomale)

## **Liste des figures**

Figure 1. Relation entre les principales catégories de polluants et les biomarqueurs classiques (NARBONNE & MICHEL, 1992).	9
Figure 2. Réactions de formation des principales espèces réactives de l'oxygène (ERO)	10
Figure 3. Anatomie interne de la moule ( <i>Mytilus galloprovincialis</i> )	14
Figure 4. Carte de la zone d'étude (La zone de Surcouf Plage). Cette figure est générée en utilisant le logiciel ARC GIS (version 10.04.1 (2016-05-31), <a href="https://www.arcgis.com/">https://www.arcgis.com/</a> )	19
Figure 5. Les moules nettoyées et débarrassées de leurs épibiontes	20
Figure 6. Les mesures des paramètres linéaires réalisés	20
Figure 7. Pesée de la moule entière et de la chair séparée pour l'évaluation biométrique	21
Figure 8. Schéma synoptique présentant les différentes étapes de l'étude de l'activité catalase	23
Figure 9. Récupération et pesées de la glande digestive	24
Figure 10. Images montrants l'homogénat obtenu centrifugé à 9000 tr/min pendant 20 minutes à 4 °C.	24
Figure 11. Extraction de la fraction s9	25
Figure 12. Étape de minéralisation des échantillons lors de la détermination de l'azote total par la méthode de Kjeldahl	25
Figure 13. Étape de distillation de l'azote ammoniacal dans la méthode de Kjeldahl à l'aide d'un distillateur automatique.	26
Figure 14. Titrage du distillat avec de l'acide sulfurique	27
Figure 15. Lecture de l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre multi-longueurs d'onde	28
Figure 16. Fréquence relative des individus en fonction des intervalles de taille	35
Figure 17. Régression entre la taille et le poids total chez la moule <i>mytilus galloprovincialis</i> provenant de la moulière sauvage à Ain taya	37
Figure 18. Distribution des fréquences relatives de l'indice de condition chez <i>Mytilus galloprovincialis</i>	39

## Liste des tableaux:

Tableau 1. : les agents polluants(Encyclopédie des Sciences de la Natures ,1995) .....	5
Tableau 2. Tableau des principales espèces réactives de l'oxygène .....	10
Tableau 3. La réaction de spectrophotométrie.....	28
Tableau 4. Présentation de changement de l'absorption par unité de temps dans l'échantillon	40
Tableau 5. Comparaison des niveaux d'activité spécifique de la catalase ( $\text{nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$ de protéines) mesurés chez <i>Mytilus galloprovincialis</i> en Méditerranée dans différentes études, y compris la présente étude .....	41

### Introduction générale

La pollution marine représente une problématique environnementale majeure, mettant en péril la biodiversité et l'équilibre des habitats aquatiques, comme le soulignent Viatte et al. (2020). Elle est principalement issue de sources terrestres telles que les activités industrielles, agricoles et urbaines, qui génèrent environ 80 % des pollutions marines (Viatte et al., 2020). Ses effets néfastes incluent l'eutrophisation, la contamination chimique par des substances toxiques comme les hydrocarbures et les métaux lourds, ainsi que la dégradation des habitats par la sédimentation (Viatte et al., 2020). Ces perturbations entraînent une diminution de la diversité biologique et affectent particulièrement les espèces vulnérables, notamment les mammifères marins et les poissons (Viatte et al., 2020).

L'écotoxicologie marine s'intéresse aux impacts des polluants sur les organismes marins et leurs écosystèmes, comme le décrit Hook (2014). Elle s'appuie sur des outils tels que les bioindicateurs et les biomarqueurs pour évaluer l'état écologique des milieux aquatiques et détecter les effets toxiques (Hook, 2014). Cette discipline joue un rôle crucial dans l'analyse des mécanismes de stress environnemental, notamment le stress oxydatif, qui résulte d'une production excessive d'espèces réactives d'oxygène (ROS) sous l'effet des contaminants (Hook, 2014). Grâce à ces approches, la biosurveillance permet de prévenir des dommages irréversibles aux écosystèmes marins (Hook, 2014).

La moule méditerranéenne (*Mytilus galloprovincialis*) est reconnue comme un bio-indicateur efficace en raison de sa sensibilité aux variations environnementales et de sa capacité à accumuler des polluants, selon Gonzalez-Fernandez et al. (2018). Cet organisme filtreur est essentiel pour évaluer la qualité des eaux côtières et des sédiments (Gonzalez-Fernandez et al., 2018). En tant qu'espèce sentinelle, il offre une opportunité unique d'étudier les effets toxiques des contaminants sur le développement embryonnaire et d'examiner les réponses biologiques au stress oxydatif dans différents environnements aquatiques (Gonzalez-Fernandez et al., 2018).

Cette étude vise à analyser la qualité écologique des écosystèmes côtiers en utilisant *Mytilus galloprovincialis* comme modèle bio-indicateur. Elle cherche également à mesurer le stress oxydatif induit par les polluants en identifiant un biomarqueur pertinent pour détecter précocement les effets toxiques. Les résultats obtenus contribueront à renforcer la gestion environnementale et à préserver la biodiversité marine face aux pressions anthropiques croissantes.

---

***CHAPITRE I :***  
***SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE***

---

### Chapitre I

#### I.1 La pollution dans la mer Méditerranée

La mer Méditerranée, l'une des régions les plus sensibles et riches en biodiversité au monde, est confrontée à des défis environnementaux majeurs, comme le soulignent Coll et al. (2012). Les rejets massifs de déchets plastiques, estimés à environ 600 000 tonnes par an, transforment progressivement cette mer en un véritable piège de plastique (Boucher & Billard, 2020). En plus des macrodéchets visibles, la Méditerranée est également fortement affectée par les microplastiques et les polluants chimiques tels que les métaux lourds et les pesticides, qui s'accumulent dans la chaîne alimentaire et mettent en péril la santé des espèces marines (Cózar et al., 2015 ; UNEP/MAP, 2016). L'activité industrielle côtière et l'intensité du trafic maritime – qui représente près de 30 % du trafic mondial – aggravent la situation, générant un impact environnemental significatif (European Environment Agency, 2020). Face à ces menaces, la mise en œuvre de stratégies régionales efficaces pour lutter contre la pollution est essentielle afin de préserver la richesse écologique et économique de cette mer semi-fermée (UNEP/MAP, 2016).

##### I.1.2 La pollution marine

La pollution des océans constitue aujourd'hui l'un des enjeux environnementaux les plus préoccupants, selon Halpern et al. (2008). Elle est principalement induite par les activités humaines telles que les rejets massifs de plastiques, les déversements accidentels ou chroniques d'hydrocarbures, ainsi que les infiltrations de produits chimiques agricoles et industriels (Jambeck et al., 2015). Ces polluants provoquent un déséquilibre des écosystèmes aquatiques, menacent la biodiversité marine, et perturbent gravement la santé des espèces (Worm et al., 2006). De plus, les conséquences pour les sociétés humaines sont importantes: contamination des ressources halieutiques, insalubrité des zones côtières et pertes économiques pour les communautés littorales (Rochman et al., 2015). Dans ce contexte, une réponse collective et internationale est indispensable, impliquant l'adoption de pratiques durables et le renforcement des législations environnementales (UN)

##### I.1.3 Types de pollution

La pollution marine se décline en plusieurs types, chacun ayant des impacts spécifiques sur les écosystèmes aquatiques (GESAMP, 2019).

### **I.1.3.1 Pollution chimique**

La pollution chimique est provoquée par les rejets de substances telles que les pesticides, les hydrocarbures, les métaux lourds, les fertilisants agricoles et les effluents urbains, qui s'accumulent dans les organismes marins et perturbent les réseaux trophiques (Islam & Tanaka, 2004 ; Dachs & Méjanelle, 2010).

### **I.1.3.2 Pollution physique**

La pollution physique comprend les modifications physiques du milieu, comme l'injection d'eaux thermiques ou douces issues de processus industriels, affectant la température, la salinité et la stabilité écologique des zones côtières (Kennish, 1997).

### **I.1.3.3 Pollution biologique**

La pollution biologique résulte de l'introduction d'espèces exotiques envahissantes ou de la prolifération de micro-organismes pathogènes, ce qui déstabilise les écosystèmes indigènes et favorise des déséquilibres écologiques graves (Molnar et al., 2008).

### **I.1.3.4 Pollution lumineuse**

L'éclairage artificiel des zones côtières perturbe les cycles biologiques des espèces marines, en modifiant leurs comportements de reproduction, de migration ou d'alimentation (Davies et al., 2014).

### **I.1.3.5 Pollution sonore**

La pollution sonore, due aux moteurs de navires, aux sonars militaires et aux opérations d'extraction offshore, interfère avec la communication acoustique des espèces marines sensibles comme les cétacés, provoquant stress, désorientation et parfois échouages (Hildebrand, 2009).

**Tableau 1.** : Les agents polluants (Encyclopédie des Sciences de la Nature, 1995)

Type de pollution	Nature	Source
Thermique	Rejets d'eau chaude	Centrale électriques
Radioactive	Bactéries, virus entériques, champignons	Effluents urbains, élevage, secteur agro-alimentaire
Organique fermentescible	Glucides, protides, lipides	Effluents domestiques, agricoles, industries agroalimentaires, bois
Fertilisants	Nitrates, Phosphates	Agriculture, lessives
Métaux et métalloïdes	Mercure, plomb, aluminium, arsenic, calcium, cadmium...	Industrie, agriculture, combustion, pluies acides
Pesticides	Insecticides, fongicides, herbicides	Industrie, agriculture
Détergents	Agents tensioactifs	Effluents domestiques
Hydrocarbures	Pétrole brut et dérivé	Industrie pétrolière, transports
Composés organochlorés	P.C.B, insecticides, solvants chlorés	Industrie
Composés organométalliques	Nombreuses molécules	Peintures antisalissures
Autres composés organiques de synthèse	Nombreuses molécules	Industrie

### I.2 L'écotoxicologie marine

L'écotoxicologie est une branche scientifique qui examine les effets des substances toxiques, notamment les polluants chimiques, sur les écosystèmes aquatiques, comme le définissent Newman (2014) et Hook (2014). Elle combine les connaissances de l'écologie et de la toxicologie afin d'étudier comment ces substances se comportent dans l'environnement, leur devenir, et leurs effets sur les organismes, les populations et les communautés vivantes (Newman, 2014).

Cette discipline joue un rôle essentiel dans l'évaluation des risques environnementaux, car elle permet non seulement d'identifier les dangers liés aux polluants, mais aussi d'évaluer la probabilité d'exposition des organismes et la gravité des effets (Walker et al., 2012). En analysant les mécanismes de toxicité et les niveaux d'exposition, l'écotoxicologie contribue à estimer l'ampleur des risques pour les écosystèmes et la santé humaine (Hook, 2014). Ces données sont cruciales pour orienter les mesures de prévention, de gestion et de restauration des milieux aquatiques, dans une optique de durabilité et de conservation (Van Gestel & Van Straalen, 1994).

### I.3 La biosurveillance marine :

L'utilisation d'organismes vivants comme indicateurs permet de suivre la qualité de l'environnement marin de manière efficace, comme le soulignent Lagadic et al. (2000). Ces bioindicateurs, tels que certaines espèces de mollusques, d'algues ou de poissons, possèdent la capacité d'accumuler les polluants présents dans leur habitat, offrant ainsi une mesure directe de la contamination (Viarengo et al., 2007). En outre, l'étude des changements dans leur comportement, leur physiologie ou leur état de santé permet de détecter les effets sublétaux des substances toxiques sur les écosystèmes marins (van der Oost et al., 2003). Cette approche biologique, complémentaire aux méthodes chimiques classiques, offre une vision intégrée et dynamique de l'état des milieux aquatiques (Walker et al., 2012). Elle joue un rôle central dans la détection précoce des perturbations environnementales, contribuant à mieux orienter les stratégies de protection et à préserver la biodiversité marine (Hook, 2014).

### **I.4 Utilisation des biomarqueurs pour évaluer l'état biologique du milieu marin**

#### **I.4.1 Définition des biomarqueurs**

Un biomarqueur est un indicateur biologique mesurable permettant de refléter un processus physiologique normal ou pathologique, ou encore la réponse d'un organisme à une exposition environnementale, notamment à un contaminant chimique. En écotoxicologie, les biomarqueurs désignent généralement des altérations observables au niveau moléculaire, cellulaire ou physiologique, indiquant une interaction entre un polluant et un organisme vivant (Hook et al., 2014). Ces marqueurs sont précieux pour détecter précocement les effets biologiques de polluants avant même que des altérations majeures des écosystèmes ne se manifestent.

L'utilisation des biomarqueurs permet ainsi de surveiller l'état de santé des organismes, d'évaluer le niveau de stress environnemental auquel ils sont exposés, et de guider la mise en œuvre de mesures de gestion et de protection des milieux marins. Ils constituent un outil essentiel dans les programmes de biosurveillance, en complément des méthodes analytiques classiques.

#### **I.4.2 Classification des biomarqueurs**

Les biomarqueurs sont classés selon leur fonction et le type d'information qu'ils fournissent sur l'exposition et les effets des polluants. Voici une classification courante des biomarqueurs en écotoxicologie (Hook et al., 2014).

##### **I.4.2.1 Biomarqueurs d'exposition**

Les biomarqueurs d'exposition sont des substances ou leurs produits de dégradation agent présents dans l'organisme, qui indiquent qu'une personne a été en contact avec

un chimique. Ils sont mesurables dans des échantillons comme le sang ou l'urine et permettent d'évaluer la quantité et la durée de l'exposition (Hook et al., 2014).

### **Caractéristiques des biomarqueurs d'exposition**

- Spécifiques à la substance étudiée
- Détectables sur une période suffisante
- Faciles à mesurer dans des échantillons biologiques

### **Utilités des biomarqueurs d'exposition**

- Quantifier l'exposition individuelle à des substances chimiques
- Surveiller la population pour orienter les politiques de santé
- Aider à la prévention et à la recherche sur les risques liés aux expositions

En bref, les biomarqueurs d'exposition sont des indicateurs clés pour détecter et mesurer la présence de contaminants dans le corps, permettant une évaluation précise de l'exposition (Hook et al., 2014).

### **I.4.2.2 Biomarqueurs d'effet**

Les biomarqueurs d'effet sont des indicateurs biologiques mesurables qui révèlent des changements dans un organisme en réponse à l'exposition à des substances chimiques ou à des facteurs environnementaux. Ils peuvent être associés à des processus pathologiques ou physiologiques et jouent un rôle crucial dans la biosurveillance et la recherche médicale (Hook et al., 2014).

### **Caractéristiques principales des biomarqueurs d'effet**

**Origine biologique** : Ils incluent des éléments tels que des hormones, enzymes ou métabolites, mesurables dans le sang ou l'urine. (Amiard et al., 2000).

**Mesurabilité** : Ces biomarqueurs sont quantifiables dans divers échantillons biologiques, permettant d'évaluer l'impact d'une exposition sur la santé. (Van der Oost et al., 2003).

**Détection précoce** : Ils permettent d'identifier les changements biologiques avant l'apparition de maladies, facilitant ainsi les interventions préventives. (Peakall, 1994).

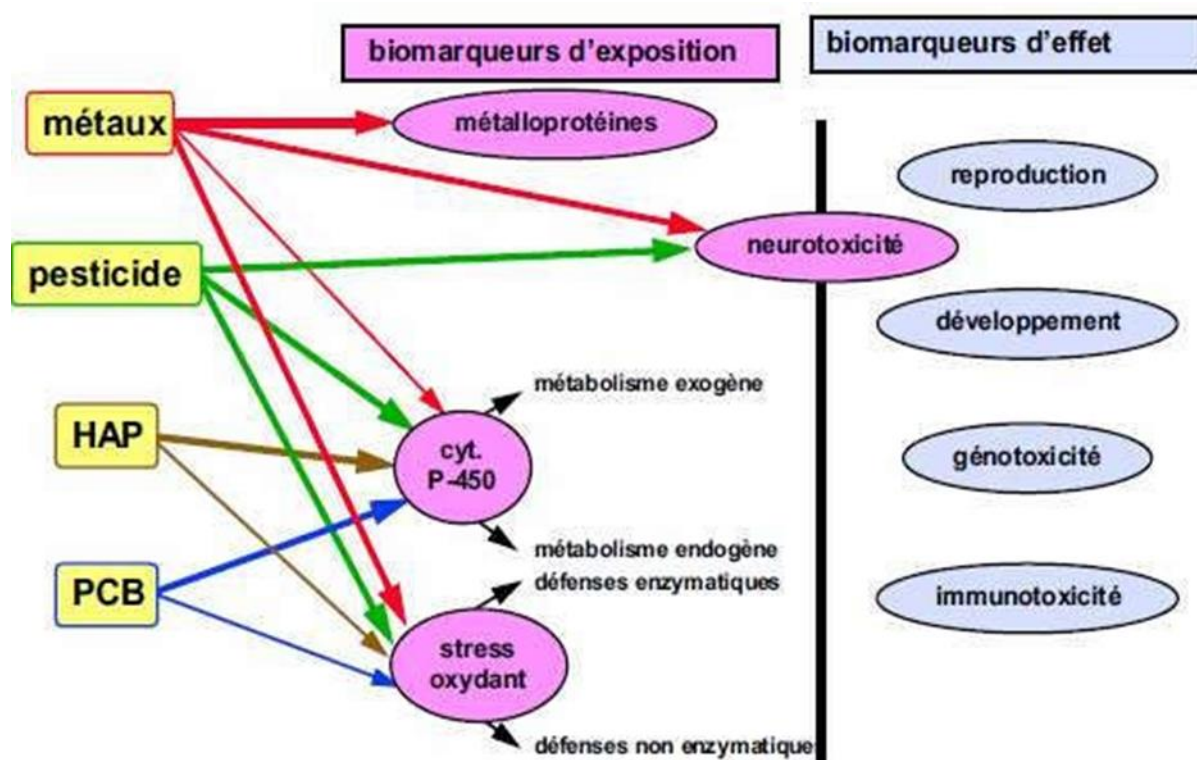
### **I.4.2.3 Biomarqueurs de sensibilité**

Les biomarqueurs de sensibilité sont des indicateurs biologiques qui reflètent la capacité d'un organisme à réagir ou à résister à une exposition à un polluant ou à une substance toxique. Ils mettent en lumière la variabilité entre individus ou populations,

souvent liée à des différences génétiques, physiologiques ou biochimiques, qui influencent la vulnérabilité face à un agent nocif (Hook et al., 2014).

### **Caractéristiques des biomarqueurs de sensibilité**

- Ils permettent d'évaluer la susceptibilité d'un organisme avant l'apparition de signes visibles de toxicité.
- Ils sont associés à des variations internes, telles que des différences génétiques ou métaboliques, qui modifient la réponse aux contaminants.
- Ils aident à identifier les individus ou groupes plus fragiles dans une population exposée.
- Ils contribuent à mieux comprendre la diversité des réactions biologiques face à une même exposition.
- Ils facilitent la détection précoce des organismes les plus vulnérables aux effets toxiques.
- Ils complètent les biomarqueurs d'exposition et d'effet en apportant une perspective préventive.
- Ils permettent d'affiner l'évaluation des risques en tenant compte des différences de sensibilité.
- Ils orientent les mesures de gestion environnementale en ciblant les populations nécessitant une protection prioritaire.



**Figure 1.** Relation entre les principales catégories de polluants et les biomarqueurs classiques (NARBONNE & MICHEL, 1992).

## I.5 Le stress oxydatif

### I.5.1 Définition du stress oxydatif

Le stress oxydatif se définit comme un déséquilibre entre la production d'espèces réactives de l'oxygène (radicaux libres) et la capacité des systèmes antioxydants cellulaires à les neutraliser. Ces molécules réactives, en excès, peuvent endommager les composants essentiels des cellules, tels que les lipides, les protéines et l'ADN, ce qui entraîne des perturbations cellulaires et contribue au développement de diverses pathologies (Kruk et al., 2019). Par ailleurs, une production contrôlée de ces radicaux joue un rôle physiologique important dans la signalisation cellulaire et le maintien de l'homéostasie, mais lorsque cet équilibre est rompu, le stress oxydatif devient une source majeure de dommages biologiques (Kruk et al., 2019).

### I.5.2 Les espèces réactives de l'oxygène

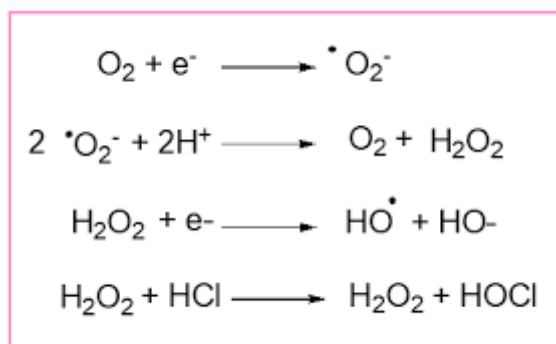
Les espèces réactives de l'oxygène (ERO), aussi appelées *reactive oxygen species* (ROS) en anglais, sont des molécules dérivées de l'oxygène qui possèdent une forte

réactivité chimique. Elles incluent des radicaux libres (comme le radical superoxyde  $O_2^-$  et le radical hydroxyle  $\cdot OH$ ), des ions oxygénés, ainsi que des composés non radicaux comme le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) et l'oxygène singulet ( $^1O_2$ ) (Kruk et al., 2019).

Ces espèces sont produites naturellement dans l'organisme, principalement lors du métabolisme normal de l'oxygène dans les mitochondries, mais leur production peut augmenter sous l'effet de stress (chaleur, UV, inflammation, pollution, etc.). Elles jouent un rôle important dans la défense immunitaire et la signalisation cellulaire, mais, en excès, elles peuvent endommager les cellules en attaquant l'ADN, les protéines et les lipides, entraînant ce qu'on appelle le stress oxydatif (Kruk et al., 2019).

**Tableau 2.** Tableau des principales espèces réactives de l'oxygène

ESPECES REACTIVES DE L'OXYGENE			
Espèces radicaloires		Espèces non radicalaires	
Anion superoxyde	$O_2^-$	Peroxyde d'hydrogène	$H_2O_2$
Rodicol hydroxyle	$HO$	Acide hypochloreux	$HOCl$



**Figure 2.** Réactions de formation des principales espèces réactives de l'oxygène (ERO)

### I.5.3 Impacts du stress oxydatif au niveau cellulaire

Le stress oxydatif se définit par un déséquilibre entre l'excès de production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les mécanismes de défense antioxydants de l'organisme. Cet excès de radicaux libres est à l'origine de dommages cellulaires souvent très étendus, touchant non seulement les lipides, mais également les protéines, l'ADN et les mitochondries, et éventuellement d'autres constituants (Allen & Mieyal, 2012 ; Gianazza et al., 2020).

#### 1. Dommages aux lipides membranaires :

Les ERO ciblent en premier lieu les acides gras insaturés des membranes cellulaires, conduisant à un processus de peroxydation lipidique, qui rigidifie les membranes et altère leur perméabilité. Ce processus favorise la formation de lipoprotéines de basse densité oxydées (LDLox), dont le rôle a été retenu dans les mécanismes d'athérosclérose et dans l'émergence des maladies cardiovasculaires (Gianazza et al., 2020).

### **2. Altération des protéines :**

Les protéines, en particulier celles contenant des groupements thiols ou –SH, sont oxydées par les ERO et leur intégrité est alors affectée, conduisant à une perte d'activité mais aussi à une activité potentiellement toxique, comme décrite ci-dessous, et ce pour finalement aboutir à des niveaux d'expression accrus des protéases, qui dégradent les protéines et conduisent les cellules à l'apoptose.

– L'inactivation de l'activité enzymatique. En effet, les enzymes majeures ont un site actif qui dépend de la structure tridimensionnelle d'une protéine, elle-même très facilement modifiée par oxydation. Ainsi, des protéines telles que les lactates et le glucose à une préparation destinée à l'anaérobie sont inactivés (Allen & Mielal, 2012).

– La formation de di- et de tricarbonyles des protéines oxydées, qui sont classiquement toxiques et ont été associées à des maladies neurodégénératives telles que la maladie d'Alzheimer, par exemple (Allen & Mielal, 2012).

– La dégradation des protéines par des protéases, augmentée dans les états oxydants et pouvant contribuer, avec un fort niveau de protéolyse, à l'apoptose (Allen & Mielal, 2012).

### **2. Lésions de l'ADN**

L'ADN est également une cible des ERO. En effet, l'oxydation des bases, comme la guanine, introduit des mutations et des cassures de brins, générant une instabilité génomique conduisant à des mécanismes cancérigènes. Les cancers des poumons et de la peau sont par exemple liés à des lésions de l'ADN qui augmentent les risques de maladies génétiques (Allen & Mielal, 2012)

### **3. Dysfonctionnement mitochondrial**

Les mitochondries sont les principales productrices d'ERO. Sous stress oxydatif, elles subissent elles-mêmes des dommages qui altèrent leur fonctionnement, ce qui crée un cercle vicieux d'augmentation de la production d'ERO, aggravant les atteintes cellulaires. Ce dysfonctionnement mitochondrial est impliqué dans de nombreuses pathologies, notamment neurodégénératives et cardiovasculaires (Gianazza et al., 2020).

### I.6 Modèle biologique

#### I.6.1 Choix de l'espèce *Mytilus galloprovincialis*

*Mytilus galloprovincialis* (la moule méditerranéenne) est l'organisme naturellement choisi pour étudier le stress oxydatif en milieu marin grâce à plusieurs atouts considérables. En filtrant de très grandes quantités d'eau, elle accumule naturellement tous les polluants présents dans son milieu aquatique, ce qui la rend particulièrement sensible, réactive et prédisposée aux agents oxydants et aux contaminants. D'ailleurs, grâce à sa grande distribution géographique et son abondance dans les milieux côtiers, *Mytilus galloprovincialis* est relativement facile à échantillonner pour faire des comparaisons dans le temps et dans l'espace. Dans un cadre de laboratoire, grâce à sa physiologie, *Mytilus galloprovincialis* témoigne de réponses biologiques simples et mesurables au stress oxydatif, en particulier via des biomarqueurs tels que la peroxydation lipidique, l'activité des enzymes antioxydantes ou le glutathion. Par ailleurs, sa simplicité expérimentale dans un contexte de laboratoire, loin de la mer, et son statut d'espèce modèle dans un programme de biosurveillance seront toujours utilisés à titre de référence pour évaluer l'impact ou le suivi des polluants ainsi que la santé des milieux aquatiques (Feidantsis et al., 2020).

#### I.6.2 Description de la moule méditerranéenne

*Mytilus galloprovincialis* est un mollusque bivalve marin à coquille solide, lisse et allongée, pouvant atteindre 140-150 mm. Sa coquille, presque quadrangulaire, est noire à brun foncé avec un intérieur blanc bordé de violet. La moule se fixe solidement aux substrats durs grâce à des filaments byssaux très résistants. Espèce sessile, elle vit principalement dans la zone intertidale et subtidale des côtes méditerranéennes et atlantiques. Elle joue un rôle écologique important en filtrant le phytoplancton et en bioaccumulant les polluants, ce qui en fait un bioindicateur précieux de la qualité de l'eau marine. (Alessia D'Agata et al. 2014).

#### I.6.3 Taxonomie

Domain : Eukaryota

Règne : Animalia (Animaux)

Embranchement : Mollusca (Mollusques)

Classe : Bivalvia (Bivalves)

Sous-classe : Autobranchia

Infraclasse : Pteriomorpha

Ordre : Mytilida

Super-famille : Mytiloidea

Famille : Mytilidae

Sous-famille : Mytilinae

Genre : Mytilus

Espèce : *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) (WoRMS, 2024)

### **I.6.4 Écologie**

*Mytilus galloprovincialis* est une espèce benthique sessile qui colonise principalement les substrats durs situés dans la zone infralittorale supérieure, généralement entre 0 et 1,5 mètre de profondeur (Gosling, 2005). Elle occupe une diversité d'habitats, allant des zones calmes, riches en matière organique, aux secteurs caractérisés par un fort hydrodynamisme et une moindre concentration en nutriments. Cette moule forme des agglomérations denses, appelées moulières, qui peuvent s'étendre verticalement dans la zone des brisants ou s'implanter plus profondément sur des substrats linéaires tels que les lignes de mouillage (Gosling, 2005).

En tant que filtreur actif, *M. galloprovincialis* joue un rôle écologique fondamental dans les écosystèmes côtiers, contribuant à la clarification des eaux par la filtration des particules en suspension (Gosling, 2005). Par ailleurs, les moulières qu'elle forme agissent comme des structures biogéniques, offrant un habitat favorable à une grande diversité d'espèces, et participant ainsi à l'augmentation de la biodiversité locale. (Gosling, E et al. 2005).

### **I.6.5 Nutrition**

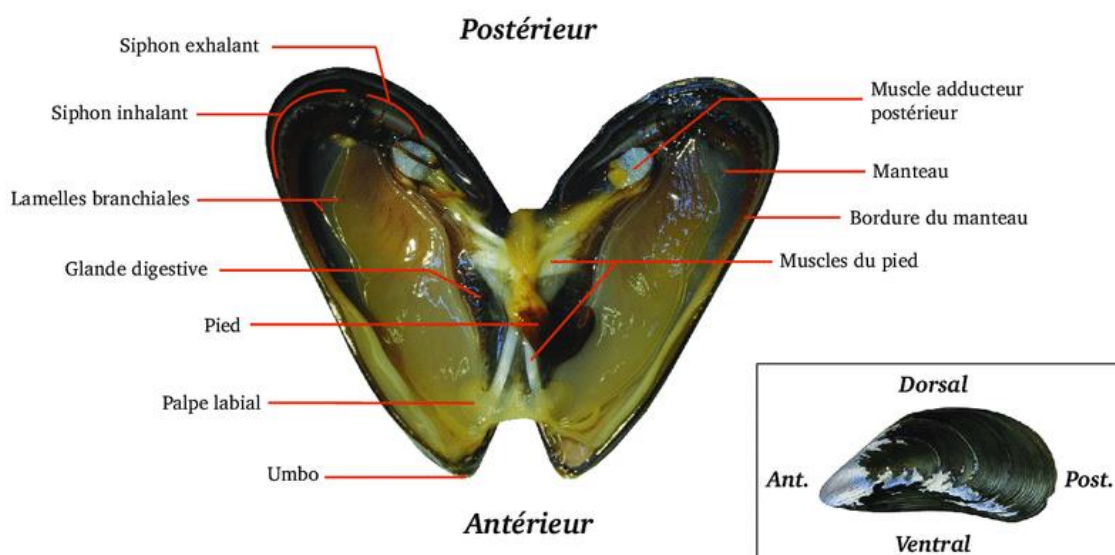
Le mollusque bivalve *Mytilus galloprovincialis* est classé parmi les filtreurs suspensionnaires benthiques, c'est-à-dire qu'il se nourrit par filtration de l'eau de mer dans laquelle il prélève les particules alimentaires en suspension. (Venier, Paola et al., 2011) Son alimentation est essentiellement basée sur l'ingestion de phytoplancton, de bactéries, de particules organiques et de matières en suspension présentes dans l'eau (Venier et al., 2011).

La moule utilise ses branchies, beaucoup plus développées et recouvertes de cils, pour établir un courant d'eau entrant dans la cavité palléale (environ de 50 à 70 l /24 h) et permettant de capturer et de conduire les particules alimentaires vers la bouche (Kantin & Pergent-Martini, 2007). Les particules sont ensuite triées selon leur taille et leur valeur nutritive: les particules alimentaires appropriées rejoignent le système digestif et les inadéquates, sont évacuées sous forme de pseudofèces (Kantin et Pergent- Martini, 2007)

### **I.6.6 Anatomie et physiologie**

#### **Anatomie:**

*Mytilus galloprovincialis* est un mollusque bivalve caractérisé par une coquille composée de deux valves reliées par une charnière (Venier et al., 2011). Il possède deux muscles adducteurs qui ferment activement la coquille, tandis qu'un ligament dorsal permet son ouverture passive (Venier et al., 2011). Le manteau enveloppe la masse viscérale et sécrète la coquille. Les branchies assurent la respiration et la filtration de l'eau pour capter les particules alimentaires. L'appareil digestif comprend une bouche entourée de palpes labiaux, un estomac, un hépatopancréas et un intestin court. Le pied musculaire, équipé d'une glande byssogène, produit des filaments de byssus pour l'ancrage au substrat (Venier et al., 2011). Le système nerveux est simple, avec trois paires de ganglions (Venier et al., 2011). Le système circulatoire est ouvert, avec un cœur dorsal et un sang contenant de l'hémocyanine. Les déchets sont éliminés par des néphridies, et la reproduction est assurée par des gonades situées dans la masse viscérale. (Venier, Paola et al., 2011). Cette anatomie permet à la moule d'être un filtreur efficace, bien adapté à son environnement marin. (Venier et al., 2011)



**Figure 3.** Anatomie interne de la moule (*Mytilus galloprovincialis*)

### Physiologie :

#### a) Le système nerveux

Le système nerveux de la moule est peu développé, car l'appareil sensoriel est rudimentaire (pas de vue, pas d'ouïe,...) et les organes peu nombreux. Il comprend un ganglion près de la bouche, un autre ganglion près du pied et un dernier à côté des viscères. Près de chaque ganglion pédieux, et relié au ganglion. Cérébroïde, se trouve le statocyste qui renseigne la moule sur sa position. Les organes palléaux, situés près de la zone d'entrée de l'eau informent l'animal sur la qualité de l'eau qui pénètre dans la cavité palléale. Près de chaque ganglion viscéral, un organe pair, l'osphradium renseigne l'animal sur la qualité de l'eau qui quitte la cavité palléale par la boutonnière (Jourdan, 1889).

### **b) L'appareil digestif**

La bouche donne accès à un œsophage très court qui débouche dans l'estomac, entouré par l'hépatopancréas ou glande digestive avec lequel il communique par des canaux. L'estomac présente un diverticule à paroi interne ciliée, le caecum pylorique, qui contient le stylet cristallin, mince baguette qui vient buter sur un épaississement de la paroi du caecum pylorique : le bouclier gastrique (Gosling, 1992). A demi séparé du sac du stylet par deux phlosolis majeur et mineur (bourellets longitudinaux de l'intestin), la gouttière intestinale décrit une boucle lâche le long du sac du stylet cristallin. Après avoir traversé le cœur au niveau du ventricule, l'intestin se poursuit par le rectum. Le rectum longe la face externe dorsale du muscle adducteur postérieur et se termine par l'anus qui s'ouvre dans la cavité palléale près de la boutonnière.

### **c) L'appareil branchia**

Deux branchies flottent dans la cavité palléale, reliées chacune à la masse viscérale par l'axe branchial. Trois expansions tissulaires très souples unissent entre eux feuillet direct et feuillet réfléchi (la moule est un Fil branche). Chaque feuillet est formé de nombreux filaments étroitement unis par de touffes de cils qui délimitent entre eux des espaces, les ostia. La paroi des filaments est constituée d'un épithélium simple, qui porte de nombreux cils : cils frontaux, latéro-frontaux et latéraux. Ceux-ci sont animés de mouvements ondulatoires incessants qui entretiennent la circulation de l'eau dans la cavité palléale. Le courant créé pénètre entre les lobes du manteau, traverse les feuillets branchiaux par les ostia et ressort par le siphon exhalant. L'intérieur du filament est occupé par un sinus sanguin. Les échanges gazeux de l'hématose se font entre le sang et l'eau de la cavité palléale, constamment renouvelée par les battements des cils. De plus, les branchies jouent un rôle très important dans la capture des particules alimentaires transportées par le courant branchial. (Gosling, 1992).

### **d) L'appareil circulatoire**

Ce système artériel aboutit à des espaces libres sans parois propres les lacunes. Le sang d'une moule a une coloration bleutée due à la présence d'un pigment riche en cuivre: l'hémocyanine. Le sang est distribué par des artères à tous les organes grâce au courant sanguin créé par le cœur (14 à 18 battements par minute). Les veines permettent le transit du sang par les glandes de Bojanus qui font office de reins. Le cœur est formé de deux poches (une grande le ventricule et une petite l'oreillette) est situé près du muscle adducteur dans une enveloppe : le péricarde. Il continue à battre même quand la moule est ouverte (Gosling, 1992).

### e) L'appareil locomoteur

Les moules se déplacent sur le substrat grâce à un pied, en forme de languette, équipé de muscles. Cet organe de locomotion est aussi constitué d'une glande byssogène, qui fabrique le byssus, filaments pourvus à leur extrémité d'une espèce de pastille adhésive permettant la fixation des moules sur un support. Une fois qu'ils sont secrets, les filaments se solidifient au contact de l'eau de mer. (Bouchard, 2004).

### f) L'appareil excréteur

La moule possède deux reins, de chaque côté de la "bosse" de polichinelle, près du péricarde. Chaque rein débute par un pavillon cilié, le néphrostome qui s'ouvre dans le péricarde, puis le tube néphridien se dilate en une poche à paroi avec un épithélium sécréteur. Dans la paroi de cette poche sont logés les sinus sanguins rénaux. L'épithélium sécréteur comprend des cellules à guanine et des cellules ciliées dont les battements entraînent l'urine vers la vessie, puis la cavité palléale au niveau de la papille urogénitale. (Gosling, 1992).

## I.6.7 Le cycle sexuel de la moule

- **Sexualité** : Les sexes sont des espèces gonochoriques, sans dimorphisme sexuel. De très rares cas d'hermaphrodisme ont été signalés chez les Mytilidés par (Boutan, 1900)

- **Maturité**: L'âge des animaux ayant atteint la première maturité sexuelle est variable ; il dépend de la saison de fixation du naissain et des facteurs du milieu agissant sur la croissance et le métabolisme (nutrition, température, salinité, zonation, etc.). D'après nos observations en Méditerranée et en Adriatique, cet âge se situerait entre 5 et 8 mois après la fixation, les animaux atteignant alors des tailles comprises entre 15 et 35 mm de longueur. Les individus fixés en automne peuvent être murs à la fin de l'hiver ou au printemps de l'année suivante (6 à 8 mois) ; ceux fixés au printemps, au début de l'automne (5 à 6 mois)(Coralie Lupo et al., 2020).

## Fécondation

La moule *Mytilus galloprovincialis* se reproduit par fécondation externe au printemps ou en été. Les œufs fécondés donnent naissance à des larves planctoniques (trochophores puis véligères) qui nagent et se nourrissent dans l'eau pendant environ un mois. Ensuite, elles se fixent sur un substrat solide grâce à un filament adhésif appelé byssus, subissent une métamorphose et deviennent des juvéniles benthiques. Les moules grandissent ensuite jusqu'à atteindre leur maturité sexuelle dès la première année. Leur durée de vie varie généralement entre 4 et 20 ans selon les conditions environnementales (Coralie Lupo et al, 2020).

---

***CHAPITRE II :  
MATÉRIEL ET MÉTHODES***

---

## Chapitre II

### II.1 Échantillonnage

#### II.1.1 Présentation de la zone d'étude

, dans la région d'Alger Est, est un site côtier caractérisé par un littoral rocheux et sableux, avec des criques et falaises offrant un habitat naturel diversifié. Cette zone est reconnue pour sa biodiversité marine et terrestre, notamment une diversité d'oiseaux d'eau et des habitats littoraux variés comme les dunes, plages, rochers et zones humides. La bathymétrie y est douce avec des substrats meubles, favorisant les écosystèmes benthiques et la conchyliculture naturelle, notamment des moules (Khalil Souiher, et Mohammed Abdessamed Rezzaz, 2020).

Elle bénéficie d'un climat tempéré chaud avec une température annuelle moyenne d'environ 18 °C et des précipitations annuelles moyennes de 708 mm, (Mohamed Hichem Kara et al. 2018)

. Les coordonnées géographiques précises de cette zone sont 36°47'30'' N et 3°13'0'' E (BOUKRI Khelifa et REZZELI Sonia , 2019) .



**Figure 4.** Carte de la zone d'étude (La zone de Surcouf Plage). Cette figure est générée en utilisant le logiciel ARC GIS (version 10.04.1 (2016-05-31), <https://www.arcgis.com/>

### II.2 Traitement des échantillons

#### II.2.1 Conservation des échantillons

Pour la réalisation de cette étude nous avons effectué un échantillonnage aléatoire à partir d'une moulière sauvage à Ain taya plus précisément Surcouf , on a arraché les moules du substrat au hasard à la main d'une façon artisanale et puis elles ont été transportées dans un temps réduit avec une glacière maintenue à basse température et stockées dans des sachets en plastique au congélateur maintenu à une température de -20° C.

Au laboratoire elles sont triées, nettoyées et débarrassées de leurs épibiontes et de leur byssus. (adapté de Bodoy et al., 1986 ; Hyotylainen et al., 2002).



**Figure 5.** Les moules nettoyées et débarrassées de leurs épibiontes

### II.3 Mesure des paramètres biométriques

#### II.3.1 Mesures et pesée des moules

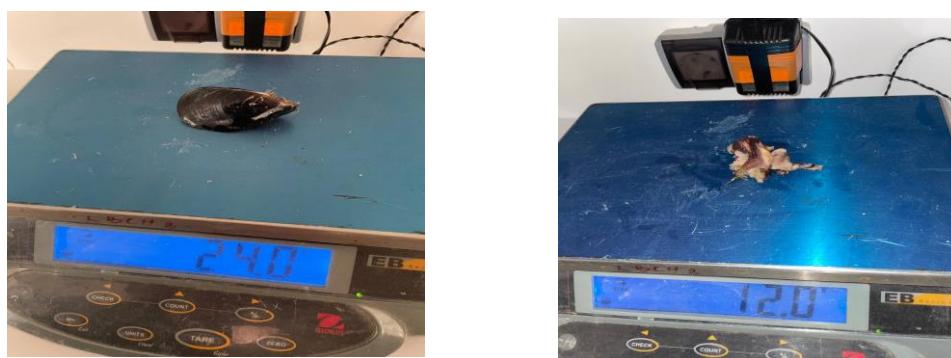


**Figure 6.** Les mesures des paramètres linéaires réalisés

- La mesure des paramètres linéaires a été réalisée à l'aide d'un pied à coulisse manuelle.
- 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 charnière dorsale au bord ventral.
- L'épaisseur maximale (Ep) qui est la largeur maximale de la convexité des deux valves réunies.
- Pour peser le poids total, il faut d'abord nettoyer les moules (enlever saletés et épibiontes).

Et Peser les moules entières, coquilles comprises (Pt).

-Pour peser la chair seule (Pc), il faut Ouvrir les moules, Extraire la chair et bien l'égoutter pour enlever l'eau et Peser uniquement la chair.



**Figure 7.** Pesée de la moule entière et de la chair séparée pour l'évaluation biométrique

### II.3.2 Étude de la croissance

#### II.3.2.1 Distribution des fréquences de taille

Pour établir la distribution des fréquences de taille, les moules récoltées et mesurées ont été classées en groupes de tailles avec un intervalle de 10 mm. Cela a permis de dénombrer le nombre d'individus dans chaque classe de taille. Cette distribution sert également de base à l'étude des paramètres de croissance selon le modèle de Von Bertalanffy, (Aebi, H. (1984).

#### II.3.2.2 Étude de la croissance relative

L'étude de la croissance relative des bivalves a été réalisée à travers une analyse biométrique, qui met en évidence la relation entre la taille et le poids selon la loi

d'allométrie simple, exprimée par l'équation suivante :

$$Y=a \times X^b$$

où :

- Y représente la dimension de l'organe ou la proportion du corps étudié.
- X est la longueur de l'organe de référence.
- a est une constante d'origine.
- b est le coefficient d'allométrie.

Cette relation peut également être linéarisée par transformation logarithmique :

$$\log Y = \log a + b \log X$$

Le coefficient d'allométrie correspond à l'exposant b dans la régression linéaire. Pour déterminer le type d'allométrie, la valeur de b est comparée à une valeur théorique de 3 (Trigui, 1995).

- Si  $b = 3$ , la croissance est isométrique, ce qui signifie que le poids augmente proportionnellement au cube de la longueur.
- Si  $b > 3$ , la croissance est dite allométrie majorante, le poids croît plus rapidement que le cube de la longueur.
- Si  $b < 3$ , la croissance est qualifiée d'allométrie minorant, le poids augmente moins vite que le cube de la longueur.

Ainsi, la croissance d'un paramètre est proportionnellement inférieure ou supérieure à celle du paramètre de référence selon la valeur de b.

Les paramètres a et b sont estimés par régression linéaire, tandis que la qualité de la relation entre les variables est évaluée par le coefficient de détermination R<sup>2</sup>

### **II.4 L'indice de condition**

L'indice de condition (IC) est largement utilisé pour évaluer l'état physiologique des bivalves et constitue un des meilleurs indicateurs de leur état général dans les études environnementales (Hyotylanen et al., 2002). Il s'agit d'un chiffre qui traduit la proportion de chair par rapport au poids total de l'animal. Plus cet indice est élevé, plus l'animal est en bon état physiologique. Il renseigne sur la santé des individus d'une population (Bodoy et Massé, 1979 ; Lucas et Beninger, 1985) et permet d'estimer la quantité de matière organique libérée lors de la reproduction (Bodoy et Massé, 1979). Selon Pellerin–Massicotte (1994), l'IC est également un indicateur global de stress et de santé des organismes.

Cet indice est très utile dans les études environnementales car il permet de :

- ✓ Suivre l'état physiologique des populations au fil du temps ou selon les sites
- ✓ Détecter des périodes de croissance, de reproduction ou de stress (par exemple, après la ponte, l'IC baisse car l'animal a perdu beaucoup de matière organique).
- ✓ Évaluer l'impact de l'alimentation, de la pollution ou d'autres facteurs environnementaux sur la santé des bivalves

Dans cette étude, nous avons suivi l'évolution de l'indice de condition basé sur la chair, qui suggère une croissance lorsque sa valeur augmente . Cet indice reflète aussi l'état physiologique des organismes en lien avec leur alimentation et leur reproduction. (Pellerin-Massicotte et al., 1989)

L'indice de condition est calculé selon la formule suivante :

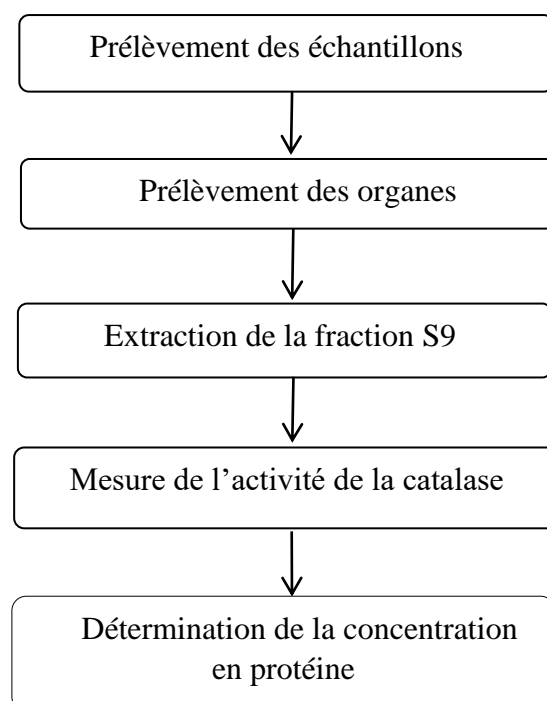
$$IC = (\text{poids de la chair fraîche} / \text{poids total}) \times 100$$

### II.5 Étude de la réponse biologique exprimée par la moule

#### II.5.1 Mesure de l'activité de la catalase

Les mesures sont effectuées sur un seul spécimen du lot

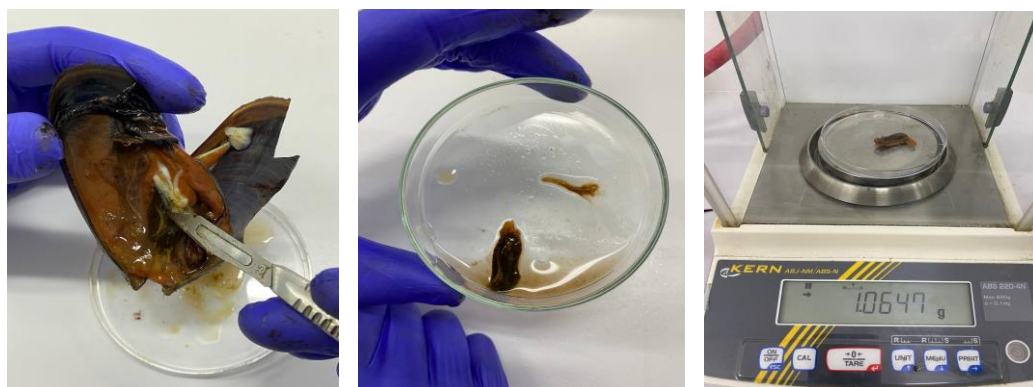
Prélèvement des organes (glande digestive)



**Figure 8.** Schéma synoptique présentant les différentes étapes de l'étude de l'activité catalase

### II.5.1.1 Préparation de la fraction S9

Les glandes digestives ont été prélevées puis pesées.



**Figure 9.** Récupération et pesées de la glande digestive

Une masse de 1.0647g de glandes digestives a été ajoutée à 20 ml de tampon au pH 7, préparé selon le protocole suivant :

- ✧ Peser 12,2 g de dihydrogénophosphate de potassium ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )
- ✧ Peser 12,9 g de dihydrogénophosphate de sodium ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )
- ✧ Compléter avec de l'eau distillée jusqu'à un volume total de 500 ml dans une fiole jaugée
- ✧ Mélanger la solution à l'aide d'un agitateur magnétique
- ✧ L'ensemble a été broyé et homogénéisé à l'aide d'un broyeur de 1000 W, l'homogénat obtenu a ensuite été centrifugé à 9000 tr/min pendant 20 minutes à 4 °C.



**Figure 10.** Images montrant l'homogénat obtenu centrifugé à 9000 tr/min pendant 20 minutes à 4 °C.

Le surnageant, contenant la fraction S9 (c'est-à-dire le cytosol, le réticulum endoplasmique, l'appareil de Golgi et les protéines cytosoliques), a été récupéré pour la détermination de la concentration totale en protéines et la mesure de l'activité de la catalase (CAT).



**Figure 11.** Extraction de la fraction s9

### II.5.1.2 Dosage des protéines totales par la méthode de KJELDAHL

#### Principe général

La méthode Kjeldahl permet de déterminer la teneur en protéines brutes des fourrages à partir de la mesure de l'azote total. L'azote organique de l'échantillon est transformé en ammoniac, puis dosé après distillation et titrage. (AFNOR 1985).

#### 1. Minéralisation

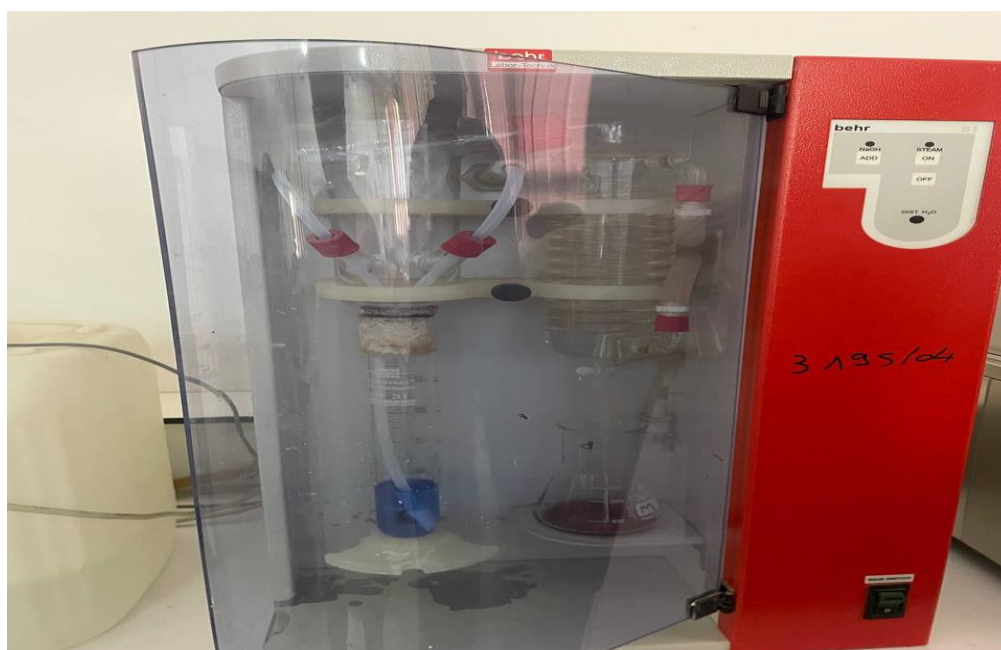
- ✧ Prendre 0,5 à 2 g d'échantillon dans un matras de 250 mL.
- ✧ Ajouter environ 2 g de catalyseur (mélange de  $K_2SO_4$ ,  $CaSO_4$ , Se) et 20 mL d'acide sulfurique concentré.
- ✧ Chauffer jusqu'à décoloration et obtention d'une coloration verte stable.
- ✧ Laisser refroidir, puis ajouter progressivement 200 mL d'eau distillée en agitant et en refroidissant sous courant d'eau.



**Figure 12.** Étape de minéralisation des échantillons lors de la détermination de l'azote total par la méthode de Kjeldahl

### 2. Distillation

- ✧ Transvaser 10 à 50 mL du contenu du matras dans un appareil distillatoire.
- ✧ Ajouter 50 mL de lessive de soude (NaOH) dans l'appareil.
- ✧ Recueillir le distillat dans un bécher contenant 20 mL d'une solution d'acide borique avec indicateur (mélange de rouge de méthyle et vert de bromocrésol dans l'éthanol).
- ✧ L'appareil fonctionne jusqu'à obtenir au moins 100 mL de distillat.



**Figure 13.** Étape de distillation de l'azote ammoniacal dans la méthode de Kjeldahl à l'aide d'un distillateur automatique.

### 3. Titrage :

- ✧ Titrer le distillat avec de l'acide sulfurique N/20 ou N/50 jusqu'au retour à la couleur initiale de l'indicateur.
- ✧ Calculer la quantité d'azote à partir du volume d'acide utilisé, puis la teneur en matières azotées totales (MAT) avec la formule :
- ✧  $N(g) = V1 \times 0,00028 \times 100 / Y \times 250 / V0$
- ✧ où V1 = volume d'acide sulfurique, Y = poids de l'échantillon, V0 = volume de la prise d'essai.
- ✧ La teneur en MAT (% MS) est obtenue par :  $MAT = N \times 6,25 / MS$ . (AFNOR 1985).



**Figure 14.** Titration du distillat avec de l'acide sulfurique

### II.5.1.3 Dosage de l'activité catalase

Dosage de la catalase :

Le stress oxydant se manifeste par la production de nombreuses espèces réactives de l'oxygène potentiellement toxiques (Borg et Schaich, 1984). Dans ce travail, les profils de réponse des antioxydants enzymatiques et non enzymatiques ont été caractérisés par mesure de l'activité de la catalase (CAT) au niveau de la glande digestive de moules.

L'activité enzymatique de la catalase est un facteur très couramment mesuré dans le cadre d'études de biomonitoring des mollusques bivalves.

La catalase est responsable de la réduction du peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène moléculaire.

C'est une enzyme peroxysomale dont la fonction est d'éviter les peroxydations des molécules biologiques induites par l'eau oxygénée.

Cette enzyme est très sensible à certains contaminants inducteurs de stress oxydatif au niveau membranaire, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles (PCB), certains pesticides (comme le paraquat) (Livingstone et al., 1993a), ainsi que les métaux par exemple (Labrot et al., 1996). La catalase est souvent utilisée comme biomarqueur du stress oxydatif dans les études écotoxicologiques.

Dosage :

La réaction est réalisée dans une cuve de spectrophotomètre en quartz. Dans la cuve essai, il faut disposer dans l'ordre :

**Tableau 3.** La réaction de spectrophotométrie

Réactif	ESSAI	BLANC
Tampon phosphate 100 mM, pH 7,4 à 25°C	750 µl	800 µl
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 500 mM (soit 100 mM dans la cuve)	200 µl	200 µl
S9 (1 à 1,5 mg prot/ml)	50 µl	0 µl



**Figure 15.** Lecture de l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre multi-longueurs d'onde

Les catalases sont des enzymes essentielles à la protection cellulaire contre le stress oxydatif, agissant en éliminant les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et en catalysant la dismutation du peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), une molécule toxique, en eau et en oxygène. La méthode employée pour mesurer cette activité enzymatique suit le protocole décrit par Clairborne (1985), qui consiste à surveiller la dégradation du peroxyde d'hydrogène sous l'action de la catalase selon la réaction chimique correspondante

Mesure de l'activité catalase par spectrophotométrie :

Lecture de la densité optique (DO) :

- ✓ Relever la DO à intervalles réguliers : 0 s, 30 s, 60 s, 90 s, 120 s, 150 s, 180 s.
- ✓ Suivre la diminution de la DO à 240 nm, correspondant à la dégradation du peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).
- ✓ Calcul de l'activité spécifique de la catalase :  
L'activité enzymatique est exprimée en µmol de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dégradé par minute et par mg de protéines (µmol·min<sup>-1</sup>·mg<sup>-1</sup>), selon la formule :
- ✓ Activité CAT=(ΔDO/min×1000) ε×V×P

- ✓  $\Delta DO/\text{min} = DO \text{ à } T_0 \text{ s} - DO \text{ à } T_{60} \text{ s}$
- ✓  $V =$  volume de l'échantillon (en mL)
- ✓  $P =$  concentration protéique de l'échantillon (en  $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ )
- ✓  $\varepsilon =$  coefficient d'extinction molaire du  $\text{H}_2\text{O}_2$  à 240 nm :  $0,04 \text{ M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$
- ✓ Préparation du réactif  $\text{H}_2\text{O}_2$  100 mM
- ✓ Mélanger 300  $\mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  à 10 volumes (concentré) avec 9700  $\mu\text{L}$  d'eau distillée.
- ✓ Cette méthode permet de quantifier précisément l'efficacité de la catalase à neutraliser le  $\text{H}_2\text{O}_2$ , marqueur clé du stress oxydatif.

---

***CHAPITRE III :***  
***RÉSULTATS ET DISCUSSION***

---

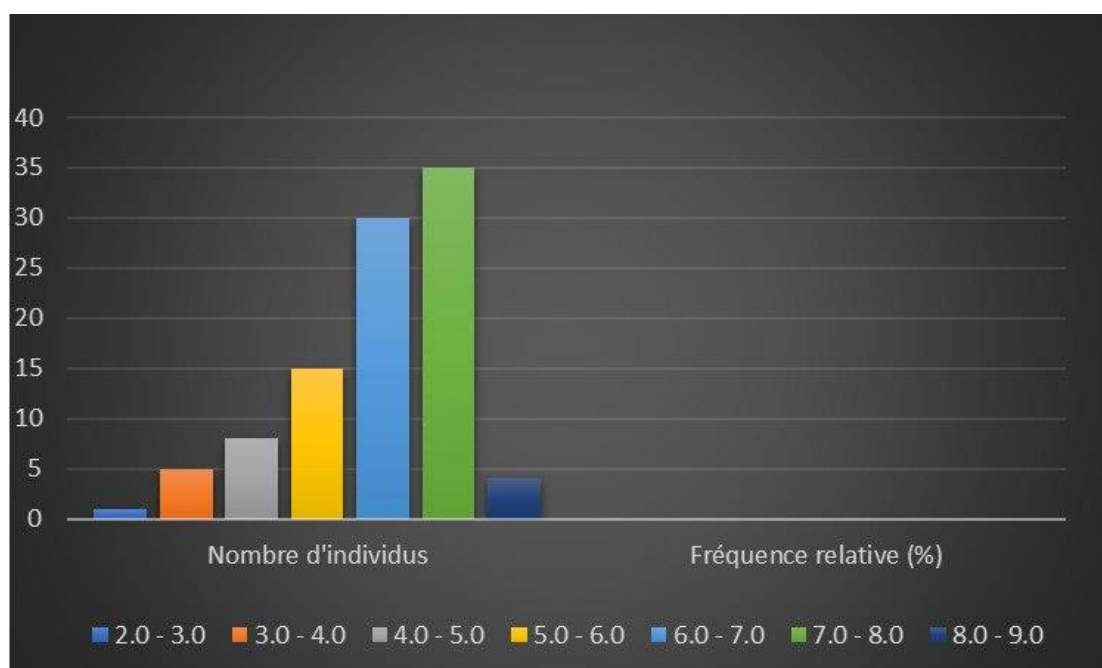
**Chapitre III**

**III.1 Étude de la croissance**

**III.1.1 Distribution des fréquences de taille**

**Tableau 3 :** Distribution des fréquences de taille des individus échantillonnés

Intervalle de taille (cm)	Nombre d'individus	Fréquence relative (%)
2.0 - 3.0	1	1.02%
3.0 - 4.0	5	5.10%
4.0 - 5.0	8	8.16%
5.0 - 6.0	15	15.31%
6.0 - 7.0	30	30.61%
7.0 - 8.0	35	35.71%
8.0 - 9.0	4	4.08%



**Figure 16.** Fréquence relative des individus en fonction des intervalles de taille

### ■ **Analyse de la distribution**

Ce graphique représente une distribution en classes des tailles de l'ensemble d'individus, répartis selon des intervalles de taille (en cm ou mm). L'axe des abscisses présentes les classes de taille, et l'axe des ordonnées donne le nombre d'individus correspondant à chaque classe, ainsi que leur fréquence relative (%).

#### ✓ **Domaine de variation**

- Les tailles des individus s'étendent de 2,0 à 9,0 unités.
- Les classes sont regroupées en intervalles de 1 unité.

#### ✓ **Classe modale**

- La classe [5.0 – 6.0] est la plus représentée, avec environ 35 individus, ce qui correspond à la classe modale.
- Cela indique que la majorité des individus mesurés se concentrent autour de cette taille.

#### ✓ **Tendance centrale**

- La distribution montre une asymétrie positive (décalée à gauche) : le pic se situe entre 4.0 et 6.0, avec une décroissance progressive vers les classes supérieures.
- Cela suggère que l'échantillon est relativement homogène, avec une taille moyenne comprise entre 4.5 et 5.5 unités.

#### ✓ **Fréquence relative cumulée**

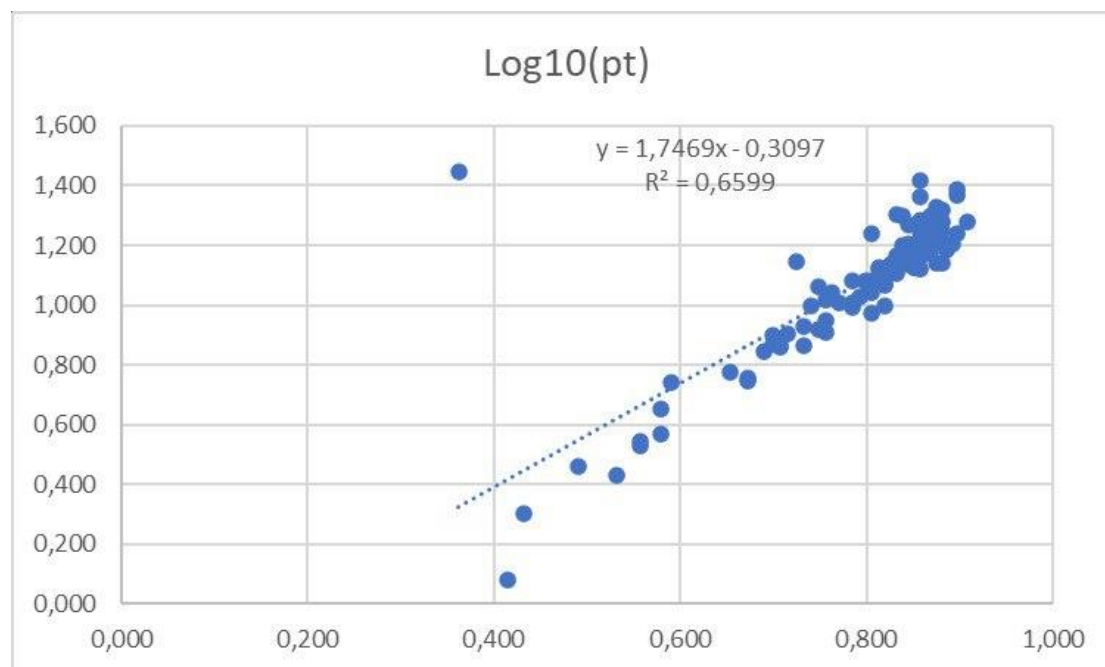
- Les classes [4.0–5.0] et [5.0–6.0] totalisent à elles seules environ 65 % à 70 % de la population. Cela montre une concentration forte autour de la moyenne.

#### ✓ **Présence d'individus extrêmes**

- Les classes extrêmes ([2.0–3.0], [7.0–8.0], [8.0–9.0]) sont très peu représentées.
- Ces individus pourraient correspondre à des juvéniles (petites tailles) ou à des individus matures rares (grandes tailles).

### III.1.2 Étude de la croissance relative

#### Régression entre la taille et le poids total chez les moules



**Figure 17.** Régression entre la taille et le poids total chez la moule *mytilus galloprovincialis* provenant de la moulière sauvage à Ain taya

- ✧ Nature de la relation :
- ✓ La régression entre la taille (longueur totale, Lt) et le poids total (Pt) chez les moules suit généralement une relation allométrique, souvent modélisée par l'équation :  $Pt=aLt+b$  (Gosling, 2003)
- ✓ Pour cette analyse, on utilise une transformation logarithmique (en base 10), ce qui linéarise la relation et donne l'équation suivante :  
 $\log_{10}(Pt)=\log_{10}(a)+b$  et donc,  $\log_{10}(Lt)\log_{10}(Pt)=[\log_{10}(a)+b] \cdot \log_{10}(Lt)$  (Sparre & Venema, 1996).
- ✓ Sur le graphique, l'axe des abscisses correspond probablement à  $\log_{10}(Lt)$  et l'axe des ordonnées à  $\log_{10}(Pt)$ . La droite de régression affichée a pour équation :  $y=1,7469x-0,3097$  où  $y=\log_{10}(Pt)$  et  $x=\log_{10}(Lt)$ .
- ✧ Interprétation des paramètres :

- ✓ Pente ( $a = 1,7469$ ) : Il s'agit de l'exposant allométrique. Ici, la valeur est inférieure à 3, ce qui indique une allométrie minorante (Gosling, 2003) : le poids total augmente moins vite que le cube de la longueur, c'est-à-dire que la croissance pondérale est proportionnellement inférieure à la croissance linéaire.
- ✓ Coefficient de détermination ( $R^2 = 0,6599$ ) : Cela signifie qu'environ 66 % de la variabilité du poids total est expliquée par la taille, ce qui traduit une corrélation assez forte entre les deux variables.
- ✧ Interprétation biologique :  
Chez les moules étudiées, la biomasse totale augmente avec la longueur, mais à un rythme inférieur à celui attendu pour une croissance isométrique ( $b < 3$ ). Ce type d'allométrie minorante est fréquent chez les bivalves et peut s'expliquer par des facteurs morphologiques (forme du corps), biochimiques (composition des tissus), physiologiques (surface d'échange), ou environnementaux.  
La dispersion des points autour de la droite de régression, et notamment la présence d'un point très éloigné, peut s'expliquer par la variabilité individuelle, la condition physiologique, ou d'éventuelles erreurs de mesure. (Seed & Suchanek, 1992 ; Gosling, 2003).

### III.2 Indice de condition

Le graphique représente la distribution des moules en fonction de leur indice de condition (IC), un indicateur biométrique utilisé pour évaluer l'état physiologique des individus (souvent en lien avec leur réserve énergétique ou leur maturité). (Lucas & Beninger, 1985)

La majorité des individus (environ 75 %) se trouvent entre [33, 500 – 47, 000]. (Bodoy & Massé, 1979).

Un indice de condition moyen élevé et une répartition centrée indiquent une population en bon état nutritionnel.

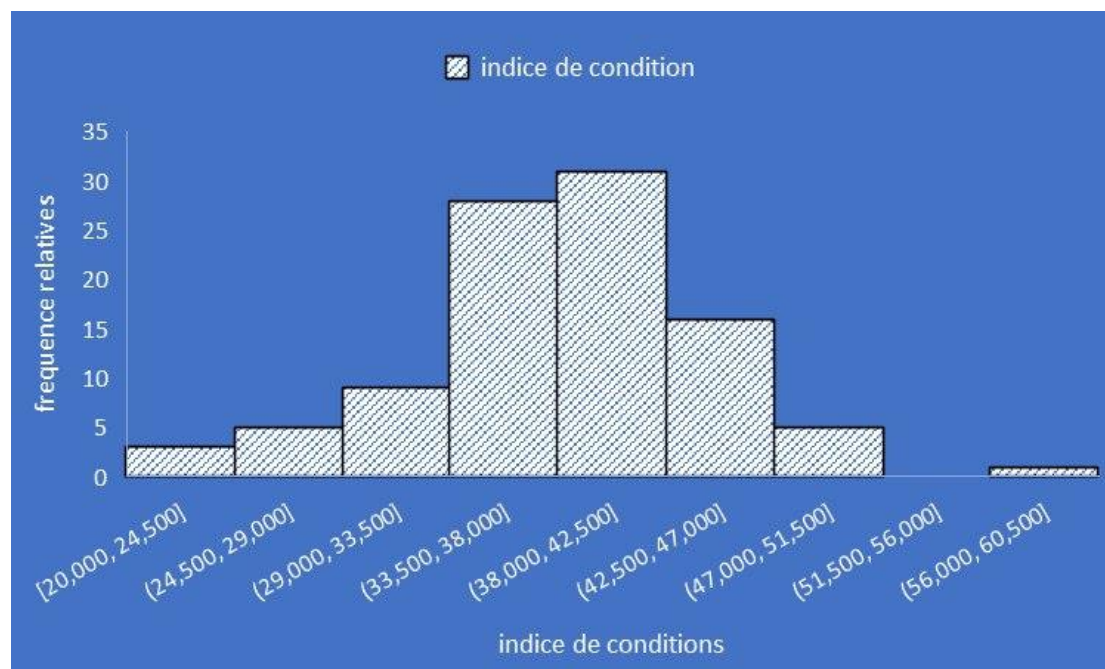
Peu d'individus avec des indices faibles → pas de signe de stress, de maladie ou de carence majeure. (Pellerin-Massicotte, 1994).

La faible proportion d'individus avec un indice très élevé ( $> 51, 500$ ) suggère que peu d'individus sont en phase de réserve maximale (stockage énergétique), ce qui peut être lié au cycle biologique.

Hypothèse : si les moules proviennent d'un milieu de culture (mytiliculture) ou d'un site naturel stable, cette distribution reflète des conditions environnementales favorables (qualité de l'eau, disponibilité alimentaire). (Ifremer, 2000).

La distribution des indices de condition des moules étudiées présente un mode élevé et une faible dispersion, indiquant une population homogène et en bon état physiologique.

L'absence de classes extrêmes significatives suggère que les moules évoluent dans un environnement équilibré sans stress nutritionnel marqué. (Ifremer, 200).



**Figure 18.** Distribution des fréquences relatives de l'indice de condition chez *Mytilus galloprovincialis*

### III.3 Biomarqueurs du stress oxydatif

#### III.3.1 Dosage des protéines

La méthode de Kjeldahl est une technique de référence en chimie analytique pour déterminer la teneur en protéines brutes des échantillons organiques, notamment des fourrages. Le principe repose sur la mesure de l'azote total contenu dans les protéines, puisque les protéines sont constituées en moyenne de 16 % d'azote. La conversion de l'azote total en protéines brutes s'effectue par le facteur empirique 6,25 (AFNOR, 1985)

Dans le but de doser l'activité enzymatique de la catalase, il est indispensable de déterminer la concentration en protéines dans notre échantillon, pour cela, on a utilisé cette formule :

1ml d'H2504 1N → 0,014g d'azote.

N/50 → 0,014/50 = 0,00028 d'azote

N/20 → 0,014/20 = 0,0007 d'azote

$$N = V_e \cdot 0,00028 [100/Y] [250/V_0]$$

$$N = V_e \cdot 0,0007 [100/Y] [250/V_0]$$

$V_e$  : volume équivalent = 0,3

$Y$  : poids de l'échantillon de départ

$V_0$  : volume de la prise d'essai

Application numérique :

$$N = 0,3 \cdot 0,0007 [100/4,5] [250/20] = 0,06 \text{ mg}$$

$$\text{Teneur en protéine} = N \cdot 6,25 = 0,06 \cdot 6,25 = 0,375 \text{ mg}$$

### III.3.2 Dosage de l'activité spécifique de la catalase

L'activité enzymatique spécifique de la catalase a été mesurée par spectrophotométrie, en suivant la dégradation du peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ), ce qui se traduit par une diminution de l'absorbance au cours du temps (Beers & Sizer, 1952 ; Megazyme, 2018).

**Tableau 4.** Présentation de changement de l'absorption par unité de temps dans l'échantillon

Temps (s)	T0	T30	T60	T90	T120
Do (nm)	0,245	0,237	0,236	0,229	0,225

D'après les mesures présentées dans le tableau, l'absorbance (DO) diminue de 0,245 à 0,236 entre 0 et 60 secondes, soit un  $\Delta DO/\text{min} = 0,009$ . L'activité enzymatique spécifique a ensuite été calculée à l'aide de la formule :

$$\text{Activité catalase (nmole.min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}) = (\Delta DO / \text{mn} \times 1000) / (\epsilon \cdot V \cdot P)$$

$$\cdot \epsilon = 0,04 \text{ (coefficient d'extinction molaire, en } \text{mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}\text{)}$$

$$\cdot V = 0,375 \text{ mL (volume de la cuve)}$$

$$\cdot P = 1 \text{ mg (masse protéique de l'échantillon)}$$

$$\Delta DO / \text{min} = DO \text{ à } T_0s - DO \text{ à } T_{60}s = 0,245 - 0,236 = 0,009$$

$$\text{Activité catalase (nmole.min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}) = [0,009 \times 1000] / [0,04 \times 0,375 \times 1000] = 0,6 \text{ nmole.min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$$

### III.4 Discussion

#### Analyse des résultats et comparaison avec la littérature existante

L'activité enzymatique spécifique de la catalase mesurée dans notre échantillon de *Mytilus galloprovincialis* méditerranéennes est de  $0,6 \text{ nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$ . Ce résultat, bien que modeste, confirme une activité enzymatique effective dans les tissus analysés, probablement d'origine peroxysomale, reflétant la capacité antioxydante de ces organismes à dégrader le peroxyde d'hydrogène, un oxydant toxique pour les cellules (Mohammedi, 2018).

En comparaison avec d'autres études réalisées sur *M. galloprovincialis* en Méditerranée, nos valeurs apparaissent nettement plus faibles. Par exemple, Regoli et al. (données PANGAEA, 2021) rapportent des activités variant de 100 à 1000  $\text{nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$  dans les glandes digestives et branchies de moules issues de sites côtiers naturels. De même, Fernández et al. (2012) et Porte et al. (2001) confirment que des moules exposées à des conditions anthropisées ou polluées développent généralement une activité catalasique supérieure.

**Tableau 5.** Comparaison des niveaux d'activité spécifique de la catalase ( $\text{nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$  de protéines) mesurés chez *Mytilus galloprovincialis* en Méditerranée dans différentes études, y compris la présente étude

Étude	Origine & Conditions	Activité catalase ( $\text{nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$ )
notre étude	Moules méditerranéennes, conditions X	0.6
Regoli et al. (2021)	Moules naturelles	~100–1000
Bizerta (Tunisie)	Moules témoins, eau méditerranéenne	Non chiffré mais < exposures

#### Comparaison et interprétation des résultats avec l'étude de Latreche Abire (2020)

Dans notre étude, l'activité enzymatique spécifique de la catalase (CAT) chez *Mytilus galloprovincialis* a été mesurée par spectrophotométrie, en suivant la dégradation du peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), selon la méthode de Beers et Sizer (1952). Nous avons observé une diminution de l'absorbance (DO) de 0,245 à 0,236 entre  $T_0$  et  $T_{60}$  secondes, soit  $\Delta\text{DO}/\text{min} = 0,009$ . L'activité catalasique calculée est de  $0,6 \text{ nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$  de protéines.

Dans l'étude de Latreche Abire (2020), réalisée sur des moules *Mytilus galloprovincialis* élevées en conditions expérimentales et exposées à des métaux lourds, la diminution de l'absorbance ( $\Delta\text{DO}/\text{min}$ ) était de 0,010, correspondant à une activité spécifique de  $0,301 \text{ nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$ .

### **Analyse des écarts**

Bien que les variations d'absorbance soient proches, nos résultats montrent une activité spécifique de la catalase environ deux fois supérieure à celle observée par Latreche. Cette différence s'explique par plusieurs facteurs :

### **Provenance des échantillons et qualité du milieu**

Les moules de notre étude ont été prélevées en milieu naturel (Ain Taya), dans un environnement relativement peu impacté par les polluants. À l'inverse, celles de Latreche provenaient d'un élevage en milieu expérimental enrichi en métaux lourds, substances connues pour induire un stress oxydatif chronique (Dellali et al., 2004). Un stress prolongé peut entraîner une diminution de l'activité enzymatique par inhibition ou dégradation de la catalase.

### **Réponse biologique à la pollution**

Comme l'indiquent Dellali et al. (2001) et Aloisio Torres et al. (2002), *Mytilus galloprovincialis* est capable de moduler son activité enzymatique en fonction du stress environnemental. Une pollution intense ou prolongée peut déséquilibrer la réponse antioxydante et diminuer l'activité enzymatique, ce qui semble être le cas dans l'étude de Latreche.

### **Facteurs génétiques et physiologiques**

Le polymorphisme génétique des moules et l'état physiologique des individus (taille, âge, stade de reproduction) influencent également la réponse enzymatique (Dellali et al., 2001). Les différences entre nos échantillons et ceux de Latreche peuvent refléter ces facteurs

### **Interprétation globale**

Notre activité catalasique relativement plus élevée ( $0,6 \text{ nmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ ) témoigne d'un meilleur état physiologique des moules de notre site d'étude, en cohérence avec un environnement marin peu perturbé. En revanche, les résultats plus faibles de l'étude de Latreche traduisent un stress oxydatif chronique dû à l'exposition aux métaux lourds, avec un possible affaiblissement des capacités antioxydantes naturelles des moules.

Ces comparaisons confirment que l'activité spécifique de la catalase constitue un excellent biomarqueur pour évaluer l'état écologique des milieux côtiers, et qu'elle est fortement influencée par la qualité de l'environnement.

---

## *Conclusion*

---

## CONCLUSION GENERALE

La présente étude, menée sur *Mytilus galloprovincialis* en milieu côtier méditerranéen (plage de Surcouf – Ain Taya), avait pour objectif d'évaluer l'état écologique de l'environnement marin à travers des biomarqueurs du stress oxydatif, en particulier l'activité spécifique de la catalase, et d'examiner l'état physiologique de la population via l'indice de condition.

Les résultats montrent que les moules échantillonnées présentent un indice de condition globalement élevé et homogène, témoignant d'un bon état nutritionnel et d'une absence apparente de stress physiologique majeur. Par ailleurs, l'activité spécifique de la catalase mesurée ( $0,6 \text{ nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$ ) se situe à un niveau relativement bas comparé aux valeurs rapportées dans la littérature pour des moules exposées à des environnements plus dégradés. Ce constat suggère que la population étudiée évolue dans un milieu relativement préservé, avec une faible exposition chronique aux polluants inducteurs de stress oxydatif.

En comparaison avec d'autres études réalisées en Méditerranée, notamment celle de Latreche (2020) sur des moules exposées à des effluents industriels, ou encore les travaux de Porte et al. (2001) et Fernández et al. (2012), les différences observées soulignent l'influence déterminante des conditions environnementales sur la réponse antioxydante des bivalves. Ces résultats confirment la pertinence de l'utilisation combinée de biomarqueurs enzymatiques et d'indices biométriques pour le suivi écologique des milieux marins.

Enfin, cette recherche contribue à enrichir les connaissances sur la biosurveillance des écosystèmes côtiers algériens et ouvre des perspectives intéressantes pour des études futures à plus large échelle, intégrant une approche spatio-temporelle et une batterie plus étendue de biomarqueurs.

---

## *Références bibliographiques*

---

## Références Bibliographiques

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121–126.
- AFNOR. (1985). *Recueil de normes françaises. Produits agricoles alimentaires. Dosage de l'azote. Méthode de Kjeldahl*. Association Française de Normalisation.
- Allen, R. G., & Mieyal, J. J. (2012). Protein-thiol oxidation and cell signaling. *Free Radical Biology and Medicine*, 52(1), 1–3
- Bouchard, R. (2004). *Biologie des mollusques*. Presses de l'Université du Québec.
- Amiard, J. C., Amiard-Triquet, C., Barka, S., Pellerin, J., & Rainbow, P. S. (2000). Metallothioneins in aquatic invertebrates: Their role in metal detoxification and their use as biomarkers. *Aquatic Toxicology*, 76(2), 160–202. [https://doi.org/10.1016/S0166-445X\(05\)00106-0](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(05)00106-0)
- Beers, R. F., & Sizer, I. W. (1952). A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Journal of Biological Chemistry*, 195(1), 133–140.
- Bodoy, A., & Massé, G. (1979). Croissance et teneur en matière organique de *Mytilus galloprovincialis* Lmk. en élevage suspendu dans le bassin de Thau. *Rapport scientifique et technique IFREMER*, 2, 1–25.
- Bodoy, A., Garnier, J., & Geairon, P. (1986). Écophysiologie de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) : méthodes d'étude de la croissance et de la reproduction. *Rapport IFREMER*, 39 p.
- Borg, D. C., & Schaich, K. M. (1984). Oxygen chemistry of tumors: A conceptual framework. *Radiology*, 125(1), 90–94.
- Boucher, J., & Billard, G. (2020). *The Mediterranean: a sea of plastic*. IUCN.
- Boukri, K., & Rezzeli, S. (2019). Étude environnementale de la côte de Surcouf (Alger Est). *Mémoire de Master, Université d'Alger 2*.
- Boutan, L. (1900). Recherches sur les Mytilidés. *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale*, 8, 1–47.
- Clairborne, A. (1985). Catalase activity. In R. A. Greenwald (Ed.), *Handbook of methods for oxygen radical research* (pp. 283–284). CRC Press.
- Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Kaschner, K., Lasram, F. B. R., Aguzzi, J., ... & Voultsiadou, E. (2012). The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. *PloS One*, 7(8), e38473.
- Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., ... & Duarte, C. M. (2015). Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(28), 10239–10244.
- Dachs, J., & Méjanelle, L. (2010). Organic pollutants in coastal waters, sediments, and biota: A relevant driver for ecosystems during the Anthropocene? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 88(1), 1–14.

- Davies, T. W., Duffy, J. P., Bennie, J., & Gaston, K. J. (2014). The nature, extent, and ecological implications of marine light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(6), 347–355.
- Encyclopédie des Sciences de la Nature. (1995). *Les agents polluants*. Éditions Nature.
- European Environment Agency. (2020). *The Mediterranean environment: state and outlook 2020*.
- Feidantsis, K., Pörtner, H. O., & Michaelidis, B. (2020). Stress responses in Mediterranean mussels. *Marine Environmental Research*, 154, 104850.
- Fernández, B., Campillo, J. A., Martínez-Gómez, C., Benedicto, J., Valdés, J., & García, I. (2012). Monitoring of chemical contaminants and biomarkers in mussel (*Mytilus galloprovincialis*) from the Spanish Mediterranean coast. *Marine Pollution Bulletin*, 64(10), 2082–2090.
- Gianazza, E., Brioschi, M., Martinez Fernandez, A., & Banfi, C. (2020). Oxidative stress and cardiovascular biomarkers. *Clinica Chimica Acta*, 501, 49–55.
- Gonzalez-Fernandez, C., Prieto, A., Guillén, N., Martinez-Guitarte, J. L., & Morcillo, G. (2018). Biomarkers for environmental risk assessment in marine mussels: Integrating histological and molecular endpoints. *Marine Pollution Bulletin*, 128, 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.00>
- Gosling, E. (1992). *The Mussel Mytilus: Ecology, Physiology, Genetics and Culture*. Elsevier.
- Gosling, E. (2005). *Marine bivalve molluscs*. John Wiley & Sons.
- Hildebrand, J. A. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 5–20.
- Hook, S. E. (2014). Molecular and cellular biomarkers: Indicators of exposure and effect. In: *Marine Ecotoxicology*, Academic Press, 303–314.
- Hook, S. E. (2014). The role of biomarkers in environmental risk assessment. In A. Amiard-Triquet, C. Amiard & P. Mouneyrac (Eds.), *Environmental assessment of estuarine ecosystems* (pp. 203–224). CRC Press.
- Hook, S. E., Gallagher, E. P., & Sumpter, J. P. (2014). *Molecular biomarkers in aquatic organisms: current applications and future trends*. Elsevier.
- Hyotylainen, T., Oikari, A., & Ruuskanen, J. (2002). Distribution of stress indicators in wild bivalves. *Aquatic Toxicology*, 60(1), 63–76.
- Islam, M. S., & Tanaka, M. (2004). Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 48(7–8), 624–649.

- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771.
- Jourdan, H. (1889). *Anatomie de Mytilus galloprovincialis*. Université de Montpellier.
- Kantin, R., & Pergent-Martini, C. (2007). Bilan de santé écologique des zones littorales : approches biologiques. *Rapport IFREMER*.
- Kara, M. H., Benabdi, S., & Ait Hammou, M. (2018). Le climat méditerranéen algérien : typologie et tendances. *Revue des Sciences de l'Environnement*, 33(1), 22–36.
- Khalil Souiher, & Rezzaz, M. A. (2020). Analyse de la biodiversité et potentialités halieutiques de la côte Est d'Alger. *Rapport de recherche CNDRPA*, 57 p.
- Kruk, J., Aboul-Enein, B. H., & Duchnik, E. (2019). Oxidative stress in biological systems and its relation to oxidative damage and diseases. *Pharmacological Reports*, 71(3), 476–482.
- Labrot, F., Ribera, D., & Porcher, J. M. (1996). The use of antioxidant enzymes in earthworms as biomarkers of environmental pollution. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15(9), 1417–1422.
- Latreche, H. (2020). Contribution à la mesure du stress chez *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819). Mémoire de Master, Université de Tipaza.
- Livingstone, D. R., Lips, F., Garcia Martinez, P., & Pipe, R. K. (1993a). Antioxidant enzymes in the digestive gland of marine mussels (*Mytilus edulis*): Responses to oxidative stress and pollutant exposure. *Marine Environmental Research*, 35(1–2), 143–146.
- Lucas, A., & Beninger, P. G. (1985). The use of physiological condition indices in marine bivalve aquaculture. *Aquaculture*, 44(3), 187–200.
- Mohammedi, A. (2018). Étude comparée des systèmes antioxydants enzymatiques chez différentes plantes. Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri.
- Peakall, D. B. (1994). The role of biomarkers in environmental assessment (1). *Ecotoxicology*, 3(3), 157–160. <https://doi.org/10.1007/BF00117081>
- Pellerin-Massicotte, J. (1994). Indicateurs biologiques du stress environnemental chez les bivalves marins. *Revue canadienne de biologie expérimentale*, 50(2), 97–106.
- Pellerin-Massicotte, J., Martel, L., & Bouchard, B. (1989). Indices de condition chez les mollusques bivalves exposés à la pollution organique. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46(9), 1530–1538.
- Porte, C., Biosca, X., & Albaigés, J. (2001). Apoptosis induction in the hepatopancreas of *Mytilus galloprovincialis* by PAHs: potential as a biomarker of

environmental stress. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(9), 2031–2036

- Trigui, M. (1995). Étude de la croissance de *Mytilus galloprovincialis* en Tunisie. *Mémoire de Magistère, INSTM*, 74 p.
- Van der Oost, R., Beyer, J., & Vermeulen, N. P. E. (2003). Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13(2), 57–149. [https://doi.org/10.1016/S1382-6689\(02\)00126-6](https://doi.org/10.1016/S1382-6689(02)00126-6)
- Viatte, C., Rabhi, K., & Rebourcet, D. (2020). Les pollutions marines : origines, impacts et enjeux de gestion durable. *Revue des Sciences Environnementales*, 31(4), 1583–1609.
- Walker, C. H., Sibly, R. M., Hopkin, S. P., & Peakall, D. B. (2012). *Principles of ecotoxicology*. CRC press.
- Worm, B., Lotze, H. K., Jubinville, I., Wilcox, C., & Jambeck, J. (2006). Plastic as a persistent marine pollutant. *Science*, 315, 781–784.
- WoRMS – World Register of Marine Species. (2024). *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819). Retrieved from <https://www.marinespecies.org>
- Lagadic, L., Caquet, T., & Amiard, J. C. (2000). *Biomarqueurs en ecotoxicologie: aspects fondamentaux*. Lavoisier.
- Molnar, J. L., Gamboa, R. L., Revenga, C., & Spalding, M. D. (2008). Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(9), 485–492.
- Narbonne, J. F., & Michel, D. (1992). Pollution et biomarqueurs chez les organismes marins. *IFREMER Actes de Colloques*, 13, 245–254.
- Newman, M. C. (2014). *Fundamentals of ecotoxicology: the science of pollution*. CRC press.
- Rochman, C. M., Kurobe, T., Flores, I., & Teh, S. J. (2015). Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Science of the Total Environment*, 493, 656–661.
- UNEP. (2018). *Single-Use Plastics: A Roadmap for Sustainability*. United Nations Environment Programme.
- UNEP/MAP. (2016). *Mediterranean Quality Status Report 2016*. United Nations Environment Programme.
- Van der Oost, R., Beyer, J., & Vermeulen, N. P. (2003). Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13(2), 57–149.

- Van Gestel, C. A., & Van Straalen, N. M. (1994). Ecotoxicological test systems for risk assessment on soil ecosystems. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 13(5), 785–792.
- Venier, P., Varotto, L., Rosani, U., Millino, C., Celegato, B., Bernante, F., ... & Pallavicini, A. (2011). Insights into the innate immunity of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis*. *BMC Genomics*, 12(1), 69.
- Viarengo, A., Lowe, D., Bolognesi, C., Fabbri, E., & Koehler, A. (2007). The use of biomarkers in biomonitoring: a 2-tier approach assessing the level of pollutant-induced stress syndrome in sentinel organisms. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 146(3), 281–300.

---

# *Annexes*

---

MOULE	Lt	La	Ep	Pt	Pc	indice de condition	log10(Lt)	Log10(pt)
1	8,1	4,5	2,8	19,10	6,00	31,414	0,908	1,281
2	7,2	3,9	2,6	13,20	4,40	33,333	0,857	1,121
3	7,1	3,6	2,6	13,30	4,20	31,579	0,851	1,124
4	7,6	3,8	2,4	13,80	4,80	34,783	0,881	1,140
5	7,6	4	2,8	17,80	5,40	30,337	0,881	1,250
6	7,4	3,9	3	16,60	5,60	33,735	0,869	1,220
7	7	3,4	2,6	13,60	4,90	36,029	0,845	1,134
8	7,8	4,1	2,6	16,10	5,50	34,161	0,892	1,207
9	7,9	4	3	17,40	6,10	35,057	0,898	1,241
10	6,4	3,2	2,4	9,40	2,40	25,532	0,806	0,973
11	7,7	3,5	2,3	15,30	5,80	37,908	0,886	1,185
12	7,4	3,8	2,4	15,00	5,40	36,000	0,869	1,176
13	6,6	3,4	2,3	11,60	3,30	28,448	0,820	1,064
14	6,9	3,7	2,5	14,40	5,70	39,583	0,839	1,158
15	7,5	3,8	2,8	18,90	7,70	40,741	0,875	1,276
16	6,1	3	2,1	10,20	4,40	43,137	0,785	1,009
17	7,1	3,6	3,2	13,30	5,70	42,857	0,851	1,124
18	7,9	4,1	3,1	24,40	10,40	42,623	0,898	1,387
19	7,2	3,6	2,3	14,50	5,70	39,310	0,857	1,161
20	7,5	4	2,9	18,60	7,80	41,935	0,875	1,270
21	6,8	2,9	2,2	13,50	4,80	35,556	0,833	1,130
22	2,3	4,1	3	28,00	10,10	36,071	0,362	1,447
23	7	4	2,6	16,00	6,50	40,625	0,845	1,204
24	7,4	3,9	2,8	15,50	6,60	42,581	0,869	1,190
25	6,1	3,3	2,6	12,10	4,70	38,843	0,785	1,083
26	7,9	4	2,8	23,40	10,90	46,581	0,898	1,369

27	7,6	4,2	2,3	20,70	8,70	42,029	0,881	1,316
28	7,6	3,8	2,7	16,14	6,00	37,175	0,881	1,208
29	7	4,2	2,5	18,50	7,90	42,703	0,845	1,267
30	7,4	3,5	2,6	20,00	7,70	38,500	0,869	1,301
31	7,2	3,9	2,6	15,50	6,10	39,355	0,857	1,190
32	5,7	2,6	2,3	8,10	3,20	39,506	0,756	0,908
33	7	3,8	2,4	14,50	5,80	40,000	0,845	1,161
34	7,2	4	2,8	19,30	7,80	40,415	0,857	1,286
35	6,7	3,2	2,7	13,70	5,90	43,066	0,826	1,137
36	5,4	2,6	1,8	7,30	2,60	35,616	0,732	0,863
37	6,6	3,3	2,5	11,80	4,70	39,831	0,820	1,072
38	6,9	3,9	2,5	19,80	7,70	38,889	0,839	1,297
39	7,2	3,8	2,7	23,10	9,30	40,260	0,857	1,364
40	6,6	3,7	2,2	13,10	5,40	41,221	0,820	1,117
41	6,5	3,4	2,4	12,50	5,60	44,800	0,813	1,097
42	6,3	3	2,5	12,00	5,10	42,500	0,799	1,079
43	6,4	2,9	2,9	17,30	6,90	39,884	0,806	1,238
44	7,2	3,3	2,6	17,60	8,50	48,295	0,857	1,246
45	7,2	3,6	2,2	14,90	5,30	35,570	0,857	1,173
46	7,1	3,3	2,7	14,30	6,30	44,056	0,851	1,155
47	6,4	3,2	2,3	11,00	4,00	36,364	0,806	1,041
48	7,1	3,3	2,5	14,20	5,60	39,437	0,851	1,152
49	6,8	3,6	2,3	12,80	5,30	41,406	0,833	1,107
50	6,1	3,3	1,8	9,80	3,80	38,776	0,785	0,991
51	7,5	4	2,5	17,30	6,80	39,306	0,875	1,238
52	6,5	3,1	2,4	13,20	5,90	44,697	0,813	1,121
53	4,7	2,7	1,5	5,60	2,30	41,071	0,672	0,748

54	7,5	4	2,5	21,40	7,80	36,449	0,875	1,330
55	5,3	2,8	1,7	14,00	3,90	27,857	0,724	1,146
56	6,9	3,6	2,1	15,90	6,00	37,736	0,839	1,201
57	5,5	3	1,9	9,90	4,00	40,404	0,740	0,996
58	5,1	3	2	7,30	2,60	35,616	0,708	0,863
59	6,7	3,3	2,3	13,60	5,00	36,765	0,826	1,134
60	7,3	3,9	2,6	17,60	6,40	36,364	0,863	1,246
61	7,2	3,6	2,6	26,20	8,10	30,916	0,857	1,418
62	5,9	3,1	1,9	10,20	4,90	48,039	0,771	1,009
63	7,5	3	2,8	17,70	6,40	36,158	0,875	1,248
64	5,6	3,5	1,9	11,50	4,80	41,739	0,748	1,061
65	7,2	3,6	2,6	16,60	5,80	34,940	0,857	1,220
66	7,6	3,7	2,6	18,90	8,30	43,915	0,881	1,276
67	5	2,8	1,6	7,40	3,50	47,297	0,699	0,869
68	4,5	2,4	1,4	6,00	2,20	36,667	0,653	0,778
69	5,6	3	2,1	8,30	3,20	38,554	0,748	0,919
70	6,6	4	2,3	12,80	5,10	39,844	0,820	1,107
71	7,5	3,4	2,7	13,80	4,60	33,333	0,875	1,140
72	6,3	3,1	2,1	11,90	5,60	47,059	0,799	1,076
73	5,7	3,5	2,1	10,40	2,90	27,885	0,756	1,017
74	5,4	3,1	2	8,50	3,60	42,353	0,732	0,929
75	6,8	3,4	2,3	14,60	6,50	44,521	0,833	1,164
76	5,7	3,4	2,1	8,90	3,20	35,955	0,756	0,949
77	6,2	3,2	2,1	10,60	4,00	37,736	0,792	1,025
78	6,4	3,2	2,2	12,10	4,70	38,843	0,806	1,083
79	6,6	3,4	2,2	13,10	4,90	37,405	0,820	1,117
80	6,5	3,6	2,4	13,30	5,80	43,609	0,813	1,124

81	6,6	3,2	2,2	10,00	4,00	40,000	0,820	1,000
82	6,8	3,3	2,8	20,10	9,20	45,771	0,833	1,303
83	5,8	3,2	2,1	11,00	4,40	40,000	0,763	1,041
84	6,7	3,4	2,3	13,30	4,60	34,586	0,826	1,124
85	5,1	2,6	1,8	7,20	2,40	33,333	0,708	0,857
86	5,2	2,8	1,9	8,00	2,90	36,250	0,716	0,903
87	4,7	2,5	1,6	5,70	2,50	43,860	0,672	0,756
88	4,9	2,8	1,9	7,00	3,30	47,143	0,690	0,845
89	3,9	2,2	1,1	5,50	1,10	20,000	0,591	0,740
90	3,8	2	1,3	3,70	1,70	45,946	0,580	0,568
91	5	2,5	1,6	7,90	2,50	31,646	0,699	0,898
92	3,8	2,2	1,8	4,50	1,10	24,444	0,580	0,653
93	3,6	2,1	1	3,40	1,00	29,412	0,556	0,531
94	3,6	2	1,2	3,50	1,00	28,571	0,556	0,544
95	3,4	1,8	1,1	2,70	1,00	37,037	0,531	0,431
96	3,1	1,8	1	2,90	0,70	24,138	0,491	0,462
97	2,6	1,3	0,8	1,20	0,70	58,333	0,415	0,079
98	2,7	1,4	0,7	2,00	0,70	35,000	0,431	0,301



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

Étude technico-économique en vue de l'obtention du diplôme Start-up

Thème :

## Production de pâte à tartiner à base de spiruline

Présenté par :

- Kerrad Aissa

Ouhadi Akrem Abd Rahman

Soutenue le /07/2025, devant le jury composé de :

Année Universitaire : 2024/2025

## Table des matières

Introduction : .....	4
Le premier axe : Présentation du projet .....	5
<b>1.</b> L'idée de projet : .....	5
<b>2.</b> Les valeurs proposées : .....	5
<b>3.</b> Équipe de travail : .....	6
<b>4.</b> Objectifs du projet : .....	6
<b>5.</b> Calendrier de réalisation de projet : .....	6
Deuxième axe : Aspects innovants .....	7
<b>1.</b> Nature des innovations : .....	7
<b>2.</b> Domaines d'innovation : .....	7
Troisième axe : Analyse stratégique du marché.....	8
<b>1.</b> Le segment du marché : .....	8
<b>2.</b> Mesure de l'intensité de la concurrence : .....	8
<b>3.</b> La stratégie marketing : .....	9
Quatrième axe : Plan de production et organisation .....	10
<b>1.</b> Le processus de production : .....	10
<b>2.</b> L'approvisionnement : .....	11
<b>3.</b> La main d'œuvre : .....	11
<b>4.</b> Les principaux partenaires : .....	12
Cinquième axe : Plan financier .....	13
<b>1.</b> Les couts et charges : .....	13
<b>2.</b> Le chiffre d'affaires : .....	14
<b>3.</b> Les comptes de résultats escomptés : .....	15

4. Le plan de trésorerie : .....	17
Sixième axe : Prototype expérimental.....	19

**Carte d'information****1. Équipe d'encadrement :**

Équipe d'encadrement (à titre indicatif)	
Encadrant principal :	Spécialité : Aquaculture
Co-encadrant 01 :	Spécialité : Aquaculture

**2. Équipe de projet :**

Étudiant	Faculté	Spécialité
KERRAD Aissa	ENSSMAL	Aquaculture
OUHADI Akrem abd raman	ENSSMAL	Aquaculture

## 1) INTRODUCTION

Face aux défis croissants liés à la sécurité alimentaire, à la nutrition et au développement durable, l'exploration de nouvelles sources alimentaires saines et respectueuses de l'environnement s'impose comme une priorité. La spiruline (*Arthrospira platensis*), une cyanobactérie filamenteuse reconnue pour sa richesse exceptionnelle en protéines, vitamines, minéraux, et antioxydants, suscite un intérêt grandissant tant auprès des scientifiques que du grand public.

Cultivée de manière écologique, avec une faible empreinte environnementale, la spiruline représente une alternative précieuse pour compléter les apports nutritionnels, notamment dans le cadre de la lutte contre la malnutrition ou pour répondre aux attentes des consommateurs soucieux de leur santé.

Cependant, malgré ses atouts nutritionnels indéniables, la spiruline reste encore peu intégrée dans l'alimentation quotidienne en raison de son goût prononcé et de son aspect peu attractif. Pour répondre à ce défi, l'innovation agroalimentaire permet aujourd'hui de développer de nouvelles formes de consommation plus adaptées aux préférences gustatives. Dans cette optique, la transformation de la spiruline en pâte chocolatée à tartiner constitue une approche prometteuse, associant plaisir gustatif et bienfaits nutritionnels.

Ce projet de fin d'études s'inscrit ainsi dans cette dynamique : il vise à optimiser la culture de spiruline en conditions contrôlées, à maîtriser ses étapes de transformation, et à concevoir une pâte à tartiner enrichie en spiruline, alliant qualités organoleptiques et valeur nutritionnelle. Ce travail explorera les procédés technologiques, les formulations possibles, ainsi que l'acceptabilité du produit final par les consommateurs

## **Le premier axe : Présentation du projet**

### **1. L'idée de projet :**

Section 1 : Origine de l'idée : L'idée est née de l'observation de deux tendances majeures sur le marché algérien : la recherche de produits alimentaires sains et innovants, et l'engouement pour les pâtes à tartiner originales (ex : succès des goûts Kinder, pistache, caramel). L'intégration de la spiruline, super-aliment localement disponible, répond à la demande de nutrition fonctionnelle.

Section 2 : Pourquoi ce choix ?

Différenciation : Aucun concurrent n'offre de pâte à tartiner avec des valeurs nutritionnelles élevés (protéines, moins de sucre...) en Algérie, c'est pour cela on a développer une recette avec la spiruline

Santé : La spiruline est reconnue pour ses bienfaits (protéines, fer, antioxydants). Innovation : Le tube gradué offre praticité, hygiène et dosage précis.

Tendance : Les consommateurs algériens, surtout les jeunes et familles urbaines, sont friands de nouveautés et de formats pratiques.

### **2. Les Valeurs proposent :**

Modernité : Premier produit algérien à intégrer de la spiruline dans une pâte à tartiner.

Performance : Richesse en protéines, fer et antioxydants.

Accessibilité : Format pratique (tube) et prix compétitif.

Pâte à tartiner premium, saine, riche en spiruline et sans huile de palme

Large choix de saveurs (chocolat, bueno, pistache, caramel, etc.)

Ingrédients naturels et locaux

Positionnement « super Food » et plaisir

Avantages Concrets du Tube Gradué

Fonctionnalité Technique	Bénéfice Client	Donnée
Graduations 25g	Dosage nutritionnel précis	Marge d'erreur $\pm 0.3g$
Valve anti-gaspillage Certifié	Réduction de 23% du produit perdu	
Embout ergonomique Optimisé	Utilisation à une main	Angle 45°

### 3.Équipe de travail :

L'équipe fondatrice réunit des compétences en agroalimentaire, nutrition, marketing et gestion d'entreprise.

#### 3.1. Direction Générale

- Directeur Général (CEO) [ ouhhadi akram, ingenieure d'état en aquaculture ,porteur d'un master en sciences de la nature, le propriétaire de l'idée ]

Supervise l'ensemble de l'entreprise, prend les décisions stratégiques, représente la société auprès des partenaires et investisseurs.

Chef exécutif [ kerrad aissa, ingenieure d'état en aquaculture ,porteur d'un master en sciences de la nature ]

#### 3.2. Département Recherche et Développement (R&D)

- Directeur R&D
- Ingénieurs agroalimentaires

Développent la recette, s'assurent de la stabilité du produit, travaillent sur l'innovation (goût, texture, nutrition).

- Spécialistes nutrition

**4.Objectifs du projet :**

Court terme : Lancement du prototype en 2024.

Moyen terme : 15 % de parts de marché des pâtes à tartiner en Algérie d'ici 5 ans.

**5.Calendrier de réalisation de projet :**

<b>Phase</b>	<b>Activités</b>	<b>Durée</b>	<b>Livrables</b>
<b>1</b>	Étude technique	2 mois	Rapport formulation
<b>2</b>	Prototypage	3 mois	5versions test
<b>3</b>	Tests consommateurs	1 mois	300 évaluations
<b>4</b>	Industrialisation	4 mois	Ligne de remplissage

**Deuxième axe : Aspects innovants :****1. Nature des innovations :****Innovations Produit :**

Texture : Système émulsifiant naturel pour masquer le goût d'algue

Stabilité : Procédé basse température (<45°C) préservant les nutriments

Couleur : Ajout naturel de carotte pourpre pour atténuer la teinte verte

**Innovations Packaging**

Matériau : Multicouche PE/ALU/PE (barrière à 99% O2)

Ergonomie : Embout souple anti-gouttes

## Troisième axe : Analyse stratégique du marché :

### 1. Le segment du Marché :

#### 1. Segmentation démographique

- **Âge** : 18-45 ans (jeunes adultes, jeunes parents, étudiants, jeunes professionnels)
- **Genre** : Hommes et femmes, sans distinction particulière
- **Situation familiale** : Célibataires, couples, familles avec enfants

#### 2. Segmentation géographique

- **Zone urbaine** : Principalement grandes villes (Annaba, Alger, Oran, Constantine)
- **Zone périurbaine** : Population ayant accès aux magasins bio ou aux points de distribution spécialisés
- **Extension future** : Régions du Maghreb et d'Afrique pour l'export

#### 3. Segmentation socio-économique

- **Niveau de revenu** : Moyen à élevé (capacité à acheter des produits premium et innovants)
- **Niveau d'éducation** : Moyen à supérieur (sensibilisation à la nutrition et à la santé)
- **Profession** : Étudiants, cadres, professions libérales, sportifs, influenceurs santé

#### 4. Segmentation psychographique

- **Style de vie** :
  - Actifs, pressés, recherchant des solutions pratiques et saines
  - Sportifs et adeptes du fitness (besoin de protéines végétales)
  - Végétariens, végétariens, flexitariens
  - Consommateurs soucieux de leur santé et de l'environnement
- **Values**:
  - Préférence pour le naturel, le bio, le local
  - Sensibilité à l'innovation alimentaire
  - Recherche de produits sans additifs chimiques ni sucres raffinés

#### 5. Segmentation comportementale

- **Motivation d'achat** :

- Recherche de produits fonctionnels (nutrition, énergie, récupération)
- Intérêt pour les nouveautés et les superaliments
- Préférence pour les emballages pratiques et hygiéniques
- **Fréquence d'achat :**
  - Consommation régulière (petit-déjeuner, snack, après-sport)
  - Achat impulsif lors de promotions ou d'événements (salons, foires)
- **Canaux d'achat :**
  - Boutiques bio, magasins spécialisés, pharmacies
  - Vente en ligne (site web, réseaux sociaux)
  - Marchés locaux et événements sportifs

### 1.1 Présentation de la concurrence (Benchmark)

- Principaux concurrents : El Mordjene, Nella Délice, autres marques locales de pâte à tartiner.
- Forces des concurrents : Saveurs classiques (chocolat, noisette, pistache), formats familiaux, bonne distribution.
- Faiblesses : Peu d'innovation, pas de spiruline, formats peu pratiques pour le dosage.

### 1.2 Gamme des produits offerts par les concurrents

Chocolat/noisette classique La tailles estimé est 400 ton

Pistache, caramel, goût Kinder

Aucun concurrent n'offre de produit enrichi à la spiruline ni de tube gradué.

### 2.Mesure de l'intensité de la concurrence :

Le marché algérien des pâtes à tartiner présente une densité concurrentielle élevée, dominée par des acteurs établis comme Nutella (15% de parts de marché) et El Mordjene (15%) maxon 30% Optila 20% happy10% et autre 5% . Malgré cette concentration, Notre produit se distingue par :

- Innovation technologique (brevet de micro-encapsulation)
- Positionnement santé (15g de protéines/100g vs 4-6g pour les concurrents)
- Format pratique (tube gradué unique sur le marché)

L'indice de concentration (CR4 = 100%) confirme un marché oligopolistique, mais notre ciblage des niches (sportifs, consommateurs santé) et notre stratégie omnicanale (pharmacies, e-commerce) réduisent la pression concurrentielle directe.

## 2.1 Analyse SWOT

### Forces

**Innovation produit** : Première pâte à tartiner à base de spiruline en tube gradué sur le marché algérien, apportant une réelle différenciation face aux pâtes classiques (cacao, noisettes, dattes).

**Valeur nutritionnelle** : Riche en protéines, fer, vitamines, antioxydants, magnésium, potassium, phosphore, fibres – répond aux besoins des sportifs, végétariens et personnes soucieuses de leur santé.

**Emballage pratique** : Tube gradué, hygiénique, économique, permettant un dosage précis et une réduction du gaspillage alimentaire.

**Produit naturel** : Sans additifs chimiques, sans huile de palme, sans sucre raffiné, ni conservateurs.

**Proximité des matières premières** : Accès facile à la spiruline locale et à d'autres ingrédients bio grâce à l'implantation à Annaba.

**Testé et validé** : Prototype déjà testé auprès d'un panel de consommateurs, avec des retours positifs sur le goût, la texture et la praticité.

### Faiblesses :

Faible notoriété : Nouvelle marque, peu connue du grand public, nécessitant des efforts de communication importants pour s'imposer face aux leaders du marché.

**Coût de production élevé :** La spiruline et les ingrédients bio ont un coût supérieur, impactant le prix final du produit et sa compétitivité.

**Difficulté de conservation :** La spiruline fraîche se conserve mal, obligeant à utiliser de la spiruline séchée ou à travailler sur des procédés de stabilisation.

**Distribution limitée :** Début de commercialisation principalement en magasins bio, e-commerce et pharmacies les magasins , absence de réseau de grande distribution au lancement.

**Ressources humaines limitées :** Petite équipe, dépendance à des partenaires externes pour la production, la logistique ou le contrôle qualité.

**Opportunités :**

**Tendance santé et bien-être :** Croissance rapide du marché des aliments fonctionnels, naturels et bio, notamment chez les jeunes, sportifs et familles urbaines.

**Élargissement du marché :** Possibilité de diversification vers d'autres produits à base de spiruline (barres énergétiques, boissons, snacks), ou d'autres superaliments.

**Exportation :** Fort potentiel d'export vers les pays du Maghreb, d'Afrique et d'Europe, où la demande pour les produits sains et innovants est en hausse.

**Croissance du marché de la spiruline :** Le marché mondial de la spiruline est en forte expansion, avec un taux de croissance annuel prévu de 10,1 % jusqu'en 2032.

**Nouveaux modèles de distribution :** Développement du e-commerce alimentaire, vente directe, box santé, etc..

**Menaces :**

**Concurrence accrue :** Marques locales de pâtes à tartiner bio (dattes, amandes) et grandes marques industrielles (Nutella, pâte d'arachide) bien implantées et bénéficiant d'une forte notoriété.

**Barrières réglementaires :** Risques liés à la réglementation alimentaire, à l'exportation ou à la labellisation bio.

**Sensibilité au prix :** Les consommateurs peuvent privilégier des produits moins chers, même au détriment de la qualité nutritionnelle.

**Réticence à l'innovation** : Certains consommateurs peuvent être réticents à essayer un produit à base d'algues, perçu comme atypique ou ayant un goût particulier.

Contraintes logistiques et climatiques : La production de spiruline dépend de conditions climatiques spécifiques et d'un approvisionnement régulier, ce qui peut impacter la constance de la qualité et des coûts.

**Concurrence des autres superaliments** : Le marché des aliments santé est aussi tiré par d'autres ingrédients tendance (chia, goji, matcha), pouvant détourner une partie de la clientèle

### **3. La stratégie marketing:**

#### **3.1 Présentation de la charte de notre entreprise**

Innovation, santé, transparence, plaisir, engagement local.

#### **3.2 Le produit et ses caractéristiques**

Pâte à tartiner à la spiruline, multi-saveurs (chocolat, caramel, pistache, bueno), sans huile de palme, en tube gradué recyclable.

#### **3.3 Formules et prix**

Prix légèrement supérieur à la moyenne, justifié par la qualité et le packaging.

#### **3.4 Stratégie de communication (Promotion)**

Campagnes digitales, influenceurs algériens, dégustations en magasins, mise en avant des bénéfices santé et du packaging pratique.

#### **3.5 Stratégie de placement**

Grandes surfaces, magasins bio, boutiques spécialisées, vente en ligne.

#### **3.6 Stratégie de distribution**

Distribution sélective, partenariats avec enseignes nationales et plateformes e-commerce.

### **Quatrième axe : Plan de production et organisation**

#### **1. Processus de production**

- Achat spiruline séchée

- Réhydratation et transformation en pâte homogène
- Mélange avec ingrédients naturels (huile, datte, miel)
- Mise en tube, scellage et étiquetage

## **2. Approvisionnement**

- Fournisseurs locaux de spiruline (fermes artisanales)
- Ingrédients complémentaires issus d'agriculture biologique
- Contrats annuels avec conditions flexibles

## **3. Main d'œuvre**

- 6 employés polyvalents
- 1 ingénieur Agro-Alimentaire
- 1 responsable qualité

## **4. Partenaires clés**

- Incubateur universitaire (mentorat, réseau)
- Laboratoire d'analyse microbiologique

Fournisseurs de packaging

## **4. Les principaux partenaires :**

- Fournisseurs
- Distributeurs (GMS, épicerie fines, e-commerce)
- Consommateurs finaux, influenceurs culinaires
- Clients
- CNRC
- ENAPI
- ENSSMAL
- La Banque
- Ministère

## Cinquième axe : Plan financier

### 1. Les couts et charges :

#### 1. Besoins de démarrage

	<b>Montant</b>
Frais d'établissement	250,00
Frais d'ouverture de compteurs	
Logiciels, formations	
Dépôt marque	
Droits d'entrée	
Achat fonds de commerce ou parts	
Droit au bail	
Caution ou dépôt de garantie	
Frais de dossier	
Frais de notaire ou d'avocat	
Enseigne et éléments de communication	
Achat immobilier	
Travaux et aménagements	3 000,00
Matériel	40 000,00
Matériel de bureau	200,00
Stock de matières et produits	5 000,00
Trésorerie de départ	5 000,00
<b>TOTAL</b>	<b>53 450,00</b>

Dépenses / Investissements	Montant estimé (DZD)	Explications
Frais d'établissement	250 000	Création de l'entreprise, formalités administratives
Frais d'ouverture de compteurs (eau, élec)	100 000	Mise en service des locaux

## 2. Financement des besoins de démarrage

	<b>Montant</b>
Apport personnel ou familial	8 450,00
Apports en nature (en valeur)	
Prêt bancaire	
Prêt bancaire	
Subvention	45 000,00
Autre financement	
<b>TOTAL</b>	<b>53 450,00</b>

Source de financement	Montant (DZD)
Apport personnel/familial	3 000 000
Prêt bancaire (jusqu'à 90% possible)	10 000 000
Subventions publiques (ANSEJ, ANDI, etc.)	2 050 000
<b>TOTAL</b>	<b>15 050 000</b>

### 3. Charges fixes annuelles

	<i>Montant année 1</i>	<i>Montant année 2</i>	<i>Montant année 3</i>
Assurances	100,00	110,00	120,00
Téléphone, internet	20,00	20,00	20,00
Autres abonnements	-	-	-
Carburant, transports	150,00	150,00	200,00
Frais de déplacement et hébergement			
Eau, électricité, gaz	400,00	450,00	500,00
Mutuelle	-	-	-
Fournitures diverses	100,00	110,00	150,00
Entretien matériel et vêtements	120,00	130,00	150,00
Nettoyage des locaux			
Budget publicité et communication			
Loyer et charges locatives	000,00 <sup>1</sup>	800,00	500,00 <sup>1</sup>
Expert comptable, avocats	-	-	-
Frais bancaires et terminal carte bleue	-	-	-
Taxes, CFE			
<b>Autres charges (inscrire libellé ci-dessous)</b> :			
<b>TOTAL</b>	<b>890,00<sup>1</sup></b>	<b>770,00<sup>1</sup></b>	<b>640,00<sup>2</sup></b>

#### 4. Chiffre d'affaires prévisionnel (1ère année)

Supposons une production artisanale semi-industrielle, avec une capacité de 500 pots/mois (150g/pot), vendus à 600 DZD l'unité (prix moyen du marché pour une pâte à la spiruline premium).

<b>Année 1 - <u>Vente de marchandises</u></b>	<b>Nombre de jours travaillés</b>	<b>Chiffre d'affaires moyen / jour</b>	<b>Chiffre d'affaires mensuel</b>
Mois 1	22		-
Mois 2	22	1 500,00	33 000,00
Mois 3	22	1 500,00	33 000,00
Mois 4	22	1 500,00	33 000,00
Mois 5	22	1 500,00	33 000,00
Mois 6	22	1 500,00	33 000,00
Mois 7	22	1 500,00	33 000,00
Mois 8	22	1 500,00	33 000,00
Mois 9	22	1 500,00	33 000,00
Mois 10	22	1 500,00	33 000,00
Mois 11	22	1 500,00	33 000,00
Mois 12	22	1 500,00	33 000,00
<b>TOTAL</b>			<b>363 000,00</b>

Hypothèse de croissance : +15% la 2e année, +20% la 3e année (effet notoriété, distribution accrue).

#### 5. Charges variables

Coût d'achat des marchandises (matières premières) : 50% du prix de vente (spiruline, noisettes, cacao, sucre, emballages, etc.), soit 1 800 000 DZD/an pour la première année.

#### 6. Besoins en fonds de roulement

Durée moyenne des crédits clients : 30 jours

Durée moyenne des dettes fournisseurs : 60 jours

Le besoin initial en fonds de roulement couvre le stock et les décalages de paiement (environ 2 000 000 DZD).

## 7. Salaires employés et rémunération du dirigeant

Salaires employés : 2 ouvriers de production (30 000 DZD/mois chacun), 1 commercial (40 000 DZD/mois)

	Année 1	Année 2	Année 3
Salaires employés ( <b>net</b> )	3 000,00	3 000,00	3 000,00
Rémunération <b>nette</b> dirigeant(s)	2 000,00	3 000,00	4 000,00

## 8. Rentabilité et trésorerie

Rentabilité attendue : Projet rentable dès la 2e année si la production et la distribution suivent la croissance prévue.

Trésorerie de départ : Adéquate si le plan de financement est respecté et si l'accès au crédit/subventions est effectif.

## 9. Points-clés spécifiques à la filière spiruline en Algérie

La spiruline locale est disponible et en croissance, ce qui réduit la dépendance à l'importation.

Le marché algérien est favorable à l'innovation alimentaire, notamment pour des produits sains et naturels. Les autorités encouragent fortement les projets agroalimentaires innovants, avec des facilités administratives et bancaires

# Investissements et financements

Projet : *green choco*  
 Porteur de projet : *ouahhadi akram et KERRAD Aissa*

INVESTISSEMENTS	Montant € hors taxes
Immobilisations incorporelles <i>Frais d'établissement</i>	250,00 250,00

<i>Frais d'ouverture de compteurs</i>		
<i>Logiciels, formations</i>		
<i>Dépôt marque</i>		
<i>Droits d'entrée</i>		
<i>Achat fonds de commerce ou parts</i>		
<i>Droit au bail</i>		
<i>Caution ou dépôt de garantie</i>		
<i>Frais de dossier</i>		
<i>Frais de notaire ou d'avocat</i>		
<b>Immobilisations corporelles</b>		<b>43 200,00</b>
<i>Enseigne et éléments de communication</i>		
<i>Achat immobilier</i>		
<i>Travaux et aménagements</i>		3 000,00
<i>Matériel</i>		40 000,00
<i>Matériel de bureau</i>		200,00
<b>Stock de matières et produits</b>		<b>5 000,00</b>
<b>Trésorerie de départ</b>		<b>5 000,00</b>
	<b>TOTAL BESOINS</b>	<b>53 450,00</b>
<b>FINANCEMENT DES INVESTISSEMENTS</b>		<b>Montant € hors taxes</b>
<b>Apport personnel</b>		<b>8 450,00</b>
<i>Apport personnel ou familial</i>		8 450,00
<i>Apports en nature (en valeur)</i>		-
<b>Emprunt</b>	<i>taux</i> <i>durée mois</i>	-
<i>Prêt bancaire</i>		-
<i>Prêt bancaire</i>		-
		-
<b>Subvention</b>		<b>45 000,00</b>
		-
<b>Autre financement</b>		
	<b>TOTAL RESSOURCES</b>	<b>53 450,00</b>

## Sixième axe : Prototype expérimental

### 1. Objectifs du Prototype

- **Valider la recette** : Trouver le bon équilibre entre goût, texture et valeur nutritionnelle.
- **Tester le conditionnement** : Vérifier la praticité du tube gradué et son impact sur la conservation.
- **Évaluer l'acceptabilité** : Mesurer l'adhésion des consommateurs cibles (sportifs, végétariens, familles).

### 2. Conception du Prototype

Élément	Détails
<b>Formulation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Base : Spiruline algérienne déshydratée (70%) + liants naturels (miel de Ghardaïa, huile d'amande).</li> <li>- Variantes testées : Ajout de dattes (pour sucrer) ou de cacao (pour un goût chocolaté).</li> </ul>
<b>Texture</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pâte lisse et onctueuse (sans grumeaux) grâce à un mélangeur industriel de laboratoire.</li> <li>- Test de viscosité pour éviter les écoulements dans le tube.</li> </ul>
<b>Conditionnement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tube en plastique alimentaire recyclable (50 ml) avec bouchon sécurisé.</li> <li>- Graduations pour doser les portions (1 graduation = 10 g).</li> </ul>
<b>Étiquetage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Étiquette biodégradable avec QR code vers les infos nutritionnelles et l'origine des ingrédients.</li> </ul>

#### 4. Améliorations Apportées

- **Recette :**
  - Réduction de l'amertume de la spiruline par ajout de vanille naturelle.
  - Optimisation de la texture avec de la gomme guar (sans gluten).
- **Packaging :**
  - Ajout d'une membrane de sécurité sous le bouchon pour garantir la fraîcheur.
  - Design ergonomique pour une ouverture à une main.

#### 5. Prochaines Étapes

- **Test à plus grande échelle :** Distribution de 500 échantillons dans des salles de sport et magasins bio à Annaba.
- **Optimisation industrielle :** Adaptation du procédé pour une production à grande échelle (20 000 tubes/mois).
- **Certifications :** Obtention du label bio algérien et tests sanitaires complémentaires.

## Business Model Canvas : Pâte à tartiner à la spiruline :

<b>Partenaires clés</b>	<b>Activités clés</b>	<b>Proposition de valeur</b>
- CNRC	- Formulation et production	- Produit sain, naturel, riche en spiruline
- Fournisseurs	- Packaging et conditionnement	- Conditionnement en tube gradué, hygiénique et pratique
- La Banque	- Contrôle qualité	- Produit innovant destiné aux sportifs, végétariens, familles
- ENSSMAL	- Commercialisation et marketing digital	- Facilité d'usage et de dosage
- ENAPI	- Gestion logistique et distribution	
<b>Relations clients</b>	<b>Canaux de distribution</b>	<b>Segments de clients</b>
- Application mobile de suivi commande	- E-commerce (site web, app)	- Sportifs
- Réseaux sociaux / newsletters	- Magasins bio	- Végétariens / végétariens
- Animation salons & foires	- Pharmacies partenaires	- Consommateurs soucieux de leur santé
- Service client dédié	- Vente directe lors d'événements	- Familles urbaines
<b>Ressources clés</b>	<b>Structure de coûts</b>	<b>Sources de revenus</b>
- Équipe R&D (biotechnologie, agroalimentaire)	- Achat de matières premières	- Vente unitaire du tube (500 DA/pièce)
- Matériel de production et conditionnement	- Salaires et charges sociales	- Vente par lots (pack de 3 ou 6)
- Outils marketing (site, application)	- Logistique et transport	- Vente en ligne et en magasin
- Laboratoire de contrôle qualité	- Publicité et communication	- Offres promotionnelles abonnements mensuels

## **Conclusion :**

Le projet de création d'une pâte à tartiner à base de spiruline conditionnée dans un tube gradué incarne une initiative innovante, à la fois responsable et en phase avec les tendances actuelles en matière de nutrition et de consommation. En capitalisant sur les atouts exceptionnels de la spiruline — source naturelle de protéines, de fer et de vitamines — ce produit répond à une demande croissante de la part de consommateurs soucieux de leur santé, notamment les sportifs, les végétariens et les familles modernes.

L'aspect novateur du conditionnement en tube gradué permet non seulement un usage pratique et hygiénique, mais aussi une meilleure maîtrise des portions, contribuant ainsi à réduire le gaspillage alimentaire. Le choix d'un ancrage local, avec des fournisseurs de spiruline algériens, témoigne d'une volonté de soutenir l'économie régionale tout en garantissant la traçabilité et la qualité des matières premières.

La solidité du projet repose également sur une équipe pluridisciplinaire complémentaire, une stratégie de distribution multicanal, un plan de production réaliste et un modèle financier viable. De plus, la réalisation d'un prototype fonctionnel et les retours positifs obtenus lors des premiers tests confirment le potentiel de mise sur le marché du produit.

En définitive, ce projet allie santé, innovation, durabilité et ambition entrepreneuriale. Il est parfaitement positionné pour évoluer à l'échelle nationale, puis régionale, et contribuer activement à la valorisation de la spiruline algérienne dans une forme jusque-là inexploitée.

