

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة البليدة¹
Université Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie
Filière : Hydrobiologie marine et Continentale

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master 2 en :
Ecosystèmes aquatiques

Thème

Etude de l'impact des pesticides et des micro plastiques sur les
bivalves marins : cas de Perna perna.

Présenté par :

LAOUAR Anfel

Et

CAMARA Modibo

Soutenu le : 02 /07/2025

Devant le Jury :

Mr. GRANDI M.	MCA	U.S.D. Blida1	Président
MM. RADI N.	MCB	U.S.D. Blida1	Examinatrice
Mr. MEKNACHI A	MRB	CNRDPA	Promoteur
MM. BELMESKINE H.	Professeur	U.S.D. Blida1	Co- Promotrice

Année universitaire 2024/2025

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, nous remercions Allah, le tout miséricordieux ; le très miséricordieux de nous avoir donné la force et la volonté d'être là et d'être en mesure d'effectuer ce travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes qui on voudrait témoigner toute notre gratitude

On remercie du fond du cœur Madame HAYET BELMESKINE pour son suivi et son apport scientifique, sa disponibilité et ses conseils qui nous ont été extrêmement utiles lors de l'élaboration de ce mémoire.

Nous tenons également à remercier Monsieur ABDELLAH MEKNACHI pour son accompagnement exceptionnel tout au long de ce parcours. Sans son expertise, sa disponibilité et son soutien ; rien de tout cela n'aurait été possible. Nous avons sincèrement apprécié de travailler à ses côtés tant pour son partage de la passion pour la recherche que tant pour sa personnalité, ces valeurs humaines et son humilité

Nous souhaitons exprimer notre profonde reconnaissance aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.

Mr. Grandi, président du jury et **Mme Radi** pour son rôle d'examinatrice lors de cette soutenance.

On remercie sincèrement l'ensemble des membres du laboratoire **[CNRDPA]** surtout **Mme Essid Hafida et Mlle Rahma** pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité et leur bienveillance tout au long de notre travail. Leur esprit d'équipe, leur soutien quotidien et leurs conseils nous ont permis d'intégrer rapidement et de progresser dans un environnement de travail stimulant.

On remercie également l'ensemble du corps enseignant de la faculté de biologie, pour la qualité des enseignements dispensés et leur engagement dans la transmission du savoir. Leur expertise et leur passion ont nourri nos intérêts pour le sujet de ce mémoire

Nous remercions très naturellement nos parents qui durant toutes ces années n'ont pas arrêtés de nous soutenir que ce soit moral ou financier, merci à eux pour l'amour qu'ils nous donnent, c'est une motivation inépuisable

À tous, merci du fond du cœur

DÉDICACES

A celui que j'étais en commençant ce mémoire, à celui que je suis devenu en le terminant

Ce travail est autant un apprentissage académique qu'un chemin intérieur
Je Dédie ce mémoire à mes parents, pour leur soutien indéfectible, leur encouragement constant et leur amour inconditionnel

A mon Tonton **Camara Waidou**

Pour ton soutien dans l'ombre, tes encouragements silencieux et ta présence constante

Tu es un pilier invisible mais essentiel de ce mémoire

A toi ma mère (Coulibaly Mariam) ; partie trop tôt

Tu n'as pas vu ce mémoire s'écrire, mais tu as semé en moi la force de l'achever.

Merci pour ce tu m'as laissé ; ton amour, ta lumière et l'envie de réussir

A ma grande mère

Toi qui m'as transmis le goût de l'effort, la patience, et la foi dans l'avenir,
Ton départ m'a blessé, mais ta force m'a portée. Ce mémoire est un hommage silencieux
à tout ce que tu m'as donné, tu es une source d'inspiration constante.

A mon Père, dont les conseils m'ont toujours guidé, sa force, sa patience, et son amour infini.

À toi, tonton **Jamal AG,**

Ce mémoire, je te le dédie avec toute ma reconnaissance et mon affection.

Merci de m'avoir tendu la main lorsque j'en avais le plus besoin.

Merci pour ta confiance, ta patience et ton soutien sans faille.

Ta générosité, ta bienveillance et ta présence constante ont été un véritable pilier tout
au long de ce parcours.

Je n'oublierai jamais tout ce que tu as fait pour moi.

Ce travail est aussi le fruit de ton soutien.

Avec tout mon respect, ma gratitude et mon affection

A mes frères et sœurs, pour leurs soutiens discrets mais essentiels, ce mémoire est aussi
un peu le vôtre.

A mes amis de la Cité 06

Pour les fous rires, les discussions profondes, pour les nuits blanches et les thés partagés.

Vous avez rendu ce parcours plus doux

Tout ce qui de, de près ou de loin, a contribué à l'aboutissement de ce travail.

Mes amies de la cité 06, cité 05, cité 07, cité 02 et à EL Affroun

Camara Modibo

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A Dieu, source de toute sagesse, pour m'avoir accordé la force, la patience et la persévérance tout au long de ce parcours.

À ceux qui ont semé dans mon cœur l'amour, la foi et la persévérance...
À Ma Mère bien-aimée, source inépuisable de tendresse et de soutien,
Et À Mon Père cher, modèle de courage et de sacrifice silencieux,
Je vous dédie ce travail, avec tout mon amour et ma gratitude.

À ceux qui ont partagé ma vie avec ses joies et ses épreuves,
À mes frères et sœur : OUSSAMA, MOUNCEF et KHAOULA,
Votre présence a toujours été mon refuge et ma force. Merci d'exister.

À l'âme de celle qui a quitté ce monde mais jamais mon cœur,
à ma grand-mère, que Dieu ait ton âme en Sa miséricorde,
Tu restes à jamais vivante dans mes prières et mes pensées.

À ma fidèle amie, ma complice dans chaque étape,
À MARWA, pour ta présence constante, ton soutien et ta détermination,
Merci d'avoir été là, dans l'ombre comme dans la lumière.

Et enfin...

À moi-même, à celle qui a tenu bon, qui a combattu et persévéré,
À cette âme combattante qui ne m'a jamais trahie,
Je dédie ce mémoire, en signe de fierté, de reconnaissance et d'amour-propre.

Anfel

RÉSUMÉ

La présente étude a pour objectif d'évaluer l'impact d'une exposition aiguë de courte durée chez *Perna perna* à différents niveaux de concentration du pesticide Linuron (50 et 100 µg/L) et de microplastiques (MPS ; 10 et 20 µg/L), en se focalisant sur les réponses de certains biomarqueurs enzymatiques (catalase, protéase, superoxyde dismutase) ainsi que sur les réserves protéiques. Les résultats mettent en évidence une perturbation métabolique globale induite par ces deux types de contaminants. L'exposition aux différentes substances testées a entraîné une stimulation marquée de l'activité de la catalase, qui est passée de 30,34 U/ml (valeur de référence) à des valeurs comprises entre 120,12 et 124,12 U/ml après 48 heures. De même, l'activité de la protéase a augmenté de 1 (valeur de référence) à des valeurs variantes entre 1 et 1,4 U/ml, tandis que celle de la superoxyde dismutase (SOD) est passée de 1 à un intervalle compris entre 1 et 1,2 U/ml sur la même période. L'activation maximale des trois enzymes a été atteinte rapidement sous l'effet synergique du Linuron et des MPS, traduisant une réponse de défense adaptative face au stress oxydatif. Une corrélation positive a été observée entre les niveaux d'activité enzymatique et les concentrations des contaminants, même à faibles doses. Ces résultats suggèrent que la catalase, la superoxyde dismutase et la protéase constituent des biomarqueurs sensibles, rapides et fiables pour évaluer l'état de santé des organismes exposés à des polluants émergents. Toutefois, des recherches complémentaires s'avèrent nécessaires pour approfondir la compréhension des mécanismes impliqués, notamment en lien avec les processus métaboliques et les réserves énergétiques.

Mots clés : Linuron, Microplastique, *Perna perna*, Catalase, Superoxyde dismutase, Protéase.

Abstract

This study aims to assess the impact of short-term (acute) exposure in *Perna perna* to different concentrations of the pesticide Linuron (50 and 100 µg/L) and microplastics (MPS; 10 and 20 µg/L), focusing on enzymatic biomarker responses (catalase, protease, superoxide dismutase) and protein reserves. The results highlight a general metabolic disturbance induced by both types of contaminants. Exposure to these substances caused a marked stimulation of catalase activity, which increased from a reference value of 30.34 U/ml to levels ranging from 120.12 to 124.12 U/ml after 48 hours. Similarly, protease activity increased from 1 to values between 1 and 1.4 U/ml, while superoxide dismutase (SOD) activity rose from 1 to between 1 and 1.2 U/ml over the same period. Maximum enzymatic activation was rapidly reached due to the synergistic effect of Linuron and MPS, reflecting an adaptive defense response to oxidative stress. A positive correlation was observed between enzymatic activity levels and contaminant concentrations, even at low doses. These findings suggest that catalase, superoxide dismutase, and protease are sensitive, rapid, and reliable biomarkers for assessing the health status of organisms exposed to emerging pollutants. However, further studies are needed to deepen our understanding of the underlying mechanisms, particularly those related to metabolic activity and energy reserves.

Key words: Linuron, Microplastic, *Perna perna*, Catalase, Superoxide dismutase, Protease.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير التعرض الحاد قصير المدى لدى *Perna perna* لتركيزين مختلفين من مبيد الأعشاب "لينورون" (50 و 100 ميكروغرام/لتر) وجزيئات البلاستيك الدقيقة (MPS؛ 10 و 20 ميكروغرام/لتر)، مع التركيز على استجابات بعض المؤشرات الحيوية الإنزيمية (الكاتالاز، والبروتياز، والسوبر أوكسيد ديسموتاز) بالإضافة إلى مخزون البروتينات. أظهرت النتائج وجود اضطراب عام في النشاط الأيضي ناتج عن هذين النوعين من الملوثات. حيث أدى التعرض لهذه المواد إلى تحفيز ملحوظ في نشاط إنزيم الكاتالاز، إذ ارتفع من القيمة المرجعية البالغة 30.34 وحدة/مل إلى قيم تتراوح بين 120.12 و 124.12 وحدة/مل بعد 48 ساعة. كما ارتفع نشاط إنزيم البروتياز من 1 إلى قيم بين 1 و 1.4 وحدة/مل، في حين زاد نشاط إنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز من 1 إلى ما بين 1 و 1.2 وحدة/مل خلال نفس الفترة. وقد تم تسجيل أقصى نشاط لهذه الإنزيمات الثلاثة بسرعة نتيجة التأثير التآزري بين "لينورون" وجزيئات البلاستيك الدقيقة، مما يعكس استجابة دفاعية تكيفية في مواجهة الإجهاد التأكسدي. كما تم رصد علاقة ارتباط إيجابية بين مستويات النشاط الإنزيمي وتركيزات الملوثات، حتى عند الجرعات المنخفضة. تشير هذه النتائج إلى أن الكاتالاز، والسوبر أوكسيد ديسموتاز، والبروتياز تُعد مؤشرات حيوية حساسة وسريعة وفعالة لتقييم الحالة الصحية للكائنات الحية المعرضة للملوثات الناشئة. ومع ذلك، تظل هناك حاجة إلى دراسات إضافية لفهم أعمق للآليات الحيوية المتدخلة، لا سيما فيما يتعلق بالأنشطة الأيضية واحتياجات الطاقة.

Liste des abréviations

- **CNRDPA** : Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture
- **EOA** : Espèces oxygénées activées.
- **CAT** : Catalase.
- **SOD** : Superoxyde dismutase.
- **T** : Température.
- **MPs** : Microplastiques.
- **DO2** : Oxygène dissous.
- **ROS**: Reactive oxygen species.
- **TCA**: Acide trichloroacétique.
- **ETM** : Technologie efficace des micro-organismes.
- **OMS** : Organisation mondiale de la santé.
- **FAO** : Food and Agriculture Organisation
- **DL50 ou CL50** : Dose ou la concentration létale 50.
- **DMSE** : Dose maximale sans effet.
- **GESAMP** : Groupe mixte d'expert chargé d'étudier les aspects scientifiques de la protection de l'environnement marin.
- **DCE** : Directive Cadre Européenne sur l'Eau.
- **NQE** : Normes environnementales de qualité.
- **MDA** : Malondialdéhyde.

Listes des figures

FIGURE 1: MODELE CONCEPTUEL DES PARCOURS TROPHIQUES POTENTIELS DES MICROPLASTIQUES A TRAVERS LES GROUPES D'INVERTEBRES ET DE VERTEBRES MARIN	14
FIGURE 2: PERNA PERNA	18
FIGURE 3: REPARTITION GEOGRAPHIQUE DE PERNA PERNA	19
FIGURE 4: ANATOMIE GENERALE DE LA MOULE PERNA PERNA	20
FIGURE 5: APERÇU DES DIFFERENTES ESPECES OXYGENEES ACTIVEES (EOA) ET DES REGULATEURS DE REPRODUCTION	22
FIGURE 6: DISPOSITIF EXPERIMENTAL	26
FIGURE 7: PLANIFICATION EXPERIMENTALE DES TESTS ECOTOXICOLOGIQUES DE COURTE DUREE.	28
FIGURE 8: METHODES EXPERIMENTALES POUR LES DOSAGES BIOCHIMIQUES	29
FIGURE 9: VARIATION DE LA REPONSE CATALASE (CAT) CHEZ LA MOULE PERNA PERNA.	35
FIGURE 10: VARIATION DE LA REPONSE SOD CHEZ LA MOULE PERNA PERNA.	37
FIGURE 11: VARIATION DE LA REPONSE PROTEASE CHEZ LA MOULE PERNA PERNA.	38

Liste des tableaux

TABLEAU I: LES DIFFERENTS TYPES DE PESTICIDES ET APPLICATION	5
TABLEAU II: POLYMERES PLASTIQUES COURANTS ET LEURS MONOMERES ASSOCIES	11
TABLEAU III: LA TAXONOMIE DE PERNA PERNA	18
TABLEAU IV: L'ANALYSE DES DONNEES PHYSICOCHIMIQUES	34

Sommaire

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Listes des tableaux

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre I : Revue Bibliographique

I.1 La pollution Marine	3
I.1.1 Définition.....	3
I.1.2 Les sources de la pollution marine	3
I.1.2.1 La pollution d'origine urbaine	3
I.1.2.2 La pollution en milieu agricole	3
I.1.2.3 La pollution d'origine industrielle	4
I.2 Les différents contaminants de l'eau de mer	4
I.2.1 Pollution chimique.....	4
I.2.2 Pollution physique.....	4
I.2.3 Pollution biologique	4
I.3 Les pesticides dans le milieu marin.....	4
I.3.1 Définition.....	4
I.4 La contamination de l'eau de mer par les pesticides	6
I.4.1 Le transfert vers les milieux aquatiques	6
I.5 Toxicologie des pesticides	7
I.5.1 Impacts sur les êtres vivants	8
I.6 Linuron (Le pesticide sur lequel porte notre étude).....	9
I.6.1 Définition et effets sur la santé humaine.....	9
I.7 Les microplastiques dans le milieu marin	10
I.7.1 Définition.....	10
I.8 Sources et transfert des microplastiques dans l'environnement marin.....	12
I.8.1 Dans les océans	13
I.9 La surveillance de la qualité du milieu aquatique.....	15
I.9.1 La surveillance de l'état chimique	15
I.9.2 La surveillance biologique (biosurveillance).....	15
I.10 Indicateurs biologiques	16

I.11	Surveillance de la qualité écologique des masses d'eau	16
I.12	Présentation de l'espèce <i>Perna perna</i>	17
I.13	Écologie.....	18
I.14	Anatomie générale.....	19
I.15	Les biomarqueurs de stress	20
I.15.1	Le stress oxydant	21
I.15.2	Activités enzymatiques (enzymes antioxydants)	21
I.15.3	Source des espèces réactives à l'oxygène.....	22
I.15.4	Les différentes espèces réactives de l'oxygène (ERO)	22
I.15.5	Rôle physiologique des ERO	23
I.16	Les tests écotoxicologiques	23

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.1	Présentation du lieu de stage.....	24
II.1.1	Matériels utilisés	25
II.1.2	Matériel non biologique.....	25
II.3	Préparation expérimentale.....	25
II.3.1	Acclimatation des moules.....	25
II.1.3.2	Conditions d'acclimatation	26
II.1.3.3	Objectifs	26
II.2	Les tests écotoxicologiques	26
II.2.1	Démarches suivies	26
II.3.	Méthodes et protocoles analytiques	28
II.3.1	Mesure des paramètres physicochimiques.....	28
II.4	Élaboration des échantillons de tissus pour les analyses biochimiques	29
II.4.1	Homogénéisation des tissus biologiques.....	29
II.5	Dosages Enzymatiques	30
II.5.1	Dosage des protéines (selon la méthode de Lowry)	30
II.5.2	Dosage des enzymes par mode cinétique	31
II.5.2.1	Catalase	31
II.5.3	Dosage de l'activité des enzymes digestives.....	31
II.5.3.1	Protéase	31

II.5.3.2 Superoxyde dismutase	32
-------------------------------------	----

33

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1 Résultats du test d'écotoxicité courte durée	34
III.1.1 Paramètres d'élevage.....	34
III.1.2 Résultats des dosages biochimiques et enzymatiques	35
III.1.2.1 Résultats du dosage de la catalase.....	35
III.1.2.2 Résultats du dosage de la super-oxyde-dismutase SOD	36
III.1.2.3 Résultats du dosage de la protéase.....	38
III.1.2.4 Résultats des réponses intégratives des biomarqueurs	39
Discussion :	40
Conclusion	47
Références	48
Annexes	58

Introduction

Introduction

La pollution affecte l'ensemble de la planète : l'air, le sol, l'eau douce, ainsi que les environnements marins et côtiers. La pollution joue un rôle majeur dans les changements climatiques, la diminution de la biodiversité et la dégradation des systèmes écologiques. Elle est souvent le produit des effets conjugués de divers polluants. La pollution se manifeste de diverses façons, à la fois visibles et invisibles (**Nations Unies, 2022**).

Plus de 3,5 milliards d'individus dépendent des océans pour la plupart de leur alimentation. Malheureusement, les déchets et les eaux usées, majoritairement d'origine terrestre, y sont toujours déversés. Cette pollution trouve ses origines dans divers facteurs tels que le ruissellement des terres agricoles, l'absence de traitement des eaux usées, les hydrocarbures, les métaux lourds, les pesticides, les déchets radioactifs ainsi que les nutriments et détritiques marins, y compris le plastique. L'agriculture, le tourisme en bord de mer, l'extension des ports, la maîtrise des cours d'eau, l'urbanisation et le bâtiment, sans oublier l'extraction minière et l'industrie manufacturière représentent divers types d'activités qui contribuent à la pollution menaçant les économies côtières et maritimes, les écosystèmes côtiers et marins ainsi que la santé et le bien-être de leurs habitants. Le transfert de nutriments agricoles vers les écosystèmes marins et d'eau douce peut provoquer une multiplication de fleurs d'eau toxiques, ayant diverses répercussions, y compris des dommages au tourisme et la contamination de certains produits marins destinés à la consommation. Cela peut entraîner un prix économique considérable pour la pêche, le tourisme et d'autres modes de vie sur la côte (**Nations Unies, 2022**).

Ces contaminants entraînent une pollution accrue des écosystèmes marins et ont un impact toxique important sur la santé des organismes vivants. Le biomonitoring, ou la surveillance environnementale, constitue un instrument essentiel pour établir la relation entre les taux de pollution actuels et les impacts constatés sur le terrain.

Des programmes de contrôle de la qualité des écosystèmes marins ont utilisé des espèces indicatrices (des bivalves) comme indicateurs de la contamination grâce à leurs capacités de filtration, leur nature sédentaire et leur tendance à accumuler des polluants (Viarengo et al., 1993). L'un de ces programmes est le «MUSSEL WATCH» qui conseille l'utilisation des moules, des huîtres et des palourdes ...etc (**Langston et Spence, 1995**)

Les huîtres, les oursins et les moules servent d'indicateurs biologiques, capables de fournir des informations sur le niveau de contaminants dans l'environnement aquatique, grâce à l'évaluation des impacts causés par ces polluants. De manière atypique, les moules sont souvent perçues comme des baromètres fiables de la pollution marine dans laquelle elles résident, car elles ont la capacité d'accumuler les polluants présents dans leur environnement jusqu'à établir une

Introduction

balance avec celui-ci. Ce processus de bioaccumulation donne lieu à un facteur de concentration, entre l'environnement et l'organisme, qui peut être extrêmement élevé.

Ces espèces filtreuses qui filtre en continuité l'eau de mer pour se nourrir et respirer, dont elles concentrent des quantités énormes de substances polluantes arrivent à nous renseigner et apprécier l'état de salubrité de leurs habitats.

Ceci est une étude visant à examiner le biomarqueur la protéine, la protéase, la catalase et la superoxyde dismutase ainsi que la réaction biologique à un stress provoqué par une exposition aiguë au pesticide (linuron) et aux microplastiques chez la moule brune *Perna perna*. Le but étant d'analyser l'effet des pesticides et des microplastiques sur les moules.

Le Centre National de la Recherche et du Développement de la Pêche et de l'Aquaculture (CNRDPA) situé à Bou-Ismaïl travaille actuellement sur un programme centré sur la gestion des écosystèmes aquatiques et le suivi environnemental, ce qui constitue une contribution importante aux études portant sur les indicateurs de pollution dans le contexte du biomonitoring. Cette étude se focalise sur l'utilisation des moules de l'espèce *Perna perna*, comme bioindicateurs.

Le premier chapitre est conçu comme un récapitulatif bibliographique des concepts de pesticides, en particulier le Linuron, les microplastiques, le stress oxydant, les biomarqueurs et les essais écotoxicologiques

Le chapitre 2 portera sur le matériel utilisé et les différentes études réalisées lors de nos expériences.

Dans le chapitre 3, nous rassemblons tous les résultats issus de nos essais, accompagnés des débats qui en résultent.

Pour finir, nous incluons une conclusion pour compléter le travail.

Revue Bibliographique

Chapitre I : Revue Bibliographique

I.1 La pollution Marine

I.1.1 Définition

La pollution marine est définie comme étant l'introduction directe ou indirecte de déchets, de substances ou d'énergie, y compris de sources sonores sous-marines d'origine humaine, qui ont ou peuvent avoir un effet néfaste sur les ressources vivantes et les écosystèmes marins, avec pour conséquences une dilution de la biodiversité, des risques pour la santé humaine, des obstacles aux activités maritimes, en particulier la pêche, le tourisme, les loisirs et d'autres utilisations de l'océan, et une modification de la qualité des océans **(Woessner, 2014)**.

I.1.2 Les sources de la pollution marine

L'homme constitue un élément essentiel des écosystèmes de la terre. Pour satisfaire à ses exigences croissantes en matière de nutrition et de santé, il a délibérément combiné toutes sortes de molécules de complexité grandissante, à l'image des médicaments destinés aux humains ou aux animaux, des produits phytosanitaires, des plastifiants, etc. Ses actions ont provoqué ou amplifié la présence d'autres polluants, sans véritable contrôle de leur gestion. Néanmoins, les sources d'introduction de polluants dans le milieu naturel sont diverses. Elles peuvent être ponctuelles ou diffuses **(Zgheib, 2009)**.

I.1.2.1 La pollution d'origine urbaine

Dans un contexte urbain, les origines de la pollution sont rapidement identifiables : elles proviennent principalement des rejets des stations d'épuration, des déversoirs pluviaux ou encore des débordements des réseaux d'égouts. L'essentiel de la pollution urbaine diffuse, issue du ruissellement de surface, est canalisé et déversé dans le cours d'eau à des moments précis **(Hébert & Légaré, 2000)**.

I.1.2.2 La pollution en milieu agricole

Les zones agricoles sont particulièrement concernées par les opérations de fertilisation du sol pour augmenter au maximum le rendement des cultures. L'application d'engrais, qu'ils soient de source organique (fumier, lisier, etc.) ou minérale, entraîne une hausse dans le sol des niveaux des nutriments indispensables à la croissance des plantes. Toutefois, les plantes cultivées n'utilisent pas complètement ces nutriments, comme le phosphore, l'azote et le potassium. Une partie de ceux-ci est transportée vers les cours d'eau et rivières par la percolation et le ruissellement **(Hébert & Légaré, 2000)**.

Chapitre I : Revue Bibliographique

I.1.2.3 La pollution d'origine industrielle

Les entreprises industrielles produisent une variété de produits (aliments, vêtements, pâte à papier, produits chimiques, etc.) et rejettent de nombreux types d'eaux usées, avec des quantités et des niveaux de pollution très variables.

De manière générale, on distingue les eaux de process (le plus souvent contaminées du fait de l'entrée dans le processus de fabrication lui-même), les eaux de refroidissement (plus ou moins contaminées), les eaux sanitaires et, dans certains cas, les eaux de pluie (**Hébert & Légaré, 2000**).

I.2 Les différents contaminants de l'eau de mer

I.2.1 Pollution chimique

Elle fait référence à la pollution du milieu marin par des substances chimiques telles que les hydrocarbures, les détergents, les biocides et les ETM (**Ramade 2007 ; Ledireach 2020; Sonko, 2022**).

I.2.2 Pollution physique

Elle fait référence aux modifications de la structure physique du milieu marin (salinité, température, turbidité, rayonnements ionisants, etc.) provoquées par divers facteurs physiques tels que les centrales hydroélectriques, les usines de regazéification de gaz liquéfiés, les boues ou rejets de boues, etc. (**Ramade 2007 ; Ledireach 2020; Sonko, 2022**).

I.2.3 Pollution biologique

La pollution biogénique est une contamination due à l'introduction de micro-organismes et/ou d'espèces marines exotiques dans l'environnement. Certains micro-organismes (bactéries, virus, champignons, microalgues, etc.) sont capables de proliférer dans le milieu marin, même si globalement cela n'est pas propice au développement de la plupart des micro-organismes pathogènes chez l'homme. L'introduction d'espèces exotiques peut avoir des impacts considérables sur les organismes indigènes, comme certaines plantes (par exemple les haricots Douglas) (**Ramade 2007 ; Ledireach 2020; Sonko, 2022**).

I.3 Les pesticides dans le milieu marin

Les pesticides peuvent atteindre les plans d'eau et la nappe souterraine par ruissellement et lessivage

I.3.1 Définition

Le pesticide est un terme général désignant une gamme de composés possédant des propriétés insecticides, herbicides, fongicides et rodenticides etc.. Les pesticides sont uniques en ce sens

Chapitre I : Revue Bibliographique

que, contrairement à d'autres produits chimiques, ils sont intentionnellement libérés dans l'environnement pour lutter contre les parasites et les maladies(Dean & Fitzpatrick, 2001).

Le Codex Alimentarius (FAO/OMS, 1994) définit un pesticide comme toute substance destinée à prévenir, détruire, attirer, repousser ou contrôler tout élément nuisible, plante ou insecte pendant la production, le stockage, le transport, la distribution et la transformation des aliments, des produits agricoles ou des aliments pour animaux.

Leur grand succès dans les applications agricoles a optimisé la productivité des produits de base, conduisant à une expansion rapide de leur production et de leur utilisation(Jawich, 2006).

Le tableau I regroupe les différents types de pesticides et leur application.

Tableau I: Les différents types de pesticides et application (Aurélie, 2006)

TYPES	USAGES
Fongicides	Produit phytosanitaire conçu pour éliminer ou contrôler le développement des champignons parasites
Herbicides	Produits phytosanitaire, naturel ou synthèse destinée à éliminer les végétaux
Biocides	Regroupant les pesticides utilisés dans la lutte contre les insectes et acariens
Rodenticides	Conçus pour tuer certains rongeurs considérés comme nuisibles (rat, souris, ou musaraigne).
Nématicide	Produits chimiques conçus pour lutter contre les nématodes nuisibles aux cultures et aux produits récoltés

Chapitre I : Revue Bibliographique

I.4 La contamination de l'eau de mer par les pesticides

I.4.1 Le transfert vers les milieux aquatiques

- **Entraînement superficiel** : Les résidus de pesticides à la surface du sol sont principalement dus au ruissellement des eaux. Son importance dépend de la pente et des propriétés du sol, de l'intensité et de la durée des précipitations, des propriétés du sol et de la couverture végétale, des méthodes de travail du sol et du délai entre le traitement et la première pluie(Andral, 1996).
- **Migration dans le sol** : Cette formation superficielle est comparable à la formation par percolation, qui est influencée par la structure du sol et les caractéristiques physico-chimiques du pesticide. Ces dernières déterminent particulièrement le déplacement de la molécule en phase gazeuse (via diffusion) et principalement en phase liquide (grâce à la diffusion et au lessivage)(Andral, 1996).

La décomposition est principalement provoquée par les microorganismes présents dans le sol et l'eau, mais elle peut aussi être causée par des facteurs abiotiques (photodégradation, hydrolyse, oxydo-réduction, etc.) et conduire dans certaines situations à la formation de composés dont la toxicité pourrait surpasser celle de la molécule initiale(Andral, 1996).

- **Dégradation chimique : dégradation par réactions chimiques dans le sol**

Le nombre et le type de réactions chimiques qui peuvent se produire dépendent du degré de liaison du pesticide avec le sol, de la température du sol, du pH (beaucoup de pesticides, et particulièrement les organophosphorés, se dégradent plus vite dans des sols alcalins), du taux d'humidité(Desgranges, 2015).

- **Dégradation par les microorganismes (bactéries, champignons...)**

L'altération sera plus prononcée lorsque les températures sont hautes, que le pH du sol est optimal, que le taux d'oxygène et d'humidité est approprié et que le sol est riche en nutriments (autrement dit, un sol qui a une structure et une profondeur favorisant le développement des racines des plantes, la rétention de l'humidité et l'évacuation de l'eau excédentaire ; mais également une composition qui assure un approvisionnement adéquat en nutriments, oligo-éléments et eau)(Desgranges, 2015).

Chapitre I : Revue Bibliographique

I.5 Toxicologie des pesticides

La plupart des impacts environnementaux négatifs découlent de l'absence de sélectivité des pesticides vis-à-vis de la cible. Les pesticides pénètrent dans le corps des animaux par l'alimentation, l'eau, l'air qu'ils respirent ou par leur peau et leur cuticule.

Après avoir traversé différentes barrières, le xénobiotique parvient aux lieux de métabolisme ou est entreposé. L'évaluation de la toxicité d'un produit chimique repose généralement sur la dose (ou concentration) qui induit un effet spécifique chez la moitié - d'un point de vue statistique - des individus exposés au xénobiotique (**DE50 ou CE50**). Si cet effet conduit à la mort, on fait référence à la dose (**ou concentration**) létale 50 (**DL50 ou CL50**). La dose (**ou la concentration**) maximale sans effet (**DMSE**) représente la dose juste en dessous de celle qui engendre l'effet le plus faible dans le même test expérimental (**Severn et Ballard, 1990; van Der Werf, 1997**).

Selon leur potentiel de toxicité, l'Organisation mondiale de la santé (**OMS**) a classé les pesticides en différentes catégories : « extrêmement toxiques », « très toxiques », « modérément toxiques » et « légèrement toxiques ». Cette gradation va de plus d'un à 100, correspondant aux seuils où leurs effets nocifs sont observés chez les animaux de laboratoire.

En règle générale, l'OMS identifie les facteurs suivants comme ayant un impact sur la toxicité des pesticides pour l'être humain : la quantité administrée, les modalités de l'exposition, le niveau d'absorption, les conséquences de la substance active et de ses métabolites ainsi que l'accumulation et la durée de présence du produit dans le corps.

L'exposition se produit principalement par la peau et les voies respiratoires (inhalation), tandis que la voie d'ingestion est davantage pertinente pour le grand public en cas d'absorption accidentelle ou délibérée de pesticides(**Cherin et al., 2012**).

Exposition de la peau (Cutanée)

Chez les professionnels, la principale forme d'exposition aux pesticides est généralement le contact avec la peau(**Cherin et al., 2012**).

Exposition respiratoire

L'exposition par inhalation pulmonaire constitue le moyen d'intoxication le plus rapide et le plus direct. Ainsi, les pesticides qui sont habituellement dispersés sous forme de brouillard, d'aérosol ou de gaz peuvent être aisément inhalés(**Cherin et al., 2012**).

Chapitre I : Revue Bibliographique

L'exposition par inhalation pulmonaire constitue le moyen d'intoxication le plus rapide et le plus direct. Ainsi, les pesticides qui sont habituellement dispersés sous forme de brouillard, d'aérosol ou de gaz peuvent être aisément inhalés(**Cherin et al., 2012**).

Exposition orale

Hormis les situations d'ingestion accidentelle de pesticides stockés dans un récipient inadapté (par exemple, une bouteille de soda) ou d'empoisonnement délibéré (suicide), l'absorption des pesticides par ingestion (gastro-intestinale) est moins fréquente chez les employés(**Cherin et al., 2012**).

I.5.1 Impacts sur les êtres vivants

Les pesticides et leurs dérivés, connus sous le nom de métabolites (qui peuvent être plus toxiques que la substance originale dont ils proviennent selon **Andreu et Picó, 2004**), portent atteinte à l'environnement en raison de leur incidence sur les organismes vivants. Effectivement, il existe plusieurs modes de contamination possibles(**Desgranges, 2015**).

On va distinguer les effets aigus(courte durée) et des effets chroniques(longue durée).

Les effets aigus vont se manifester tout de suite après une exposition importante aux pesticides (celle –ci étant, de manière générale, due à une erreur de manipulation du produit).

On observe alors une mortalité massive des organismes vivants dans l'environnement touché.

Comme leur nom l'indique, les effets chroniques se manifestent sur une longue durée d'exposition. Ils se manifestent à divers échelons de l'organisation biologique (individus, populations, communautés ou écosystèmes). On note donc les effets suivants :

- La diminution, voire l'extinction de certaines espèces (**Schmitz et al., 2014**) : n'oublions pas l'interdiction du Cruiser OCR (décret du 24 juillet 2012), utilisé pour le traitement des champs de colza, qui était soupçonné de perturber la navigation des abeilles et par conséquent leur capacité à retrouver leur ruche, contribuant ainsi à leur taux de mortalité (**Van der Sluijs et al., 2013**) .
- L'émergence d'espèces dites « pollutotolérantes » et la prédominance d'espèces liées à ce processus (**Givaudan et al., 2014**) .
- Le déséquilibre des processus écologiques comme la décomposition de la matière organique, la production primaire (**Schäfer et al., 2012**) .

Chapitre I : Revue Bibliographique

- La réduction de la diversité .
- L'immunotoxicité : cela se réfère aux effets nuisibles induits par un xénobiotique, spécifiquement un pesticide, sur le système immunitaire. Les effets peuvent être soit de type immunosuppresseur (et par conséquent, favoriser les infections et les tumeurs), soit de type immunostimulateur (stimulant ainsi les allergies, entre autres). Par exemple, une observation a montré que les nouveau-nés et les jeunes enfants Inuits du nord canadien sont plus touchés par des maladies infectieuses associées à une déficience immunitaire (comme les otites et les infections pulmonaires) comparativement aux autres enfants européens et américains. On l'attribue à une exposition prénatale aux organochlorés en raison de processus de bioaccumulation (absorption et concentration de composés organiques dans les tissus jusqu'à ce qu'ils atteignent des niveaux supérieurs à ceux présents dans l'environnement immédiat) dans les poissons qui constituent leur source de nourriture (**Dewailly et al., 2000**) ;
- La bioamplification : c'est-à-dire l'accumulation progressive de la concentration d'un contaminant durable à mesure que l'on progresse dans la chaîne alimentaire.
- Des cycles de reproduction perturbés et diverses maladies dues à l'exposition à des perturbateurs endocriniens (tels que les pesticides organochlorés) : troubles affectant les organes génitaux, modifications de la fertilité, anomalies du développement fœtal, puberté anticipée, diabète, cancers, troubles neurologiques... (**Overgaard et al., 2013; Desgranges, 2015**).

I.6 Linuron (Le pesticide sur lequel porte notre étude)

I.6.1 Définition et effets sur la santé humaine

Le linuron (N'-(3,4-dichlorophényl)-N-méthoxy-N-méthylurée) est un herbicide basé sur la phénylurée substituée, utilisé de façon répandue pour combattre sélectivement les dicotylédones et les nouvelles graminées dans les champs fruitiers, les grandes cultures, le secteur des céréales et les haies brise-vent (**Grenni et al., 2009**).

Il fonctionne en freinant la photosynthèse en perturbant le photosystème II et en interrompant le transfert des électrons, ce qui provoque une chaîne de production d'oxydants et une destruction accélérée des cellules végétales (**USEPA, 1984 ; Webster et al., 2015**).

Selon **Wilson et al. (2009)**, le linuron possède des propriétés anti-androgènes en tant qu'antagoniste du récepteur androgénique, ce qui pourrait provoquer une réduction de la

Chapitre I : Revue Bibliographique

sécrétion de testostérone. Selon diverses recherches, le linuron pourrait également avoir des effets anti-oestrogènes en agissant directement par le biais de processus médiés par les œstrogènes (comme le suggèrent **Marlatt et al., 2013; Quintaneiro et al., 2017**).

I.7 Les microplastiques dans le milieu marin

I.7.1 Définition

La production et l'utilisation des plastiques sont à l'origine d'une pollution sans précédent de notre environnement.

Les microplastiques sont le plus souvent définis comme des fragments de moins de 5 mm (**GESAMP, 2015**), qui sont générés par la fragmentation de particules plus grosses ou pénètrent directement dans l'environnement (par exemple, les cosmétiques)(**Bonello et al., 2018**).

On distingue deux types de microplastiques : Les microplastiques primaires sont ceux dont la taille est inférieure à 5 mm lors de leur fabrication initiale et se trouvent principalement dans les textiles, les produits pharmaceutiques et les produits de soins personnels tels que les gommages pour le visage et le corps (**Cole et al., 2011 ; Browne, 2015**). Les microplastiques secondaires se forment à partir de morceaux de plastique fragmentés ou de grande taille par des processus tels que la photodégradation, les interactions physiques, chimiques et biologiques (**Thompson et al., 2009 ; Galgani et al., 2013; La Nasa et al., 2020**). Le tableau II regroupe les différents types de polymères de plastique.

Chapitre I : Revue Bibliographique

Tableau II: Polymères plastiques courants et leurs monomères associés
(Natacha et al.,2020)

POLYMÈRES	EXEMPLES COMMUNS	MONOMÈRE	DANGER DE MONOMÈRE ?
PET Téréphtalate PETE polyéthylène	Bouteille de boisson gazeuse, pot de yaourt, plateau de légumes, bouteille de shampoing, sachets de thé en plastique, tissu textile polaire	Acide téréphtalique + éthylène glycol	
HDPE Polyéthylène à haute densité	Tuyaux d'eau potable, planche à découper, bouteille de boisson rechargeable, bouteille de boisson au yaourt, sac poubelle, bouteille de gel douche	Éthylène	
PVC Chlorure de polyvinyle	Cuir synthétique, jouets de bain, anneau de bain gonflable, nappe, canalisations d'eau potable, revêtement de sol, pellicule plastique, doublure d'étang	Chlorure de vinyle	Cancérogène
PS Polystyrène	Tasse en polystyrène, pot de yaourt, plateau de fruits et légumes	Styrène	Cancérogène probable;

Chapitre I : Revue Bibliographique

			substance suspectée d'être toxique pour la reproduction
PC Polycarbonate	Biberons, boîtiers électroniques, disques compacts	Bisphénol A Bisphénol S	Perturbateur endocrinien Perturbateur endocrinien

Il est essentiel de reconnaître que tous les plastiques sont constitués d'assemblages complexes de composés chimiques. Les problèmes de santé sont généralement causés par les caractéristiques de ces substances chimiques, en particulier les « **additifs** », qui ne sont pas nécessairement liés au plastique lui-même. De nombreuses familles de substances chimiques cruciales et risquées, tels que les métaux lourds, les inhibiteurs de flamme, les phtalates, les bisphénols et les composés fluorés, sont directement liés à la fabrication de plastiques (**Natacha et al., 2020**).

La contamination par les micropolluants est un enjeu environnemental émergent qui constitue une menace pour la faune aquatique et la santé des personnes (**Garrido Gamarro et al., 2020 ; Kutralam-Muniasamy et al., 2020 ; Huang W. et al., 2021 ; Aragaw et Mekonnen, 2021**). Des microplastiques contaminent le poisson à l'échelle mondiale et ceux-ci pénètrent dans l'organisme humain par le biais de la consommation alimentaire (**Sequeira et al., 2020**). Récemment, de nombreux chercheurs se sont intéressés aux impacts des MP dans le poisson et sur la santé humaine (**Chae et An, 2018; Bhuyan, 2022**).

I.8 Sources et transfert des microplastiques dans l'environnement marin

Les débris marins résultent de l'élimination aveugle de déchets transférés directement ou indirectement dans l'océan (**Lozano et Mouat, 2009 ; Ryan et al., 2009**).

Les déchets plastiques d'origine terrestre représentent 80 % du plastique présent dans les déchets marins (**Andrady, 2011**). Ces plastiques comprennent les microplastiques primaires utilisés dans les cosmétiques, les plastiques « usagés » mal jetés et les lixiviats de plastique

Chapitre I : Revue Bibliographique

provenant des décharges. Étant donné qu'environ la moitié de la population mondiale vit à moins de 50 milles des côtes, ces types de plastiques sont susceptibles d'être rejetés dans le milieu marin par les rivières et les systèmes de traitement des eaux usées ou par les vents offshore (**Moore, 2008 ; Thompson, 2006**).

Les microplastiques utilisés dans les cosmétiques et les milieux aéroportés peuvent pénétrer dans les cours d'eau via les systèmes de drainage domestiques ou industriels (**Derrak, 2002**) ; bien que les stations d'épuration des eaux usées piègent les gros plastiques et certains petits fragments de plastique dans les bassins d'oxydation ou les boues d'épuration, la plupart des microplastiques passent par ces systèmes de filtration (**Browne et al., 2007 ; Fendall et Sewell, 2009 ; Gregory, 1996**).

Les plastiques qui pénètrent dans les systèmes fluviaux directement ou via les rejets d'eaux usées ou les lixiviats de décharges sont ensuite transportés vers l'océan(**Cole et al., 2011**).

I.8.1 Dans les océans

On constate la présence de microplastiques dans toutes les eaux océaniques, y compris dans les régions polaires (**Obbard et al., 2014**). Dans une étude portant sur 141 échantillons d'eau marine collectés en surface à travers divers océans, il a été constaté que 88 % d'entre eux renferment des microplastiques, avec des variations de concentration considérables (4 ordres de grandeur ,**Cozar et al., 2014**).

Étant donné que la majorité des plastiques dans les océans mettent plus de 100 ans à se décomposer, des régions d'accumulation se forment, connues sous le nom de gyres océaniques (**Moore et al., 2001 ; Eriksen et al., 2013**).

L'entassement de microplastiques se produit principalement dans cinq grands gyres, le plus significatif étant celui du Pacifique Nord. La pollution plastique affecte également les mers semi-fermées telles que la Méditerranée, où l'on prévoit une augmentation de 8% de la concentration en microplastiques au cours des trois prochaines décennies (**Lebreton et al., 2012**), malgré un taux de renouvellement des eaux qui est estimé à 90 ans.

L'accumulation de microplastiques avec la matière organique est perçue comme le principal moyen de déplacement des microplastiques vers les dépôts en profondeur dans l'eau. Ainsi, les sédiments pourraient être une source importante de microplastiques (**Law et al., 2010 ; Moret-Ferguson et al., 2010 ; Van Cauwenberghe et al., 2013 ; Cozar et al., 2014**).

Chapitre I : Revue Bibliographique

La **figure 1** illustre un modèle conceptuel des parcours trophiques potentiels des microplastiques à travers les groupes d'invertébrés et de vertébrés marin (**Do Sul & Costa, 2014; Léa, 2015**).

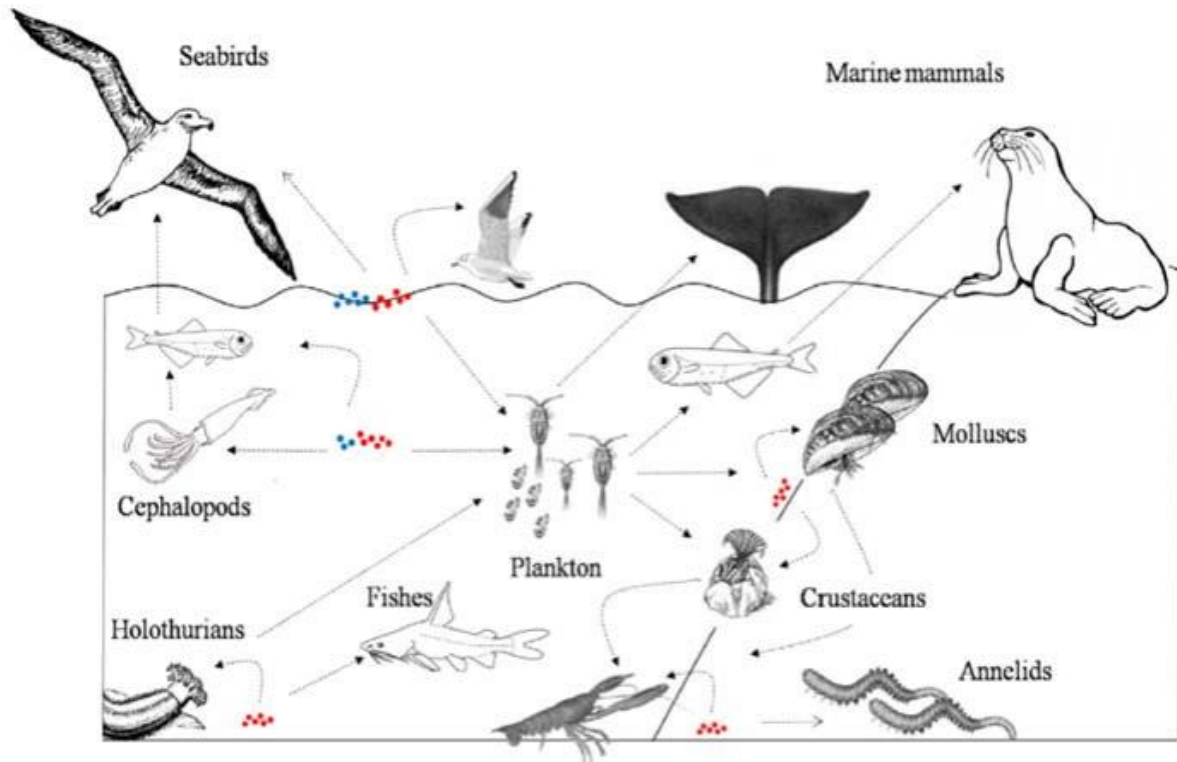


Figure 1: *Modèle conceptuel des parcours trophiques potentiels des microplastiques à travers les groupes d'invertébrés et de vertébrés marin (Do Sul & Costa, 2014; Léa, 2015.)*

Points bleus : polymères moins denses que l'eau de mer (PP, PE) ; Points rouges : polymères plus denses (PVC)

Des organismes filtreurs ont tendance à ingérer plus aisément les nanoparticules de polystyrène lorsqu'elles sont liées à des amas de phytoplancton. Ces agrégats retiennent les microplastiques, augmentant ainsi leur biodisponibilité pour les organismes marins (**Ward & Kach, 2009 ; Long et al., 2015**).

Plusieurs espèces d'invertébrés benthiques de divers niveaux trophiques ont été identifiées comme consommateurs de microplastiques : les concombres marins (**Graham et Thompson, 2009**), les moules (**Browne et al., 2008 ; Van Cauwenberghe et al., 2015**), les homards (**Murray & Cowie, 2011**), ainsi que les amphipodes, les vers de vase et les baleines (**Thompson et al., 2004 ; Browne et al., 2013 ; Wright et al., 2013**). Dans les environnements pélagiques marins, le zooplancton ingère les microplastiques (**Cole et al., 2013**), tout comme les poissons adultes et leurs larves (**Carpenter et al., 1972 ; Collignon et al., 2012 ; Browne et al., 2013 ; Lusher et al., 2013 ; Rochman et al., 2013b**). On a

Chapitre I : Revue Bibliographique

récemment prouvé le passage trophique des microplastiques, par exemple de la moule au crabe (**Farrell & Nelson, 2013**). Ainsi, les microplastiques peuvent parvenir à des niveaux trophiques plus élevés. Les oiseaux marins les absorbent de manière directe et indirecte, notamment par le biais de poissons qui ont ingéré ces microplastiques (**Ryan et al., 2009 ; Colabuono et al., 2010 ; Tanaka et al., 2013**). Il a également été démontré que les otaries et les lions de mer des îles subantarctiques ingèrent des microplastiques, ce qui démontre la capacité des microplastiques à atteindre les niveaux supérieurs d'un réseau trophique marin, même dans des zones isolées (**McMahon et al., 1999 ; Eriksson & Burton, 2003**). Selon **Franecker & Law (2015)**, l'oiseau Fulmar est suggéré comme un indicateur biologique pour mesurer la quantité de débris plastiques flottants en mer (**Léa, 2015.**).

I.9 La surveillance de la qualité du milieu aquatique

La Directive Cadre Européenne sur l'Eau (**DCE**) définit les objectifs et les procédures nécessaires pour atteindre une qualité optimale de l'eau. Lors de l'évaluation de l'état des masses d'eau, plusieurs critères (biologiques, chimiques ou quantitatifs) sont considérés. Lorsqu'il s'agit des eaux de surface, on qualifie une masse d'eau de « bon état » lorsque son état chimique et écologique est satisfaisant.

I.9.1 La surveillance de l'état chimique

L'état chimique vise à vérifier l'adhésion aux normes environnementales de qualité (**NQE**) fixées par les directives européennes pour 41 substances jugées comme « **prioritaires** » ou « **dangereuses** ».

I.9.2 La surveillance biologique (biosurveillance)

La biosurveillance consiste à utiliser divers organismes ou groupes à différentes échelles pour détecter et/ou prévoir les changements environnementaux et suivre leur évolution (**Jean-Pierre, 2002**).

La biosurveillance est une technique d'évaluation environnementale qui cherche à identifier et quantifier la présence de polluants ou de leurs dérivés dans divers environnements (eau, air, sol).

Ce concept implique l'utilisation d'indicateurs d'effet pour surveiller la condition environnementale : des biomarqueurs (modifications à l'échelle moléculaire, cellulaire ou tissulaire d'un individu sélectionné en tant qu'espèce indicatrice).

Chapitre I : Revue Bibliographique

Des bioindicateurs (surveillance des modifications, présence ou absence, et de la profusion des individus, fréquemment des plantes ou des espèces animales ou fongiques considérées comme « bioindicatrices »), bio intégrateurs pour le suivi d'une communauté d'espèces ou d'un écosystème (recours à des indicateurs biologiques : présence ou absence d'un ensemble d'espèces, abondance « recouvrement, biomasse », diversité spécifique et indices écologiques).

Elle utilise également des indicateurs d'accumulation à diverses échelles, allant du niveau moléculaire jusqu'à l'écosystème, appelés bio accumulateurs.

I.10 Indicateurs biologiques

Un bioindicateur (ou bio-indicateur ou indicateur biologique) est un organisme (espèce végétale, fongique, animale ou bactérienne) ou un groupe d'organismes dont la présence ou l'état renseigne sur certaines caractéristiques écologiques (c'est-à-dire physico-chimiques, pédologiques, microclimatiques, biologiques ou fonctionnelles) d'un écosystème, ou indique l'impact de changements naturels (tels que les épisodes de sécheresse) ou artificiels (comme la pollution chimique) (**Argillier et al., 2008**).

Un bio-indicateur écologique de toxicité se base sur le principe de choisir des organismes aquatiques qui résistent à la pollution, au détriment de ceux qui sont sensibles (**Pascale, N. 2017**).

Les bio-indicateurs sont utilisés pour :

- Examiner l'effet des rejets toxiques sur les êtres aquatiques.
- Dans les zones polluées, l'utilisation d'un bio-indicateur permet d'apprécier l'impact concret de la pollution détectée sur les êtres vivants et de quantifier le degré de déséquilibre de l'écosystème.
- Surveillance de l'état écologique des masses d'eau. (**N. Pascale, 2017**)

I.11 Surveillance de la qualité écologique des masses d'eau

L'emploi d'un bioindicateur offre la possibilité d'évaluer la qualité des communautés aquatiques, indépendamment de toute pollution présente, et de mettre en lumière d'éventuelles perturbations manifestement invisibles sur lesquelles il serait judicieux d'intervenir.

Chapitre I : Revue Bibliographique

I.12 Présentation de l'espèce *Perna perna*

La moule africaine *Perna perna* (**Linnaeus, 1758**) est un mollusque bivalve de forme allongée qui possède une coquille équivalente, avec un contour mince autour des bords et épais postérieurement (**El Badaoui, 2012**).

Sa coquille est munie d'une mince fente byssale ventrale et sa charnière à un seul dent sur chaque valve (au lieu de trois dents sur chaque valve) (**Abada et Boudjema; 1996**). Un ligament sub-interne est fixé au bord dorsal postérieur de la coquille par une bande calcifiée blanchâtre. Cette espèce est caractérisée par la présence de deux empreintes, dont l'empreinte du muscle adducteur postérieur désigne un B.

La coloration de la coquille est verte, mélangé de brun de la face externe, et blanc jaunâtre de la face interne. Les deux valves sont garnies d'ornementation en forme de chevron (**figure 2**).

La couleur du manteau permet de distinguer les deux sexes, elle est blanchâtre chez les mâles et rose saumon à orange chez les femelles. En méditerranée la taille maximale des moules est de 90 mm, avec une taille moyenne de 50 à 60 mm (**Fisher et al,1987**).

Elle peut atteindre une longueur maximale de 18 cm. La taxonomie de l'espèce est présentée dans le tableau III, ci-dessous.

Chapitre I : Revue Bibliographique



Figure 2: *Perna perna* (Linnaeus, 1758)

Tableau III: La taxonomie de *Perna perna*
(Linnaeus, 1758; Boufama, 2024)

Embranchement	Mollusques
Classe	Bivalves
Sous-classe	<i>Ptériomorphia</i>
Famille	<i>Mytilidae</i>
Genre	<i>Perna</i>
Espèce	<i>P. perna</i>

I.13 Écologie

La répartition écologique de l'espèce étudiée est très vaste. Elle occupe le substrat dur de l'étage infralittoral et peut être retrouvée entre 0 et 40 mètres de profondeur. Elle vit en mélange avec *Mytilus galloprovincialis* (Abada-Boudjema et Dauvin, 1995 ; Abada-Boudjema, 1996).

Elle est largement rencontrée dans les eaux saumâtres des lagunes côtières. Elle est caractérisée par une forte tolérance vis-à-vis des conditions du milieu, ainsi elles supportent des températures de 13°C en hiver et entre 27 et 28°C en été et des salinités comprises entre 7 et 40 ‰ (Lubet et Chappuis, 1966; Kerdoussi, 2010).

Perna perna est une espèce largement répandue dans le monde, elle a été signalée sur les bords de la Méditerranée (Afrique du Nord : Algérie, Tunisie, Maroc, Mauritanie, Sénégal), et sur les

Chapitre I : Revue Bibliographique

côtes Est et Ouest de l'Atlantique tropical et subtropical et dans les côtes de l'Amérique du Sud (figure 3). (Kerdoussi, 2010).

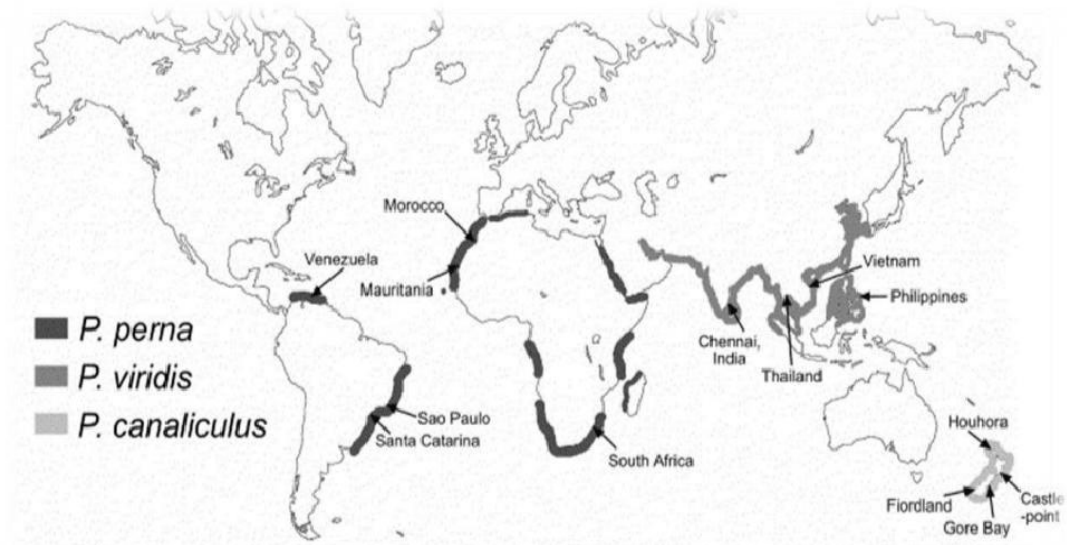


Figure 3: Répartition géographique de *Perna perna*

I.14 Anatomie générale

L'anatomie générale de *Perna perna* renseigne sur le fonctionnement des différents systèmes, à savoir le système respiratoire et digestif.

Les parties molles du corps de la moule sont recouvertes par le manteau dans les deux lobes, soudées dorsalement près de la bouche constituant la cavité palléale.

La tête de la moule est absente ou réduite à la bouche, celle-ci étant dépourvue de radula et de bulbe buccal, mais munie de palpes labiaux. Elle possède un pied qui leur permet de se déplacer dans le sable. A la base du pied se trouve une glande qui secrète des filaments (byssus) qui par la solidification au contact d'eau de mer, assure la fixation de l'espèce sur son substrat.

Les branchies sont constituées par une nappe externe et interne de filaments. Les palpes labiaux sont constitués par deux volets triangulaires foliacés, ils assurent la continuité de transport des particules des branchies vers la bouche.

Le tractus digestif débute par la bouche qui est pourvue de lèvres foliacées ; un œsophage court coudé aboutit dans un estomac volumineux débouche vers l'intestin postérieur qui se termine par l'anus (Aitoukaci et Bouaouina, 2016).

Chapitre I : Revue Bibliographique

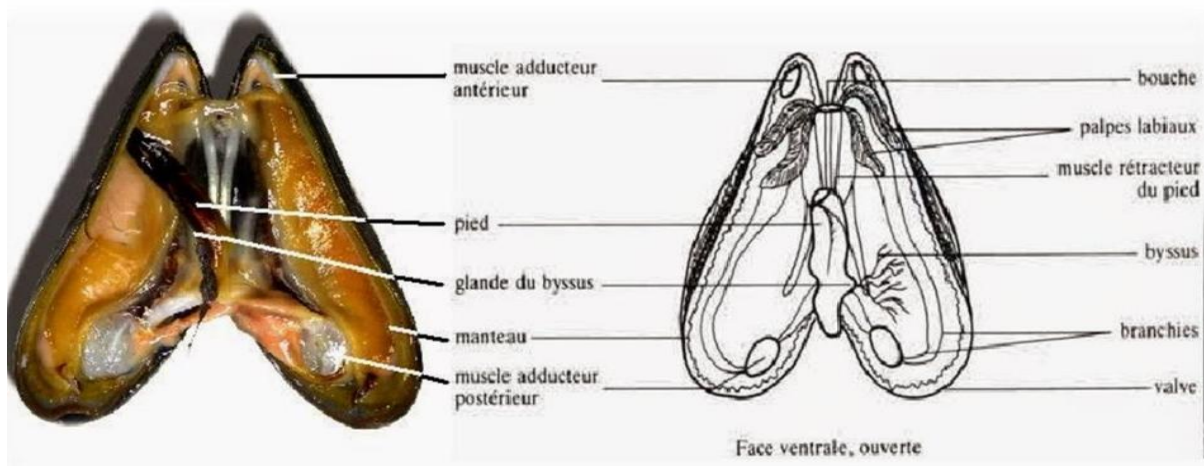


Figure 4:Anatomie générale de la moule *Perna perna*

I.15 Les biomarqueurs de stress

Un biomarqueur de stress est défini comme étant « une modification observable et/ou quantifiable à l'échelle moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportementale, qui indique l'exposition actuelle ou antérieure d'un individu à au moins un polluant chimique »(Moussaoui et al., 2023).

Le biomarqueur de stress est caractérisé par une prépondérance des oxydants sur les antioxydants, en augmentant les activités antioxydantes, mais ces changements d'activité peuvent être temporaires et peuvent ou non être accompagnés par des effets de lipoperoxydation (Sies, 1991).

On évalue souvent la lipoperoxydation en se basant sur la concentration de Malondialdéhyde (MDA), produit final de la décomposition des lipides (Amiard, 2008). Dans les milieux contaminés, l'application d'un bio-indicateur permet d'évaluer l'effet réel de la pollution identifiée sur les organismes et de mesurer le niveau de perturbation de l'écosystème (Pascale, N. 2017). L'étude de la réaction des systèmes antioxydants des organismes aquatiques face aux polluants a été réalisée in situ (Cossu et al, 1997). En général, la présence de polluants stimule l'activité antioxydante, cependant, ces changements d'activité peuvent être temporaires et être accompagnés ou non par des effets de lipoperoxydation. On évalue souvent la lipoperoxydation en se basant sur la concentration de MDA, un produit final de la décomposition des lipides (Amiard, 2008).

Chapitre I : Revue Bibliographique

Les bio-indicateurs sont utilisés pour:

- L'étude de l'impact de rejets toxiques sur les organismes aquatiques,
- Dans les secteurs contaminés, l'application d'un bio-indicateur permet d'évaluer l'effet, réel de la pollution identifiée sur les organismes et de mesurer le niveau de perturbation de l'écosystème,
- Suivi de l'état écologique des masses d'eau (**Pascale, N. 2017**).

Selon la Directive Cadre européenne sur l'Eau (**DCE**) elle vise comme objectif à atteindre le bon état écologique des masses d'eau. L'utilisation d'un bio-indicateur permet d'estimer la qualité des peuplements aquatiques, toutes pressions polluantes confondues et de révéler d'éventuelles perturbations a priori non visibles et sur lesquelles il convient d'agir.

I.15.1 Le stress oxydant

L'oxygène, molécule indispensable à la vie, est susceptible d'entraîner des effets dommageables dans l'organisme via la formation de radicaux libres et d'espèces oxygénées activées (EOA)(**Haleng et al., 2007**).

La chaîne respiratoire mitochondriale, qui permet aux organismes aérobies d'extraire leur énergie, occupe une place centrale au sein de la cellule en associant l'oxydation des coenzymes porteuses d'hydrogène. Dans des conditions physiologiques, environ 0,4 à 4 % des électrons échappent, interagissent directement avec l'oxygène dissous dans le cytoplasme et produisent des EOA. Ils sont des radicaux libres tels que l'anion superoxyde, ou le radical hydroxyle $\text{OH}\cdot$, soit des molécules comme le peroxyde d'hydrogène ou l'oxygène singlets. Dans ce domaine spécifique de la chimie, les métaux de transition tels que le Fe^{2+} et le Cu^{2+} , jouent un rôle catalytique dans le processus de formation du radical hydroxyle(**Haleng et al., 2007**).

Le stress oxydant se définit donc comme un déséquilibre entre la production d'espèces oxygénées activées (EOA) et les mécanismes de défense antioxydants de l'organisme(**Haleng et al., 2007**).

I.15.2 Activités enzymatiques (enzymes antioxydants)

Pour se protéger des effets délétères des EOA, l'organisme dispose d'un ensemble complexe de défenses antioxydantes (**figure 5**). On distingue deux sources d'antioxydants : l'une est apportée par l'alimentation sous forme de fruits et légumes riches en vitamines C, E, caroténoïdes, ubiquinone, flavonoïdes, glutathion ou acide lipoïque ; l'autre est endogène et se compose d'enzymes, de protéines et de systèmes de réparation des dommages oxydatifs comme les endonucléases(**Haleng et al., 2007**).

Chapitre I : Revue Bibliographique

On désigne cela sous le terme de « cofacteurs » (**Limón et Pacheco, 2009**). On évalue l'activité d'une enzyme :

- Soit par la rapidité à laquelle un substrat se dégrade,
- La rapidité d'introduction d'un produit,
- Par le biais de la rapidité d'emploi d'un cofacteur,
- Techniques cinétiques,
- Colorimétrique, UV.

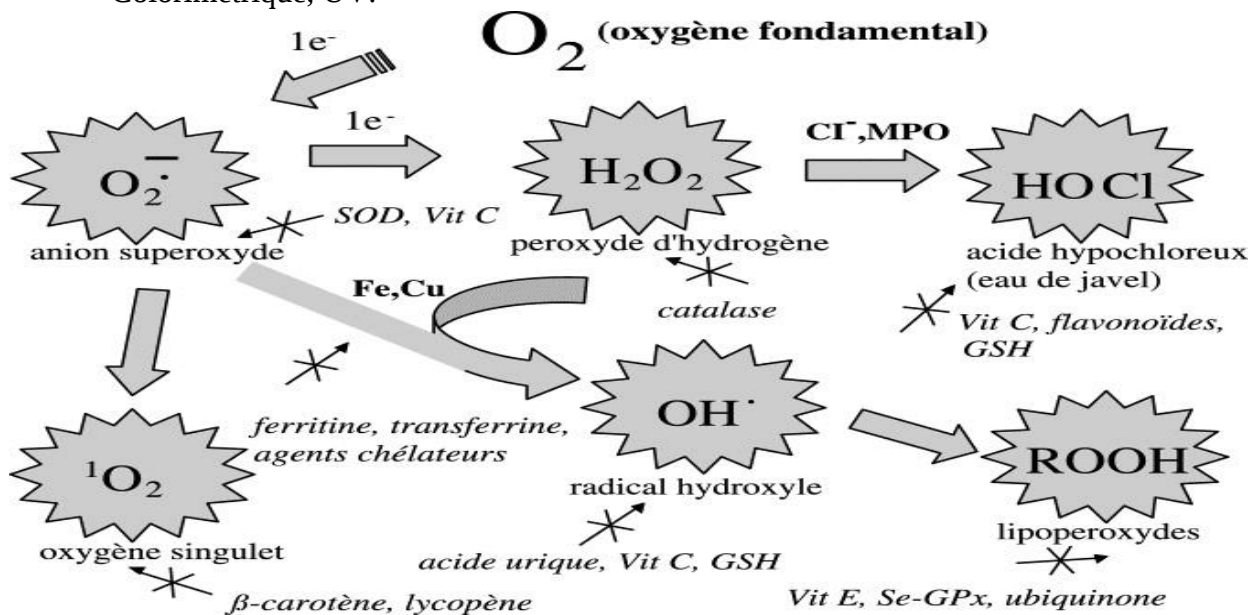


Figure 5: Aperçu des différentes espèces oxygénées activées (EOA) et des Régulateurs de reproduction (**Haleng et al., 2007**).

I.15.3 Source des espèces réactives à l'oxygène

De nombreuses sources d'espèces réactives à l'oxygène (ERO) existent dans la cellule, la plus importante est la mitochondrie, sans négliger chacune d'entre elle, à cause de son principal rôle dans la bioénergétique et du fait qu'elle soit le cite capitale de la production cellulaire d'ERO, 80% de l'union superoxyde résulte de la chaine respiratoire (**Carrière et al., 2006**). L'énergie est fournie à l'organisme par la mitochondrie, qui transforme l'oxygène en énergie à l'échelle cellulaire. Néanmoins, libère des radicaux libres (Breton, 2019). Cette énergie est produite sous forme d'ATP est nommée phosphorylation oxydative elle est mise en place par l'intermédiaire de chaines de transport d'électrons présentes dans la membrane interne des mitochondries (**Migdal et Serres, 2011**).

I.15.4 Les différentes espèces réactives de l'oxygène (ERO)

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont des radicaux libres ou des molécules. Un radical libre est une entité chimique, neutre ou ionisée, qui se distingue par la présence d'un électron

Chapitre I : Revue Bibliographique

isolé (ou non apparié) sur sa couche périphérique, ce qui lui confère en général une instabilité et la capacité de réagir à divers degrés avec d'autres molécules chimiques adjacentes. Les réactions de transfert d'électrons qu'il génère (réactions redox ou d'oxydoréduction) conduisent fréquemment à la création d'un nouvel radical, ce processus ayant la capacité de se propager via des réactions en chaîne. Différentes EAO sont générées par les successives réductions d'une seule électron de l'oxygène : l'anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et le radical hydroxyle ($\cdot OH$) (**Carrière et al., 2006**). Dans la cellule, tous les mécanismes qui utilisent l'oxygène dans les divers compartiments subcellulaires ont la capacité de générer des EAO.

I.15.5 Rôle physiologique des ERO

Les êtres vivants ont élaboré des stratégies qui leur permettent non seulement de s'adapter et de coexister avec les radicaux libres ERO, mais aussi de les exploiter à leur profit. Ces ERO représentent un véritable paradoxe : d'un côté, leur possible toxicité pour l'organisme, et de l'autre, leur rôle crucial dans la signalisation et la régulation cellulaires. Une double possibilité qui se justifie par la variation très fine et distincte des réponses cellulaires en fonction de la nature chimique de l'ERO, du seuil de production lié à l'effet dose-dépendant, ou encore du lieu de production (**Migdal et Serres, 2011**).

Elles sont générées en petites quantités et agissent comme des intermédiaires secondaires, en plus de participer à la régulation de l'apoptose ou à l'activation des facteurs de transcription. Evoquons le mécanisme de la fécondation, durant lequel les spermatozoïdes libèrent une quantité significative d'ERO pour traverser la membrane de l'ovule (**Haleng et al., 2007**).

Ainsi, on peut également mentionner parmi les fonctions physiologiques impliquant des composants radicaux : la modulation du tonus vasculaire, le relâchement du muscle lisse, l'adhérence plaquettaire, et la régulation des fonctions dépendant de la concentration en oxygène (**Dröge, 2002**).

I.16 Les tests écotoxicologiques

Un essai écotoxicologique est une expérimentation qui détermine l'influence d'un ou de plusieurs produits sur un ensemble d'organismes choisis, dans des conditions précises (**Keddy et al, 1994**). La majorité des essais de toxicité fournissent une estimation de la dose qui influence 50% de la population. On identifie généralement deux catégories de tests de toxicité :

- **Tests de toxicité aiguë** : effectués sur une période extrêmement courte,
- **Tests de toxicité chronique** : effectués sur une période assez longue en comparaison au cycle de vie de l'organisme

Matériel et méthodes

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Ce chapitre expose la méthode employée pour l'examen biométrique, ainsi que les analyses chimiques et biochimiques.

Notre objectif principal est de distinguer des biomarqueurs en tant que signaux précoces, susceptibles de donner une information globale sur la santé des environnements marins. Nous avons donc analysé la catalase, SOD et la protéase en tant que réactions biologiques chez la moule brune « *Perna perna* », après une exposition aiguë en laboratoire à diverses concentrations de pesticide « Linuron » et de microplastiques.

L'étude a été réalisée sur une période de trois mois, s'étalant d'avril à juin 2025. Les essais ont été effectués au CNRDPA - Bousmail, qui se trouve dans la wilaya de Tipaza.

II.1 Présentation du lieu de stage

Le Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture CNRDPA est un Établissement Public à caractère Scientifique et Technologique **EPST** placé sous la tutelle du Ministère de la pêche et des productions halieutiques. Le CNRDPA a été créé suite à la restructuration du CNRDPA en 2008 (décret exécutif n° 08-128 du 30 avril 2008 fixant le statut type de L'**EPST**). Conformément à ses missions statutaires, le CNRDPA s'attèle à développer des connaissances scientifiques et des outils d'aide à la décision par une recherche scientifique efficace, pratique et adaptée aux contraintes d'exploitation, d'une part, et aux conditions naturelles d'autre part permettant ainsi le développement d'un secteur stratégique comme celui de la pêche et de l'aquaculture, orientée vers la durabilité et la protection des milieux de production.

Le CNRDPA est organisée en quatre (4) divisions :

La recherche a été effectuée au sein de la Division des écosystèmes aquatiques.

❖ Division écosystèmes aquatiques

Est une division transversale, qui s'intéresse particulièrement à la connaissance des écosystèmes aquatiques marins et continentaux, notamment par l'étude des interactions milieux – ressources. Des milieux aquatiques changeants, mal connus et soumis à de fortes pressions d'exploitation (pêche- aquaculture) ou de dégradation (pollution...).

❖ Division industrie et transformation des produits de la pêche et de l'aquaculture

A pour mission le développement et l'amélioration des techniques de valorisation des produits et coproduits de la pêche et de l'aquaculture. Elle est également appelée, à développer et améliorer les aliments artificiels pour les élevages aquacoles.

Chapitre II : Matériel et Méthodes

❖ Division pêche

Elle a pour mission principale l'évaluation des ressources halieutiques dans l'objectif de leurs assurer une gestion rationnelle et durable. Elle œuvre aussi pour le développement des techniques et technologies des pêches.

❖ Division aquaculture

La division aquaculture est chargée de mener un programme de recherche qui participe au développement durable de l'aquaculture marine et continentale tout en préservant le milieu et la ressource. Ses principales missions consistent en la valorisation des ressources hydriques, l'évaluation et la gestion des ressources aquacoles, la reproduction des espèces à intérêt aquacole.

II.1.1 Matériels utilisés

Les moules brunes (*Perna Perna*).

Les microalgues (*Chlorella vulgaris* et *Chlorella Ellipsoïdea*)

II.1.2 Matériel non biologique

Pour mener à bien les essais, études physico-chimiques et biochimiques, nous avons utilisé divers équipements tels que des produits chimiques, du matériel en verre, une balance à précision, une centrifugeuse, un spectrophotomètre.... (voir les annexes pour plus de détails).

II.3 Préparation expérimentale

Dans l'application d'une stratégie exploitant les moules comme bioindicateurs pour évaluer la contamination par les pesticides et microplastiques, nous avons choisi une approche incluant des tests d'écotoxicité de courte durée au laboratoire du CNRDPA.

Les moules brunes *Perna Perna*, de taille moyenne de 45mm, sont récoltées en avril 2025 afin de réaliser les expériences (dans la filière Mytilicole de Boumerdes).

L'ensemble des moules est maintenu dans un environnement uniforme et l'emploi de pompes à air assure l'enrichissement en oxygène de l'eau contenue dans les bacs expérimentaux.

II.3.1 Acclimatation des moules

L'adaptation des moules en milieu contrôlé est essentielle pour obtenir des résultats fiables et reproductibles à grande échelle. Il s'agit de les garder dans un environnement maîtrisé afin qu'elles puissent s'adapter à un milieu artificiel avant de procéder à des tests ou à des études. Cette étape est cruciale pour stabiliser leur métabolisme et leur condition physiologique (Elle permet d'amener tous les sujets à un même niveau initial), une durée qui s'étend généralement

Chapitre II : Matériel et Méthodes

sur au moins deux (2) semaines, nécessitant une surveillance rigoureuse des conditions de conservation et de la pureté de l'eau.



Figure 6:Dispositif expérimental

II.1.3.2 Conditions d'acclimatation

- ❖ Dès leur réception, les moules sont lavées (rincées) et disposées dans des contenants remplis d'eau à température régulée.
- ❖ Chaque jour, tout au long de la période d'essai, l'eau est renouvelée quotidiennement.
- ❖ L'intervalle minimal d'adaptation est approximativement de deux semaines, ce qui permet aux moules d'éliminer tous les polluants accumulés dans leur environnement naturel.
- ❖ Au cours de cette période, on surveille les caractéristiques physico-chimiques avant et après le renouvellement de l'eau (pH, concentration en oxygène, température, turbidité, conductivité) afin d'assurer un maintien dans des conditions optimales.

II.1.3.3 Objectifs

L'objectif de l'acclimatation est de minimiser le stress associé au transfert et d'assurer la stabilité des fonctions physiologiques des moules avant la réalisation des essais expérimentaux.

II.2 Les tests écotoxicologiques

II.2.1 Démarches suivies

Après une phase initiale d'acclimatation dans des conditions expérimentales similaires, les moules ont été classées en sept groupes distincts (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7) pour procéder à différents essais.

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Au cours du premier jour de la phase de contamination, avant leur exposition aux différents polluants (contaminants), on a administré à chaque bac 50 ml d'une solution contenant des microalgues préparées au laboratoire du CNRDPA, et procédé à la dissection initiale.

Lors du deuxième jour et pour les journées restantes de la phase de contamination, elles ont reçu trois (3) repas de 100 ml de solution contenant des microalgues. Le premier repas a eu lieu après le renouvellement de l'eau d'élevage, le second une heure suite à l'introduction des contaminants dans les bacs, et le troisième dans la soirée.

- B1 : Groupe d'individus (témoins) sans polluants
- B2 et B3: groupe d'individus exposés au pesticides (Linuron) à des concentrations de (50µg/L) et (100 µg /L), respectivement
- B4 et B5 : groupe d'individus exposés aux microplastiques à des concentrations (10 µg /L) et (20 µg /L), respectivement
- B6 et B7 : groupe d'individus exposés au pesticide adsorbé par les particules de microplastiques (mélange de microplastiques et le pesticides MPs, linuron) à des concentrations (10/50µg/L) et (20/100 µg /L), respectivement.

Au cours de l'expérience, tous les deux jours pendant la phase de contamination et tous les trois jours durant la phase de décontamination, nous prélevons 4 à 5 moules de chaque contenant (bac) respectivement pour les mesurer et les disséquer. La chair est par la suite récupérée et transférée dans des piluliers avant d'être soumis à une congélation.

Chapitre II : Matériel et Méthodes

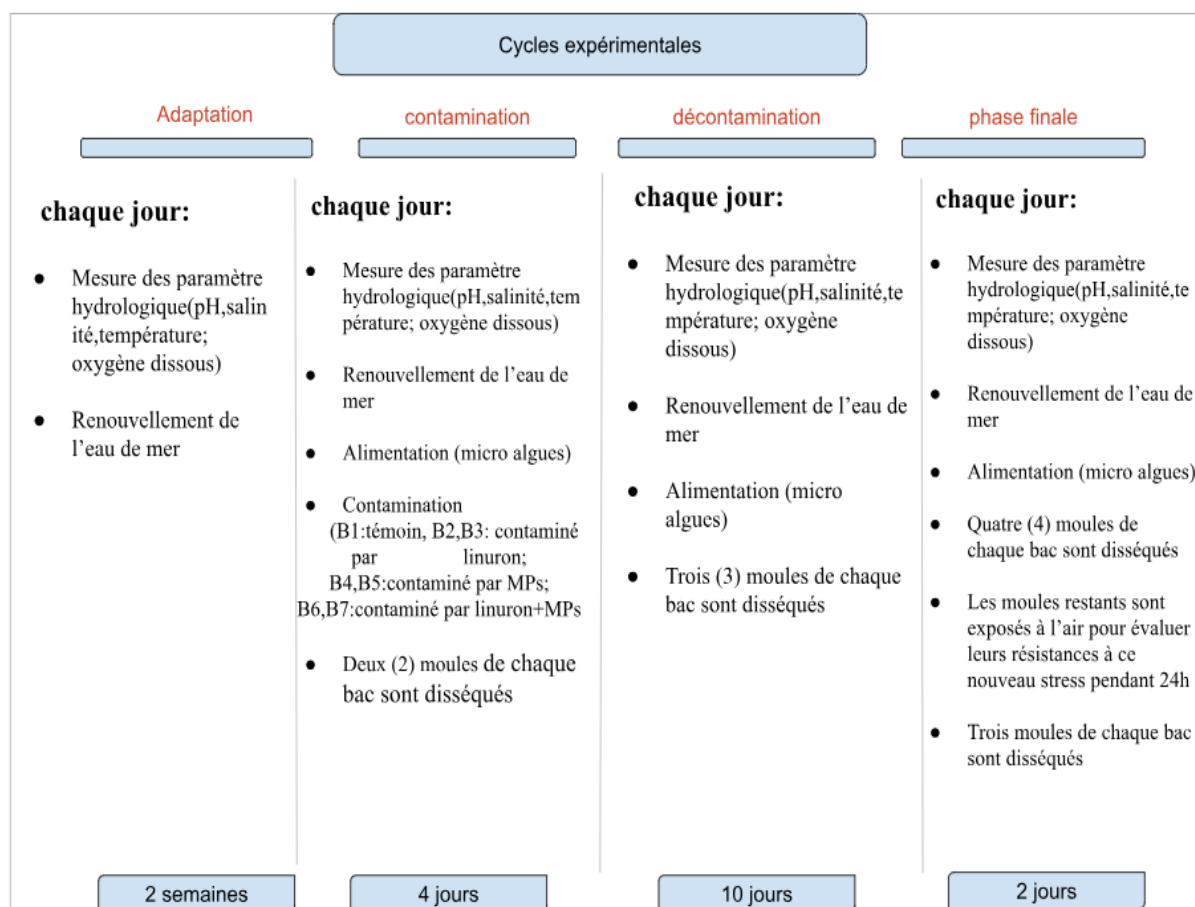


Figure 7: Planification expérimentale des tests écotoxicologiques de courte durée.

II.3. Méthodes et protocoles analytiques

II.3.1 Mesure des paramètres physicochimiques

L'eau est analysée quotidiennement, avant et après chaque renouvellement de l'eau des bacs, en utilisant un appareil à multi-paramètre de terrain du genre *HANNA* (voir annexe) qui mesure divers indicateurs physico-chimiques tels que le pH, l'oxygène dissous, la salinité, la température, turbidité, et la conductivité.

Le protocole est le suivant

- Activez le Multi-paramètre et rincez l'électrode à plusieurs reprises avec de l'eau distillée.
- Ensuite, immergez l'électrode dans le récipient et remuez délicatement.
- Après une brève période de stabilisation, notez les valeurs finales du pH, de la température, de la salinité et de l'oxygène dissous.

Chapitre II : Matériel et Méthodes

- Après éteindre le multi-paramètre, rincer abondamment l'électrode avec de l'eau douce puis de l'eau distillée.

II.4 Élaboration des échantillons de tissus pour les analyses biochimiques

La préparation des échantillons pour homogénéiser les tissus biologiques et en extraire les molécules d'intérêt est une opération souvent laborieuse et délicate mais indispensable à toute analyse.

Elle représente une phase fondamentale dans l'analyse analytique, offrant une perspective cruciale pour obtenir des résultats fiables et précis. Elle englobe l'ensemble des techniques et procédures visant à transformer l'échantillon brut en une forme appropriée pour l'analyse. Cette phase permet de minimiser les perturbations, d'accroître la sensibilité de la technique et d'assurer la représentativité de l'échantillon.

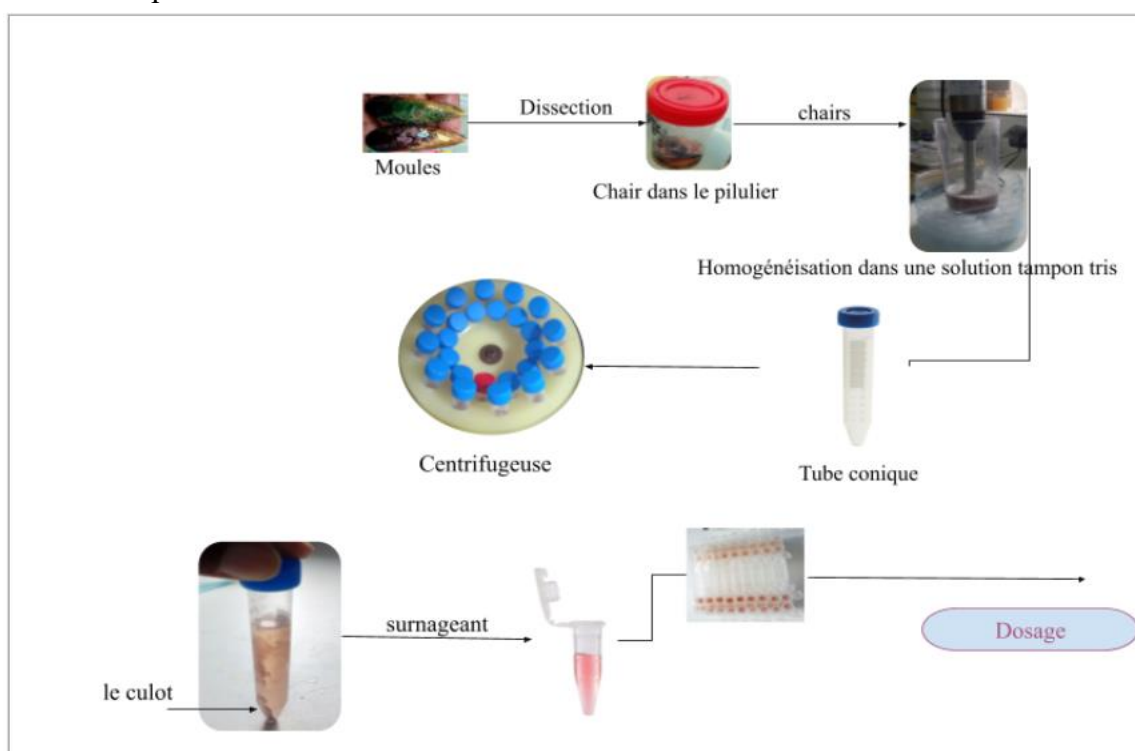


Figure 8: Méthodes expérimentales pour les dosages biochimiques

II.4.1 Homogénéisation des tissus biologiques

L'homogénéisation est une méthode qui vise à conduire un échantillon biologique à une condition où toutes ses fractions présentent une composition identique.

Les échantillons sont uniformisés dans une solution tampon Tris (20 mM, pH 7.8) à une proportion de 1/10 (poids/volume), en utilisant un mixeur à lame. La durée et la vitesse du

Chapitre II : Matériel et Méthodes

broyage étaient suffisantes pour assurer l'homogénéité du broyat (la température a été maintenue constante avec l'aide de glaçons pour éviter la surchauffe).

Par la suite, l'homogénat est réparti dans des tubes coniques de 15 ml et soumis à une centrifugation de 30 minutes (6000 tours) à une température de 4 °C. Le supernatant de chaque échantillon obtenu à la centrifugation est transféré dans 18 tubes Eppendorfs de 1,5 ml, désigné sous le nom de Fraction S9, est utilisé pour quantifier les protéines, y compris la catalase et la protéase.

II.5 Dosages Enzymatiques

II.5.1 Dosage des protéines (selon la méthode de Lowry)

-Principe

L'analyse des protéines est effectuée selon la méthode de Lowry (Lowry et al., 1951). En milieu alcalin, le réactif cuivrique catalyse l'oxydation des acides aminés aromatiques, avec réduction de l'acide phosphomolybdique et tungstique (réactif Folin-Ciocalteu) pour donner le lieu à la formation d'un complexe coloré bleu foncé, qui a une absorbance maximale à 660 nm.

-Réactif :

➤ Solution analytique :

(A) 50 ml de sodium carbonate à 2% avec 50 ml de NaOH 0,1N.

(B) 10ml de sulfate de cuivre à 1.56% avec 10ml de sodium potassium tartrate à 2.37%.

La solution analytique est préparée en mélangeant 2 ml de la solution (B) avec 100 ml de la solution (A).

● Mode opératoire

Dans une série de tubes à essai, les prises d'échantillons de la fraction S9 (surnageant) sont mélangées avec 2 ml de la solution analytique. On laisse incuber pendant 10 min à température ambiante. Par la suite, 0,2 ml de réactif Folin-Ciocalteu diluer extemporanément au 1/2 est additionné au mélange (il est important d'agiter juste après l'addition de ce dernier). L'ensemble est mis au repos à l'obscurité au moins 30 minutes. Ainsi la lecture de l'absorbance est faite à 660nm.

La gamme d'étalonnage est réalisée à partir de la solution de Sérum Albumine Bovine (SAB) étalon mère. Les étalons filles sont ainsi obtenus par dilution de la solution mère.

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.5.2 Dosage des enzymes par mode cinétique

II.5.2.1 Catalase

-Principe : l'analyse de l'activité de la catalase (CAT) est effectuée selon la méthode décrite par Aebi (1984). La CAT est une oxydoréductase hémique qui catalase la dissimulation du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en eau et en dioxygène. La disparition d' H_2O_2 est suivie directement à travers la diminution de l'absorbance à 240 nm par unité de temps, qui correspond à l'activité catalase.

- Réactifs

Tampon phosphate 50 mM (pH=7): dissolution de 1,761 g de potassium dihydrogène phosphate (KH_2PO_4) et 3,634 g de sodium phosphate monobasique monohydrate ($Na_2HPO_4 \cdot H_2O$). Dans 500 ml d'eau distillée.

Mode opératoire

On introduit 2,5 ml du réactif substrat (composé de 2,4 ml de tampon phosphate à 50 mM et de 100 μ l de solution d' H_2O_2 à 3%) dans la cuvette du spectrophotomètre qui a été préalablement paramétrée en mode cinétique.

Suite à l'introduction de 50 μ l de la fraction S9 (contient l'enzyme), le spectrophotomètre est en marche et on note la dégradation du peroxyde d'hydrogène sur une durée de 60 secondes. On surveille la réaction par le biais d'une approche cinétique.

II.5.3 Dosage de l'activité des enzymes digestives

II.5.3.1 Protéase

-Principe : Le dosage des protéases dans la glande digestive a été effectué selon la méthode décrite par Cupp-Enyard (2008) et Anasori et al. (2015), en utilisant la caséine comme substrat. L'hydrolyse enzymatique de la caséine libère la tyrosine ainsi que d'autres acides aminés et des fragments de peptides. Le réactif de Folin-Ciocalteu réagit principalement avec la tyrosine libre en donnant une coloration bleue permettant un dosage colorimétrique. Les valeurs de l'absorbance sont comparées à une courbe d'étalonnage établie en utilisant une solution standard de tyrosine.

- Réactifs

Tampon potassium phosphate (Tris) 50mM (pH 7,5)

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Caséine à 1% : Préparation d'une solution de 10 mg/ml de caséine de lait bovin dans le tampon potassium phosphate. La température est élevée petit à petit en commençant à 25, on augmente la température à chaque deux (2) minutes jusqu'à la dissolution complète avec une agitation douce.

Acide trichloroacétique (TCA) à 10%

Mode opératoire

Dans une série de tubes à essai déposés dans un bain marie à 37°C, on met 2 ml de caséine (1%), puis on ajoute 2 ml de l'échantillon dilué (1 ml de fraction S9 + 1 ml d'eau distillée).

Après une incubation à 50°C pendant 1 heure, la réaction est stoppée en ajoutant 1 ml de TCA. Un blanc préparé en ajoutant le volume d'échantillon après le TCA, puis centrifugés à 6000 tr/mn pendant 15 mn. Ensuite, 2,5 ml de surnageant est introduit dans la cuvette(quartz) du spectrophotomètre puis procéder à la lecture de l'absorbance à 660 nm.

II.5.3.2 Superoxyde dismutase

-Principe : L'analyse de l'activité de superoxyde dismutase (SOD) est effectuée selon la méthode de Marklund & Marklund (1974). Le principe est basé sur la capacité de l'enzyme à inhiber l'oxydation du pyrogallol, à travers la dismutation des radicaux superoxydes (O_2^-) libres. Le taux d'oxydation du pyrogallol est déterminé à partir de l'augmentation de l'absorbance à 420 nm.

-Réactifs :

Tampon tris-EDTA (pH=8,2): Dissolution de 1,425 g de tris et 0,555 g de sel disodique de l'EDTA dans 0,5 L d'eau distillée.

Solution de pyrogallol à 20 mM dans le HCL 10 mM.

Mode Opératoire

Dans une cuve en quartz, 2,9 ml de tampon tris-EDTA incubé à 25°C ont été ajoutés à 50ul de la solution pyrogallol et 50 ul de l'échantillon (solution A). Un contrôle a été préparé de la même manière, en remplaçant le volume d'échantillon par de l'eau distillée (solution B). L'absorbance de chaque solution a été mesurée à 420 nm pendant une minute en utilisant un spectrophotomètre en mode cinétique

Résultats et Discussion

Résultats et discussion

III.1 Résultats du test d'écotoxicité courte durée

III.1.1 Paramètres d'élevage

Cette étude a examiné l'influence du Linuron, des microplastiques, et de leur effet cumulé sur les réponses métaboliques associées à l'état physiologique du bivalve marin *Perna perna*, sur la base de données expérimentales.

L'analyse des données physicochimiques (température : T°C ; pH ; salinité : Sal et conductivité : Cond) est présentée dans le tableau (IV) ci-dessous.

Tableau IV: L'analyse des données physicochimiques

Paramètre	T°C	pH	Sal	Cond
Moyenne	20,948	7,885	37,283	55,984
Ecart-type (n-1)	0,440	0,160	0,244	0,377

D'après les résultats illustrés par le tableau (IV) de la température, du pH, de la salinité et de conductivité, on remarque une distribution homogène (tous groupes confondus, témoins et de contamination).

La température moyenne était de $20,948 \pm 0,44$ °C. De même, la salinité montrait des valeurs très stables avec une moyenne de $37,283 \pm 0,244$. Le pH s'est trouvé encore plus stable avec des écarts très faibles (7.88 ± 0.16).

La moule est très sensible aux variations des divers paramètres environnementaux tels que la température, la salinité et l'abondance de nourriture (Almeida, E.A., et al.,2007). Ainsi, dans le but de minimiser au maximum les facteurs stressants, l'assurance des conditions environnementales optimales pour l'élevage des individus était l'étape primaire avant de commencer les tests d'écotoxicité, et ce, pour l'ensemble des séries d'expériences.

D'après les résultats obtenus, nous constatons que la variation des paramètres physicochimiques de l'eau d'élevage est presque identique dans tous les bacs expérimentaux et reste dans l'intervalle de tolérance des spécimens *Perna* tout au long de la période d'étude. Ainsi, il est facile de conclure la stabilité des conditions expérimentales des tests d'écotoxicité

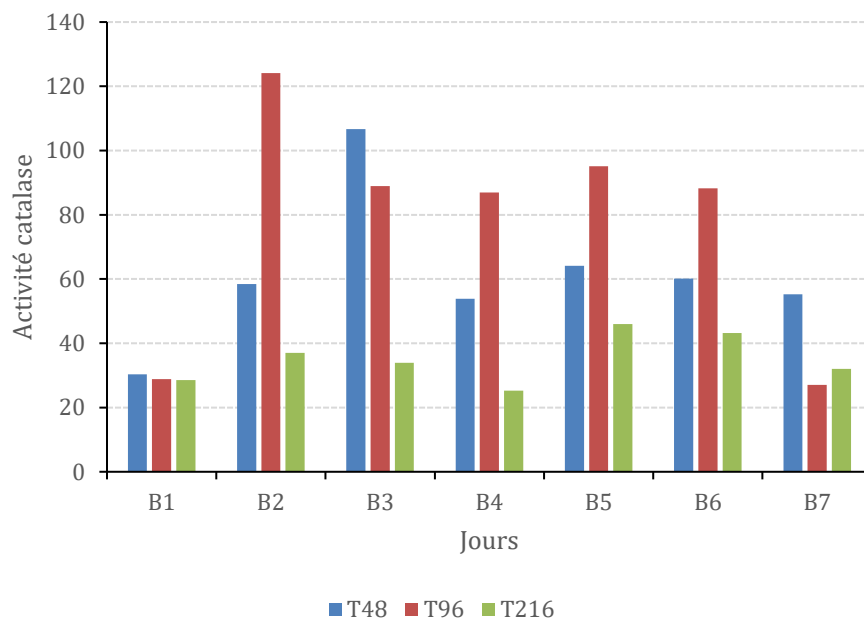
Résultats et discussion

traduite par la stabilité des paramètres physicochimiques de l'eau d'élevage. Les conditions d'élevage au laboratoire ne semblent pas avoir un effet stressant sur les individus de moules de la présente étude.

III.1.2 Résultats des dosages biochimiques et enzymatiques

III.1.2.1 Résultats du dosage de la catalase

La figure (9) ci-dessous représente les variations du dosage du biomarqueur catalase au niveau de la chair des moules.



T48 : 48h d'exposition. T96h : 96h d'exposition. T216 : Après 216h de décontamination

Figure 9: Variation de la réponse catalase (CAT) chez la moule *Perna perna*.

Témoins : B1 ; Linuron : B2 (50 µg /L) et B3 (100 µg /L) ; Microplastique : B4 (10 µg /L) et B5 (20 µg /L) ; Linuron avec microplastique : B6 (10/50µg/L) et B7 (20/100 µg /L).

Comme première observation, quels que soit le type de contamination, les réponses catalase (CAT) montraient des corrélations positives avec des taux d'induction très significatifs et ce comparativement à ceux relevés chez les témoins. De manière générale, les réponses catalase étaient durée-concentrations dépendantes (Bacs : B2, B4, B5 et B6). Ainsi, les activités relevées après 96h d'exposition sont nettement supérieures à celles relevées après 48h d'exposition. Aussi, la durée d'exposition se révèle comme un facteur important pour montrer l'effet des xénobiotiques (linuron, microplastique) sur les réponses biologiques de l'enzyme antioxydante catalase.

Résultats et discussion

Cependant, une exception a été notée dans les bacs B3 et B7, où les activités CAT mesurées à 48h sont supérieures à celles mesurées à 96h de contamination.

Aussi pour une durée d'exposition de 48h, le pesticide (Linuron) apparaît le plus inducteur du mécanisme antistress oxydatif traduit par la catalase. Alors, après 96h la nature et/ou le type d'exposition ne semblent pas avoir un effet sur l'activité catalase. Cependant, l'activité maximale (124) est relevée à 96h sous l'effet d'une concentration de 50 µg/L de Linuron.

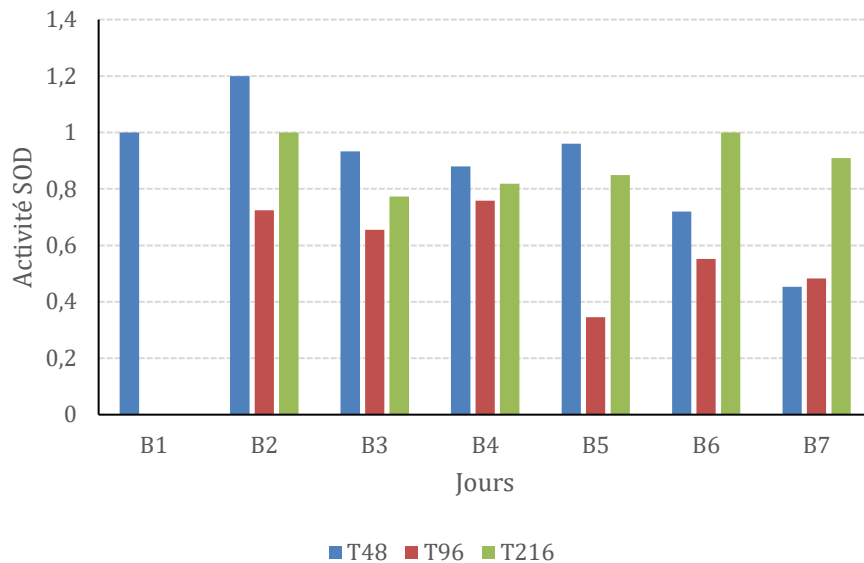
En ce qui concerne les différences entre les groupes expérimentaux, aucune variation statistiquement significative n'a été détectée permettant d'attribuer un effet spécifique au type de contaminant. Néanmoins, les deux pics d'induction observés dans les groupes exposés au Linuron suggèrent un pouvoir inducteur plus marqué de ce composé, du moins dans les concentrations testées.

À la fin du cycle de décontamination, une baisse significative des taux de l'activité catalasique, est relevée dans les différents groupes de détoxification des xénobiotiques. Toutefois, les taux relevés varient entre une baisse significative et non significative par rapport aux taux relevés chez les témoins. Ainsi, il reste difficile de conclure quant à l'efficacité de la phase de détoxification pour permettre aux individus de *Perna perna* de retrouver leur état oxydatif initial.

III.1.2.2 Résultats du dosage de la super-oxyde-dismutase SOD

Les résultats obtenus sont représentés dans la figure suivante :

Résultats et discussion



T48 : 48h d'exposition T96h : 96h d'exposition T216 : Après 216h de décontamination

Figure 10: Variation de la réponse SOD chez la moule *Perna perna*.

Témoins : B1 ; Linuron : B2 (50µg/L) et B3 (100 µg /L) ; Microplastique : B4 (10 µg /L) et B5 (20 µg /L) ; Linuron avec microplastique : B6 (10/50µg/L) et B7 (20/100 µg /L).

Après 48h d'exposition au pesticide, la concentration 50µg/L de Linuron semble avoir l'effet inducteur le plus marqué de la superoxyde dismutase SOD. Alors, l'effet relevé sous la concentration 100µg/L se manifeste non significatif. Aussi, aucun effet significatif de l'exposition au microplastique n'est relevé pendant les 48h d'exposition. En revanche, l'exposition aux effets combinés du mélange Linuron-microplastique, a conduit à une baisse notable de la SOD avec des réductions atteignant 28% à 48h et 45% à 96h dans le bac B6, et environ 55% à la fois à 48h et 96h dans le bac B7. Quelle que soit la concentration testée dans les différents groupes, la durée d'exposition semble avoir un effet plus important que la concentration (SOD : durée-dépendante).

Par ailleurs, la détoxification a conduit à un retour marqué vers les valeurs initialement mesurée de la SOD chez l'ensemble des groupes de tests. Une prolongation de la durée pourrait fournir plus d'information nécessaire pour mieux évaluer la restauration de l'homéostasie oxydative (vis-à-vis des réponses SOD).

Résultats et discussion

III.1.2.3 Résultats du dosage de la protéase

Les résultats relatifs aux dosages de la protéase sont graphiquement indiqués par la figure ci-dessous.

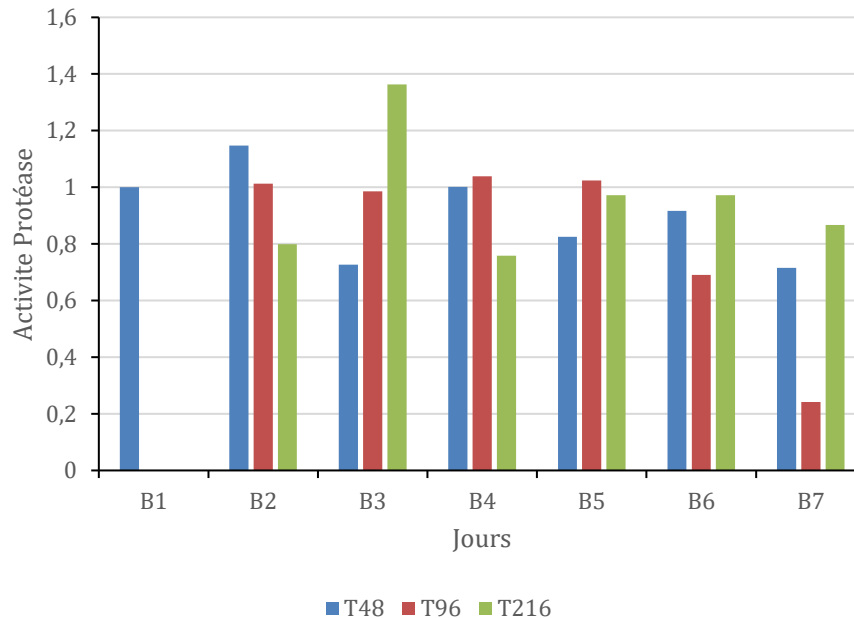


Figure 11: Variation de la réponse protéase chez la moule *Perna perna*.

T48 : 48h d'exposition. T96h : 96h d'exposition. T216 : 216h de décontamination

Témoins : B1 ; Linuron : B2 (50 µg /L) et B3 (100 µg /L) ; Microplastique : B4 (10 µg /L) et B5 (20 µg /L) ; Linuron avec microplastique : B6(10/50µg/L) et B7(20/100 µg /L).

Regardant l'effet conjugué doses-durée, ni le Linuron ni les particules de microplastiques, pris comme xénobiotiques, n'ont induit de perturbation significative de l'activité digestive chez *Perna perna*, telle qu'évaluée par l'activité protéasique.

Cependant, après 96h d'exposition, des baisses très significatives sont relevées chez les groupes soumis aux effets combinés de Linuron-microplastique (B6 et B7). Toutefois, un retour vers la normale est relevé à la fin du cycle de décontamination, suggérant une récupération fonctionnelle de l'activité digestive.

Résultats et discussion

III.1.2.4 Résultats des réponses intégratives des biomarqueurs

Afin de visualiser de manière simple et intégrée l'effet de chaque contaminant sur l'espèce sentinelle (*Perna perna*) utilisée comme bioindicateur du niveau de contamination, nous avons opté pour l'exploitation de l'indice global de biomarqueurs (IBR). Cet outil composite permet d'intégrer plusieurs réponses biologiques (biomarqueurs) mesurées chez des organismes exposés à divers stress environnementaux, tels que les polluants ou les conditions abiotiques. L'IBR offre ainsi une représentation synthétique et quantitative des effets globaux de la contamination sur les organismes.

On peut représenter les scores normalisés sur un graphique en étoile (radar), chaque axe correspondant à un biomarqueur. Ainsi, l'aire entre deux biomarqueurs adjacents (triangle)

$$\text{est : } A = 1/2 \cdot S_i \cdot S_{i+1} \cdot \sin \cdot \left(\frac{2\pi}{n} \right)$$

Alors l'IBR est la somme des aires de tous les triangles du radar : $\text{IBR} = \sum A$

L'IBR donne une valeur synthétique. Plus il est élevé, plus l'effet global du stress est important.

48h d'exposition

$\text{IBR}_{\text{Linuron}}=6,975$; $\text{IBR}_{\text{Microplastique}}=6,200$

96h d'exposition

$\text{IBR}_{\text{Linuron}}=7,606$; $\text{IBR}_{\text{Microplastique}}=6,240$

D'après les valeurs calculées de l'IBR, il apparaît clairement que le pesticide exerce un impact plus marqué que les particules de microplastique. Par ailleurs, la durée d'exposition accentue les effets délétères induits par les différents xénobiotiques. Ces résultats confirment ainsi l'existence d'un effet conjugué dose–durée sur les réponses biologiques mesurées.

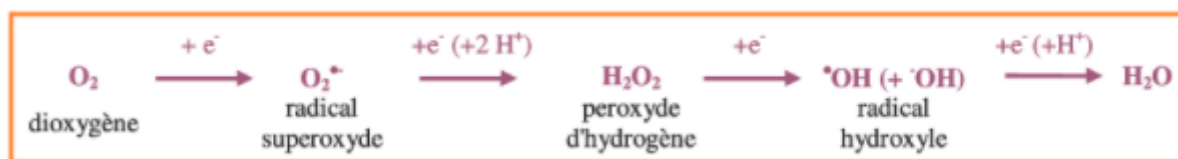
Résultats et discussion

Discussion :

Il est généralement admis que la toxicité des polluants chimiques est liée à deux principaux mécanismes de toxicité ; qui sont l'inhibition des enzymes et la génération d'un stress oxydant, suite à la formation des espèces activées de l'oxygène (EAO) couramment appelées **ROS** (pour : Reactifs oxygen species) (**Péry, A. and J. Garric, 2017 ; Le, T.Y., et al., 2021**).

La production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) est une conséquence inévitable de la respiration aérobie. En effet, 1 à 2 % de l'oxygène consommé est réduit de façon incomplète et conduit à la formation de ROS.

Cela se produit au niveau des sites redox de la chaîne respiratoire mitochondriale, lorsqu'un électron est occasionnellement transféré à l'oxygène et non à l'accepteur suivant de la chaîne, générant alors un anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$), précurseur d'autres ROS tels que le peroxyde d'hydrogène ou le radical hydroxyle (**Kumar, A., et al.,2021 ; Ericson, J., et al.,2023**) (selon la réaction ci-dessous).



Cela constitue la source majeure de ROS dans la plupart des tissus. En temps « normal », cette production est maîtrisée grâce aux enzymes antioxydantes (superoxyde-dismutase, **catalase**, etc.). Cependant, l'équilibre entre défenses antioxydantes et production de ROS peut être déplacé en raison d'une inhibition de la chaîne de transport des électrons, ou encore d'une exposition à des xénobiotiques. Le stress oxydatif est le résultat d'un déséquilibre de la balance redox (pro-oxydants/antioxydants) en faveur des ROS. De plus les polluants chimiques sont d'importants producteurs de ROS (**Atli, G., et al.,2006 ; Figueiredo-Fernandes, A., et al., 2006 ; Atli, G., et al., 2007 ; Provenza, F., et al.,2022**). En effet les xénobiotiques connus pour leurs propriétés redox, comme les métaux de transition, induisent la formation de peroxyde d'hydrogène, des radicaux superoxydes, générant le stress oxydant (**Sanchez, W., et al., 2005 ;Atli, G., et al.,2006 ; Atli, G., et al.,2007**). Notons que, ce déséquilibre apparaît comme le dénominateur commun de nombreuses situations de stress dans lesquelles le stress oxydant cause des dommages, et parfois la mort cellulaire (**Kumar, A., et al.,2021**).

Résultats et discussion

Plusieurs travaux relatent l'utilisation de la catalase comme biomarqueur de défense traduisant l'état de santé des organismes indicateurs (**Varanka et al., 2001 ; Borković et al., 2005 ; Barillet, 2007 ; Villa-Cruz et al., 2009 ; Meknachi, 2010**). En effet, de nombreuses recherches réalisées (in vivo et in vitro) ou in situ, optent pour l'utilisation de la catalase comme réponse précoce dans l'évaluation de l'état de santé des écosystèmes aquatiques (**Guecheva et al., 2002 ; Campany et al., 2004 ; Khessiba et al., 2005 ; Buet et al., 2006 ; Richardson et al., 2008**).

En effet, les animaux mettent en place une réponse au stress, et déplacent l'énergie, normalement allouée à la croissance et à la reproduction, pour la synthèse des enzymes impliquées dans les défenses antioxydantes (**Kumar, A., et al., 2021**) telle que la **catalase (CAT)**. Dans notre étude les niveaux d'induction CAT peuvent être attribuées à une mesure adaptative des moules *Perna* pour contrer le stress oxydant causé par le pesticide et les particules de microplastique.

La catalase CAT (enzyme antioxydante) est une hémoprotéine présente au niveau des peroxysomes qui participent à la défense contre les dérivés de l'oxygène. La CAT catalyse la dismutation du peroxyde d'hydrogène en dioxygène et en eau selon ($2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$) (**Fournier, E., 2005 ; Atli, G., et al., 2006 ; Amiard, J.-C. and C. Amiard-Triquet, 2008**). Donc l'induction de l'activité CAT sous l'effets des différentes concentrations est le signe de lutte contre le surplus de H_2O_2 généré au niveau cellulaire.

Les moules, tout comme d'autres organismes, peuvent contrôler les niveaux croissants de ROS dans leurs tissus en activant un système de défense antioxydant cellulaire composé d'enzymes comme la superoxyde dismutase (SOD) et la catalase (CAT) (**Livingstone, D.J.M.p.b., 2001 ; Dondero, F., et al., 2005**). Ce travail fournit des preuves pour mieux comprendre comment l'exposition aux xénobiotiques de l'environnement peut avoir des effets néfastes sur le statut oxydatif des organismes marins, en particulier dans les milieux côtiers soumis aux rejets anthropiques diversifiés (pesticides, hydrocarbure, microplastiques, ect.). Malgré la dominance de la CAT par rapport à la SOD chez les moules, des études supplémentaires sont nécessaires pour éclaircir la réponse cellulaire à l'exposition aux différents types de contaminant.

Vlahogianni et al., (2007), indiquent que de nombreux scientifiques considèrent la CAT comme un biomarqueur sensible et important du stress oxydant, souvent plus pertinent que la SOD pour révéler les effets biologiques sur le statut redox des organismes marins.

Résultats et discussion

Vu les caractéristiques et la sensibilité de réponse de l'enzyme CAT, cette dernière présente une pertinence cinétique élevée. En raison de la simplicité de son dosage, de nombreux auteurs considèrent la catalase comme un biomarqueur sensible et pratique pour le biomonitoring des écosystèmes aquatiques (**Sanchez, W., et al.,2005 ; Atli, G., et al.,2006 ; Sun, Y., et al.,2006 ; Peixoto, F., et al.,2006 ; Vlahogianni, T., et al.,2007 ; Atli, G., et al.,2007 ; Sureda, A., et al., 2011 ; Perić, L., et al., 2017 ; Mejdoub, Z., et al., 2017 ; Oliveira, P., et al., 2018**).

Bien que certains auteurs (**Livingstone, D.J.M.p.b.,2001 ; Almeida, Â., et al.,2015 ; Perić, L., et al.,2017**) aient observé des réponses retardées ou contradictoires de la CAT, ou encore des corrélations non significatives entre la CAT et la nature du polluant, plusieurs autres chercheurs confirment la pertinence de la catalase comme biomarqueur du stress oxydatif causé par les polluants chimiques et biologiques (**Gorbi, S., et al.,2013 ; Mejdoub, Z., et al.,2017 ; Boukadida, K., et al.,2017 ; Boukadida, K., et al.,2017 ; Prego-Faraldo, M., et al.,2017 . Sparks, C., et al.,2019**).

Dans notre étude, l'activité de l'enzyme digestive (protéases) démontre une sensibilité à la relation dose-durée d'exposition au mélange des deux xénobiotiques. Du point de vue cinétique de réponse, la protéase se révèle moins sensible que la catalase en termes de rapidité de réaction.

Les enzymes digestives sont généralement résistantes et montrent une capacité d'adaptation aux divers types de stress, qu'il s'agisse de stress alimentaire (disponibilité, quantité et qualité de la nourriture) ou environnemental (température, pH, etc.) (**Palais, F., et al., 2012**). Cependant, l'exposition des spécimens à des substances chimiques peut entraîner des altérations des enzymes digestives. La glande digestive des bivalves joue un rôle crucial dans la digestion en synthétisant et sécrétant des enzymes digestives (**Amiard, J.-C. and C. Amiard-Triquet, 2008 ; Raftopoulou, E. and V.J.C. Dimitriadis,2011**). Toutefois, cet organe est également une cible pour les contaminants chimiques qui y sont transportés pour être détoxifiés.

Plusieurs auteurs ont rapporté une diminution des activités digestives chez des espèces d'invertébrés exposées *in vitro* ou *in situ* à des polluants chimiques, notamment des métaux lourds (**Bourgeault, A., et al., 2010 ; Palais, F., et al., 2012**). Cependant, la réponse des enzymes digestives aux facteurs de stress chimiques peut être assez complexe et dépend, entre autres, du temps d'exposition, de la concentration du toxique et de la voie d'exposition.

Résultats et discussion

En milieu naturel, les sources de pollution (déversement dans le milieu récepteur) peuvent varier considérablement en termes de débit, de nature et de charge des rejets, ainsi que par la diffusion continue qui détermine la dispersion spatio-temporelle des contaminants. Ainsi, la corrélation dose/effet observée dans la présente étude peut fournir des indications sur les risques potentiels en milieu naturel en cas d'exposition à une source de pollution importante.

Conclusion

CONCLUSION

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet d'une exposition aiguë à deux concentrations de pesticides (Linuron) et aux microplastiques sur les fonctions enzymatiques et métaboliques des moules *Perna perna*.

Lors des phases d'expérimentation, les paramètres environnementaux comme la température et la salinité de l'eau d'élevage sont restés constants, il est donc peu probable qu'ils aient un impact sur les réactions biologiques.

Les niveaux de protéines dans la chair totale reflètent la perturbation des réserves protéiques chez les moules, provoquée par le processus de contamination et de décontamination. Toutefois, pour comprendre l'influence du pesticide sur le métabolisme énergétique, il est indispensable que ces résultats soient enrichis par l'ajout d'autres paramètres, comme la quantification des niveaux de glucose et de lipides.

Les diverses expérimentations réalisées mettent en évidence la catalase CAT et la SOD comme des biomarqueurs de défense particulièrement pertinent, réactif et précis, grâce aux résultats enzymatiques obtenus. Cette classification se fonde sur le lien positif entre l'activité enzymatique et les teneurs en pesticides et microplastiques ; ainsi que sur la stimulation rapide de l'enzyme par des concentrations même faibles du polluant. En outre, l'analyse de décontamination a révélé l'efficacité de ce biomarqueur pour juger la qualité environnementale par le biais du rétablissement des activités enzymatiques à un niveau comparable à celui observé chez les organismes placés dans un milieu exempt de polluants.

La capacité de rétablissement à l'état de santé originel témoigne de la résilience et du potentiel de restauration des organismes à leur état antérieur, tout en soulignant la sensibilité de ce biomarqueur aux polluants.

Des facteurs internes ou externes hors de portée du chercheur peuvent influencer la catalase. Ainsi, pour gérer les fluctuations des réponses de biomarqueurs dues à ces éléments, l'adoption d'un ensemble de biomarqueurs semble être une approche prometteuse pour approfondir notre compréhension des résultats et par conséquent, effectuer une évaluation plus précise de la condition de l'environnement aquatique. Cette méthode repose sur l'évaluation conjointe d'autres marqueurs de stress oxydant tels que la Glutathion-S-Transférase (GST), le Glutathion réduit (GSH) et la Malondialdéhyde (MDA), qui est associée à la peroxydation des lipides, un effet du stress oxydant provoqué par les ROS et dont la production est liée à l'existence de polluants métalliques et/ou organiques.

Conclusion

En perspective ;

Cette recherche met en évidence les effets individuels et cumulés des pesticides et microplastiques sur *Perna perna*. Dans une optique de comparaison à long terme, il serait pertinent d'étendre cette étude à d'autres sortes de bivalves et divers environnements pour obtenir une compréhension plus approfondie des risques écotoxicologiques marins.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

A

Abada-Boudjema., 1996. *Cinétique, croissance, production et composition biochimique de deux bivalves mytilidés, Perna perna (L) et Mytilus galloprovincialis (Lmk) du littoral algérois. Thèse de Doctorat. Muséum National Hist .nat. Paris, Fr : 1-243 pp.*

Aitoukaci D., Bouaouina H., 2016. *Contribution à l'étude de la reproduction d'un mollusque bivalve Perna perna (L) .sur la côte algéroise. Mémoire de Master 2. FSB, USTHB.P : 50*

Amiard, J.-C. and C. Amiard-Triquet, *Les biomarqueurs dans l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques*. Vol. 375. 2008: Lavoisier Paris.

Andral, B. (1996). *Données sur le comportement et les effets des produits phytosanitaires dans l'environnement*. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00132/24308/>

Argillier C., Levêque C., & Oberdorff T. « *Qu'entend-on par bio-indicateurs de la qualité des eaux continentales ?* », *L'eau, une ressource durable ?*. Montpellier : CRDP,,2-ISBN 978) 175-pp 170 ,2008.1-333-86626

Almeida, Â., Freitas R., Calisto V., Esteves V., Schneider R.J., Soares A.M.V.M. & Figueira E. *Chronic toxicity of the antiepileptic carbamazepine on the clam Ruditapes philippinarum*. 2015. **172**: p. 26-35.

Almeida, E.A., Bainy D.C.A., Loureiro M.P.A., Martinew R.G., Miyamoto S., Onuki J., Barbosa F.L., Garcia M.C.C., Prado M.F., Ronsein E.G., Sigolo A.C., Brochini B.C., Martins G.M.A., Medeiros G.H.M., & Mascio D.P. *Oxidative stress in Perna perna and other bivalves as indicators of environmental stress in the Brazilian marine environment: antioxidants, lipid peroxidation and DNA damage*. 2007. **146**(4): p. 588-600.

Amiard J-C., Ramade F., Lagadic L., Caquet T. , 1998. *Utilisation des Biomarqueurs pour la surveillance de la qualité de l'environnement. Éd Tec et Doc Lavoisier Paris, ISBN : 2-7430-0230-1.*

Atli G., Canli M , *Enzymatic responses to metal exposures in a freshwater fish Oreochromis niloticus*. 2007. **145**(2): p. 282-287.

Références Bibliographiques

Atli, G., Alptekin Ö., Tükel S., & Canlı M., *Response of catalase activity to Ag⁺, Cd²⁺, Cr⁶⁺, Cu²⁺ and Zn²⁺ in five tissues of freshwater fish Oreochromis niloticus*. 2006. **143**(2): p. 218-224.

Aurélie, T., 2006. *Etude du risque associé à la présence de traces de pesticides dans les réseaux d'eau potable du Québec. Etat de situation et recommandations pour la protection de la santé publique*.

B

Bhuyan, M. S. (2022). *Effects of Microplastics on Fish and in Human Health*. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.827289>

Bonello, G., Varrella, P., & Pane, L. (2018). *First Evaluation of Microplastic Content in Benthic Filter-feeders of the Gulf of La Spezia (Ligurian Sea)*. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 27(3), 284-291. <https://doi.org/10.1080/10498850.2018.1427820>

Boldina-Cosqueric, I., Amiard, J.-C., Amiard-Triquet, C., Dedourge-Geffard, O., Métais, I., Mouneyrac, C., Moutel, B., & Berthet, B., *Biochemical, physiological and behavioural markers in the endobenthic bivalve Scrobicularia plana as tools for the assessment of estuarine sediment quality*. 2010. **73**(7): p. 1733-1741.

Breton C., Medial F., Pinatel C., Berville A., 2006. *De l'olivier à L'oléastre : Origine et domestication de l'Olea europaea L dans le Bassin méditerranéen*. *Cahiers agricultures*,15, n°4.

Boufama Y.M , (2024) Consulté 20 mai 2025, à l'adresse https://dspace.univguelma.dz/jspui/bitstream/123456789/16956/1/F4_9_BOUFAMA_YAMIN_A%20MOUNIA.pdf

Figueiredo-Fernandes, A., Fontainhas-Fernandes, A., Peixoto, F., Rocha, E., & Reis-Henriques, M. A. *Effects of gender and temperature on oxidative stress enzymes in Nile tilapia Oreochromis niloticus exposed to paraquat*. 2006. **85**(2): p. 97-103.

Références Bibliographiques

Boukadida, K., Cachot, J., Clérandeau, C., & Banni, M., *Early and efficient induction of antioxidant defense system in Mytilus galloprovincialis embryos exposed to metals and heat stress*. 2017. **138**: p. 105-112.

Bourgeault, A., Gourlay-Francé, C., Vincent-Hubert, F., Palais, F., Geffard, A., Biagianti-Risbourg, S., Pain-Devin, S., & Tusseau-Vuillemin, M.-H. *Lessons from a transplantation of zebra mussels into a small urban river: an integrated ecotoxicological assessment*. 2010. **25**(5): p. 468-478.

BrancG.M ., Charles L., Griffiths., Margo L. Branch., & Lynnath E., Beckley 2005 *Two Oceans: a guide to the marine life of southern Africa (ISBN 0-86486-672-0)*(04)

C

Carrière A., Galinier A., Fernandez Y., Carmona M.-C., Pénicaud L. et Casteilla L., 2006 -*Les espèces actives de l'oxygène : le yin et le yang de la mitochondrie*, *Med Sci (Paris)*, **22**, (1), p. 47 – 53, <https://doi.org/10.1051/medsci/200622147>.

Cherin, P., Voronska, E., Fraoucene, N., & De Jaeger, C. (2012). *Toxicité aiguë des pesticides chez l'homme. Médecine & Longévité*, **4**(2), 68-74. <https://doi.org/10.1016/j.mlong.2012.05.003>

Chen, Z., Mayer, L. M., Weston, D. P., & Bock, M. J. *Inhibition of digestive enzyme activities by copper in the guts of various marine benthic invertebrates*. 2002. **21**(6): p. 1243-1248.

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). *Microplastics as contaminants in the marine environment: A review*. *Marine Pollution Bulletin*, **62**(12), 2588-2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>

D

Dean, J. R., & Fitzpatrick, L. J. (2001). *Chapter 5 Pesticides defined by matrix*. In W. Kleiböhmer (Éd.), *Handbook of Analytical Separations (Vol. 3, p. 123-173)*. Elsevier Science B.V. [https://doi.org/10.1016/S1567-7192\(01\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S1567-7192(01)80008-5)

Références Bibliographiques

Dedourge-Geffard, O., Palais, F., Biagianti-Risbourg, S., Geffard, O., & Geffard, A. *Effects of metals on feeding rate and digestive enzymes in Gammarus fossarum: an in situ experiment*. 2009. **77**(11): p. 1569-1576.

Desgranges, N. (2015). *Développement d'échantillonneurs passifs de type POCIS pour l'évaluation de la contamination en pesticides des eaux de bassins versants languedociens*.

Dondero, F., Piacentini, L., Banni, M., Rebelo, M., Burlando, B., & Viarengo, A. *Quantitative PCR analysis of two molluscan metallothionein genes unveils differential expression and regulation*. 2005. **345**(2): p. 259-270.

Dröge, W., 2002. Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiological Review*, 82, 47-95.

E

Ericson, J., Venter L., Copedo J.S., Nguyen V.T., Alfaro A.C., & Ragg L.N.C. *Chronic heat stress as a predisposing factor in summer mortality of mussels, Perna canaliculus*. 2023. **564**: p. 738986

F

Fournier, E., *Bioaccumulation du sélénium et effets biologiques induits chez le bivalve filtreur corbicula fluminea. Prise en compte de l'activité ventilatoire, de la spéciation du sélénium et de la voie de contamination*. 2005, Université de Bordeaux

G

Gomes, T., Pereira C.G., Cardoso C., Pinheiro J., Cancio I., & Bebianno M.J. *Accumulation and toxicity of copper oxide nanoparticles in the digestive gland of Mytilus galloprovincialis*. 2012. **118**: p. 72-79.

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

Références Bibliographiques

Gorbi, S., Avio G.C., Benedetti M., Totti C., Accoroni S., Pichierri S., Bacchiocchi S., Orletti R., Graziosi T., & Regoli F., *Effects of harmful dinoflagellate Ostreopsis cf. ovata exposure on immunological, histological and oxidative responses of mussels Mytilus galloprovincialis*. 2013. **35**(3): p. 941-950.

Grenni, P., Caracciolo, A. B., Rodríguez-Cruz, M. S., & Sánchez-Martín, M. J. (2009). *Changes in the microbial activity in a soil amended with oak and pine residues and treated with linuron herbicide*. *Applied Soil Ecology*, *41*(1), 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.07.006>

Gravato, C., Oliveira, M., & Santos, M. A. *Oxidative stress and genotoxic responses to resin acids in Mediterranean mussels*. 2005. **61**(2): p. 221-229.

H

Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J.-O., Charlier, C., & Chapelle, J.-P. (2007). *Le stress oxydant*. *Revue Médicale de Liège*, *62*(10). <https://orbi.uliege.be/handle/2268/8914>

Natacha et al., 2020 Consulté 18 avril 2025, à l'adresse https://www.reseau-environnement-sante.fr/wp-content/uploads/2020/11/HEAL_Plastics_report_v5_FR.pdf

Hébert, S., & Légaré, S. (2000, octobre). *Suivi de la qualité de l'eau des rivières et des petits cours d'eau [Matériel éducatif]*. Ministère de l'Environnement du Québec (MEQ). <https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1288/>

J

Jawich, D. 2006. *Etude de la toxicité de pesticides vis-à-vis de deux genres de levures : Approche cinétique et moléculaire*.

K

Kerdoussi Asma., 2010. *Moule perna perna peuplant le golfe d'Annaba : croissance, reproduction et qualité bactériologique*. *Mémoire en Sciences de la mer PP* : 189

Kelly, B. C., Ikonomou, M. G., Blair, J. D., Morin, A. E. & Gobas, F. A. P. C. (2007) *Food web-specific biomagnification of persistent organic*

Références Bibliographiques

Kumar, A., Guleria, S., Ghosh, D., Dogra, V., & Kumar, S. *Managing reactive oxygen species—Some learnings from high altitude extremophytes*. 2021. **189**: p. 104525

L

Linnaeus., 1758. *Gulf States Marine Fisheries Commission*. Retrieved on 2007-12-15.

Lubet P., 1959. *Recherches sur le cycle sexuel et l'émission des gamètes chez les Mytilidés et les pectinidés (Mollusques Bivalves)*. Rev.Trav.Inst.pêches.Mrat .Vol n°23p :394-548.

La Nasa, J., Biale, G., Fabbri, D., & Modugno, F. (2020). A review on challenges and developments of analytical pyrolysis and other thermoanalytical techniques for the qualitative determination of microplastics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 149, 104841. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104841>

Le, T.Y., Nachev, M., Grabner, D., Garcia, M.R., Balsa-Canto, E., Hendriks, A.J., Peijnenburg, W. J. G. M., & Sures, B. *Modelling chronic toxicokinetics and toxicodynamics of copper in mussels considering ionoregulatory homeostasis and oxidative stress*. 2021. **287**: p. 117645.

Léa, R. 2015. *Les microplastiques en milieu marin : Supports de contaminants chimiques Étude bibliographique*.

Li, E., Chen, L., Zeng, C., Yu, N., Xiong, Z. Q., Chen, X. M., & Qin, J. G. *Comparison of digestive and antioxidant enzymes activities, haemolymph oxyhemocyanin contents and hepatopancreas histology of white shrimp, Litopenaeus vannamei, at various salinities*. 2008. **274**(1): p. 80-86.

Lima, I., Moreira, S. M., Rendón-Von Osten, J., Soares, A. M. V. M., & Guilhermino, L. *Biochemical responses of the marine mussel Mytilus galloprovincialis to petrochemical environmental contamination along the North-western coast of Portugal*. 2007. **66**(7): p. 1230-1242.

Livingstone, D.J.M.p.b., *Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms*. 2001. **42**(8): p. 656-666

Références Bibliographiques

M

Mejdoub, Z., Fahde, A., Loutfi, M., & Kabine, M. *Oxidative stress responses of the mussel Mytilus galloprovincialis exposed to emissary's pollution in coastal areas of Casablanca*. Ocean & coastal management, 2017. **136**: p. 95-103

Migdal C. et Serres M., 2011. Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant, Med Sci (Paris), 27(4), p.405 – 412, <https://doi.org/10.1051/medsci/2011274017>.

Moussaoui k; Essalhi S; Boukredine S, 2023 Consulté 21 mai 2025, à l'adresse https://dspace.univ-guelma.dz/xmlui/bitstream/handle/123456789/15214/MOUSSAOUI_KHADIDJA_F4.pdf?sequence=1&isAllowed=y

N

[Nations, U. 2022. Documentation | UN Ocean Conference. United Nations; United Nations. Consulté 13 juin 2025, à l'adresse
https://www.un.org/nl/node/52329?utm_source=chatgpt.com](#)

O

Oliveira, P., Barboza, L. G. A., Branco, V., Figueiredo, N., Carvalho, C., & Guilhermino, L. *Effects of microplastics and mercury in the freshwater bivalve Corbicula fluminea (Müller, 1774): filtration rate, biochemical biomarkers and mercury bioconcentration*. 2018. **164**: p. 155-163.

P

Palais, F., Dedourge-Geffard, O., Beaudon, A., Pain-Devin, S., Trapp, J., Geffard, O., Noury, P., Gourlay-Francé, C., Uher, E., Mouneyrac, C., Biagianti-Risbourg, S., & Geffard, A. *One-year monitoring of core biomarker and digestive enzyme responses in transplanted zebra mussels (Dreissena polymorpha)*. 2012. **21**: p. 888-905.

Pascale,Naim,(2017).Bio-surveillance et évaluation du risque toxique en milieu aquatique, <https://accres.ens-lyon.fr>

Références Bibliographiques

Pagliassotti, M. J. ; Davis, S. N. et Cherrington, A. D. (1994). *The role of the liver in maintaining glucose homeostasis* : Austin R.G. Landes Company.

Peixoto, F., Alves-Fernandes, D., Santos, D., & Fontainhas-Fernandes, A. *Toxicological effects of oxyfluorfen on oxidative stress enzymes in tilapia Oreochromis niloticus*. 2006. **85**(2): p. 91-96.

Perić, L., Nerlović, V., Žurga, P., Žilić, L., & Ramšak, A. *Variations of biomarkers response in mussels Mytilus galloprovincialis to low, moderate and high concentrations of organic chemicals and metals*. 2017. **174**: p. 554-562.

Péry, A. and J. Garric, *Les effets écotoxicologiques: De la molécule à la population*. Vol. 1. 2017: ISTE Group.

Prego-Faraldo, M., Vieira, L.R., Eirín-López, J.M., Méndez, J., & Guilhermino, L. *Transcriptional and biochemical analysis of antioxidant enzymes in the mussel Mytilus galloprovincialis during experimental exposures to the toxic dinoflagellate Prorocentrum lima*. 2017. **129**: p. 304-315.

Provenza, F., Rampih, D., Pignattelli, S., Pastorino, P., Barceló, D., Prearo, M., Specchiulli, A., & Renzi, M. *Mussel watch program for microplastics in the Mediterranean Sea: Identification of biomarkers of exposure using Mytilus galloprovincialis*. 2022. **142**: p. 109212

R

Raftopoulou, E. and V.J.C. Dimitriadis, *Comparative study of the accumulation and detoxification of Cu (essential metal) and Hg (nonessential metal) in the digestive gland and gills of mussels Mytilus galloprovincialis, using analytical and histochemical techniques*. 2011. **83**(8): p. 1155-1165.

Q

Quintaneiro, C., Patrício, D., Novais, S. C., Soares, A. M. V. M., & Monteiro, M. S. (2017). *Endocrine and physiological effects of linuron and S-metolachlor in zebrafish developing embryos*. *Science of The Total Environment*, 586, 390-400.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.153>

Références Bibliographiques

S

Sanchez, W., Palluel O., Meunier L., Coquery M., Porcher J.-M., Aït-Aïssa S. *Copper-induced oxidative stress in three-spined stickleback: relationship with hepatic metal levels*. 2005. **19**(1): p. 177-183

Sies, H. (1991) *Oxidative Stress: Introduction*. In: Sies, H., Ed., *Oxidative Stress: Oxidant and Antioxidants*, Academic Press, San Diego, 15-22.

Sonko, A. (2022). *Dignostic écotoxicologique de la pollution marine au Sénégal*.

Sparks, C., Marnewick J., Toefy R. *Baseline levels of antioxidant activities in Mytilus galloprovincialis along the coast of Cape Town, South Africa*. 2019. **140**: p. 287-293.

Sun, Y., Yu H., Zhang J., Yin Y., Shi H., Wang X. *Bioaccumulation, depuration and oxidative stress in fish Carassius auratus under phenanthrene exposure*. 2006. **63**(8): p. 1319-1327.

Sureda, A., Box A., Tejada S., Blanco A., Caixach J., Deudero S. *Biochemical responses of Mytilus galloprovincialis as biomarkers of acute environmental pollution caused by the Don Pedro oil spill (Eivissa Island, Spain)*. *Aquatic Toxicology*, 2011. **101**(3-4): p. 540-549.

V

van Der Werf, H. M. G. (1997). *Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement*. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 31(31), 5-22.

Vlahogianni, T., Dassenakis M., Scoullos M.J., Valavanidis A. *Integrated use of biomarkers (superoxide dismutase, catalase and lipid peroxidation) in mussels Mytilus galloprovincialis for assessing heavy metals' pollution in coastal areas from the Saronikos Gulf of Greece*. 2007. **54**(9): p. 1361-1371.

Références Bibliographiques

W

Woessner, R. (2014). *Géographie des mers et des océans*. Atlande.

Wu, H., Xuan R., Li Y., Zhang X., Wang Q. & Wang L. *Effects of cadmium exposure on digestive enzymes, antioxidant enzymes, and lipid peroxidation in the freshwater crab Sinopotamon henanense*. 2013. **20**: p. 4085-4092.

Z

Zgheib, S. (2009). *Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire [Phdthesis, Ecole des Ponts ParisTech]*.
<https://pastel.hal.science/pastel-00554932>

.

Annexes

Références Bibliographiques

Les effets cumulés des pesticides et des microplastiques

Les effets combinés des pesticides et des microplastiques dans l'environnement sont particulièrement préoccupants en raison de leurs interactions toxiques et de leur persistance.

Pesticides : Ces composés chimiques, déployés dans l'agriculture pour combattre les nuisibles, portent atteinte à la biodiversité, en particulier à la faune du sol (comme les lombrics et les insectes), aux végétaux, aux abeilles. De plus, ils ont la capacité de se bioaccumuler dans la chaîne alimentaire, induisant des dérèglements au niveau endocrinien, reproductif et immunitaire.

Microplastiques : Ce sont des particules plastiques de taille réduite qui peuvent capter et accumuler des polluants toxiques tels que les pesticides, agissant en tant que transporteurs de contamination. Ils altèrent les organismes aquatiques et terrestres par ingestion, entraînant malnutrition, inflammations, problèmes de développement, et modifient les caractéristiques des sols ainsi que les communautés microbiennes.

→ Effets conjoints :

- ❖ Les microplastiques ont la capacité de porter des pesticides adsorbés à leur surface, ce qui amplifie la biodisponibilité et la toxicité de ces produits chimiques pour les organismes qui y sont exposés.
- ❖ Cette organisation génère des « cocktails toxiques » complexes, dont les effets sur l'environnement sont plus significatifs que ceux des polluants individuels.
- ❖ L'accentuation de la bioaccumulation et de la bioamplification à travers les chaînes alimentaires est notable, avec des dangers accrus pour la faune et la santé humaine en raison de l'ingestion de produits contaminés.
- ❖ La dispersion de boues, riches en microplastiques et pesticides, dans les terres agricoles génère une pollution persistante qui impacte la fertilité du sol ainsi que sa biodiversité.

Références Bibliographiques

Préparation des réactifs

Lowre A

Na_2CO_3 (carbonate de sodium)= (2 g)

NaOH = (0,4 g)

H_2O = (100 ml)



Lowre B

CuSO_4 = (0,25 g)

TN_2K = (0,5g)

H_2O = (100 ml)



La solution analytique est préparée en mélangeant 2 ml de la solution (b) avec 100 ml de la solution (a)

Tampon Tris (20 mM, pH 7.8)

Tris= (2,4228 g)

H_2O = (1 L)

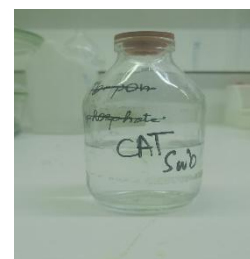


Tampon phosphate 50 mM (pH=7)

KH_2PO_4 = (1,761 g)

$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ = (3,634 g)

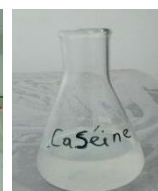
H_2O =(500 ml)



Tampon potassium phosphate 50mM (pH 7,5)

tris= (2,4228) V=(1 L)

TCA= (10 g) V=(100 ml)



Références Bibliographiques

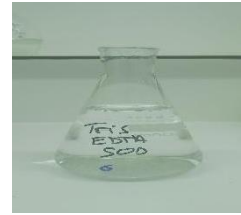
Caséine (1 g) V=(100 ml de solution **tris**)

Tris-EDTA

Tris (m= 1,425 g)

EDTA (m= 0,555 g)

H₂O (0,5 L)



Pyrogallol (0,126 g)

Hcl (V=0,3 ml)

H₂O (V=0,5 L)



- **Matériels non biologiques de laboratoire physico-chimiques CNRDPA :**

Références Bibliographiques



Multiparamètre



Centrifugeuse



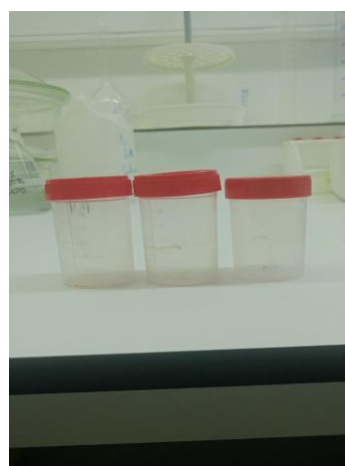
Bras mixeur



Agitateur magnétique



Bacs d'élevage en polyéthylène



Flacon stérile 50 ml



Eppendorf



Glacière



Tubes coniques

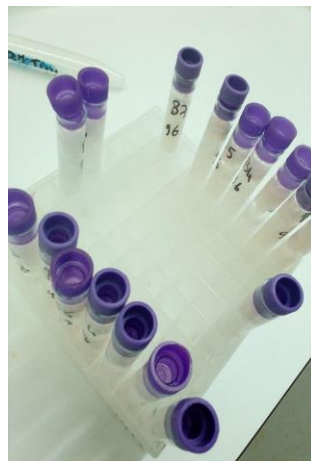
Références Bibliographiques



Balance de précision



Barreau magnétique



Tubes coniques



Cuvette



Spectrophotomètre



cuvette(Quartz)



Micropipette

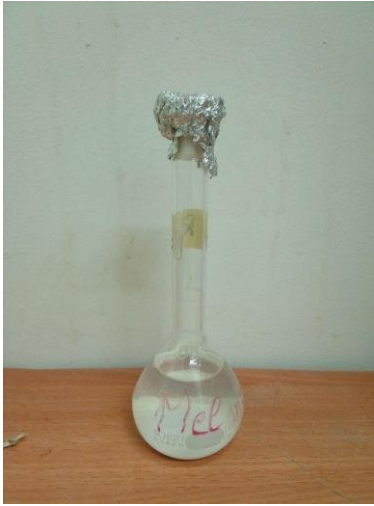


Balance



Boite de pétie

Références Bibliographiques



Macroplastique+Luneron



Luneron(Pesticide)



Macroplastique(MPs)



Centrifugeuse



Cuve



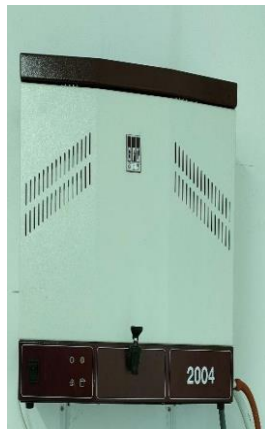
Aérateurs



Réservoir d'eau de mer



Pied à coulisse



Distillateur d'eau



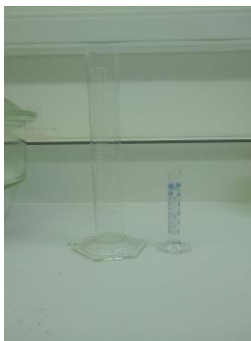
Couteau



Réfrigérateur

- **Verreries utilisées**

Références Bibliographiques



Eprouvette graduée



Fiole (1000 et 500 ml)



Alcool



Bécher



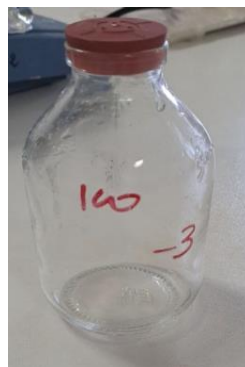
Fiole(100 ml)



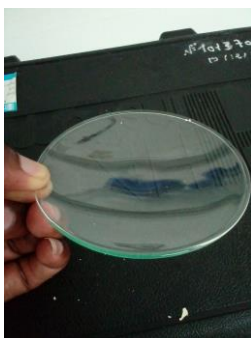
Pissette



Micropipette



Flacon stérile



Plaque des verre



Entonnoir



Spatule

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة البليدة 1
Université Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie
Filière : Hydrobiologie marine et Continentale

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master 2 en :
Ecosystèmes aquatiques

Thème

***Etude de l'impact des pesticides et des micro plastiques sur
les bivalves marins : cas de Perna perna.***

Présenté par :

LAOUAR Anfel

Et

CAMARA Modibo

Soutenu le : 02 /07/2025

Devant le Jury :

Dr GRANDI M.	MCA	U.S.D. Blida1	Président
Dr RAD I N.	MCB	U.S.D. Blida1	Examinatrice
Mr. MEKNACHI A	MRB	CNRDPA	Promoteur
MM. BELMESKINE H.	Professeur	U.S.D. Blida1	Co- Promotrice

Avis favorable pour dépôt à la bibliothèque
Mme RAB N.