

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de

Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Ecotoxicologie Animale

Intitulé

**Etude de la qualité des eaux du golfe de
Skikda par l'utilisation d'un mollusque
sentinelle, la moule (*Mytilus
galloprovincialis*)**

Présenté Par :

- Foufou Chouaib
- Chegroune Badis
- Boucharka Mouhemd Chaouki

Membres de Jury :

Gabli .Z	MCA Présidente	Université 20 août 1955- Skikda
Nadji .S	MCA Directrice de mémoire	Université 20 août 1955- Skikda
Boukhakheche .M	MCB Examinatrice	Université 20 août 1955- Skikda

Année universitaire 2024/2025

Remerciements :

Nous commençons par remercier Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage, la santé, la volonté et l'amour du savoir pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

Tout d'abord nous remercions les membres du jury :

Mme Gabli .Z la président et Mme Boukhakheche .M examinateur qui ont accepté de juger ce travail.

Un grand Merci à Mme Nadji .S de nous avoir encadrés, qui a bien accepté de corriger notre travail et qu'elle n'a cessé de prodiguer ses conseils judicieux et permanents, qui nous ont été d'une aide précieuse.

Egalement tous ceux qui nous ont soutenus tout au long de ce travail directement ou indirectement, par leur amitié et leur sympathie, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Nous tenons aussi à remercier toutes les personnes qui ont contribué aux prélèvements des moules, en particulier mon amis et collègue Fares de Marsa qui nous a beaucoup aidé et encouragé au début de cette recherche.

Nous remerciments les plus sincères s'adressent enfin à tous mes professeurs de l'université

De Skikda, à tous mes collègues, à tous mes amis.

Dédicace :

À nos chers parents,

Source d'amour, de soutien et de sacrifices inestimables...

Nous vous dédions ce travail en témoignage de notre profonde gratitude et reconnaissance.

À nos frères, sœurs et amis fidèles, qui nous ont accompagnés dans les moments difficiles comme dans les instants de réussite, Merci pour votre présence et vos encouragements constants.

À nos enseignants respectés, qui ont su partager leur savoir avec patience et générosité.

À toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire,

Recevez l'expression de notre reconnaissance à travers ce modeste travail.

Liste des abréviations :

AC	Aspect déchiré
Cd	Cadmium
Cu	Cuivre
EOR	Espèces oxygénées réactives
ETM	Eléments traces métalliques
FM	follicules mature
H2O2	Peroxyde d'hydrogène
HDS	Honest significative difference
HE	Hématoxyline-Eosine
<i>M. galloprovincialis</i>	<i>Mytilus galloprovincialis</i>
OM	Ovocytes matures
OR	Ovocytes résiduels
Pb	Plomb
ppm	Parties par million
SAA	Spectrophotométrie d'absorption atomique
SPD	Spermatides
SPZ	Spermatozoïdes
TC	Tissu conjonctif
TS	Tube séminifère
Zn	Zinc

Liste des figures :

FIGURE 1: ANATOMIE INTERNE ET EXTEME DE LA MOUULE M.G (KHELIL 2007)	17
FIGURE 2:SYSTEME RESPIRATOIRE CHEZ LA MOULE MYTILUS GALLOPROVINCIALIS (AQUASCOPE,2000).....	18
FIGURE 3 : LE SYSTEME DE DEFENSE CHEZ LES BIVALVES (CANESI ET AL. 2002).	19
FIGURE 4: CYCLE DE VIE DE LA MOULE MYTILUS GALLOPROVINCIALIS (BOUKADIDA, 2017).	20
FIGURE 5: CYCLE DE DEVELOPPEMENT DES GONADES CHEZ MYTILUS GALLOPROVINCIALIS	21
FIGURE 6: DISTRIBUTION MONDIALE APPROXIMATIVE DU GENRE MYTILUS (GAITAN-ESPITIA ET AL. 2016).....	22
FIGURE 7: ARTE TOPOGRAPHIQUE DE LA REGION DU GOLFE DE SKIKDA.....	24
FIGURE 8: LOCALISATION DU DES SITES D’ETUDES. (GOOGLE EARTH MODIFIE).....	26
FIGURE 9: PRELEVEMENT DES MOULES (PHOTO ORIGINALE).	26
FIGURE 10: DISSECTION ET PRELEVEMENT DES GONADES (PHOTO ORIGINALE).	27
FIGURE 11: ÉCHANTILLONS D'EAU (PHOTO ORIGINALE).	28
FIGURE 12: PRINCIPALES ETAPES D'EXTRACTION DES METABOLITES PROTEINES, GLUCIDES, LIPIDES (SHIBKO ET AL., 1966)	29
FIGURE 13: APPAREILLAGES UTILISES DANS LA REALISATION DES COUPES HISTOLOGIQUES.	32
FIGURE 14: DISTRIBUTION DES TENEURS MOYENNES (EN PPM) EN PLOMB DANS L’EAU DE MER	35
FIGURE 15: DISTRIBUTION DES TENEURS MOYENNES (EN PPM) EN CADMIUM DANS L’EAU DE MER.....	35
FIGURE 16: DISTRIBUTION DES TENEURS MOYENNES (EN PPM) EN CUIVRE DANS L’EAU DE MER.....	36
FIGURE 17: DISTRIBUTION DES TENEURS MOYENNES (EN PPM) EN ZINC DANS L’EAU DE MER.....	36
FIGURE 18: COUPE DE GONADE MASCULINE DE LA MOULE M. GALLOPROVINCIALIS, PECHE A EL MARSA AU STADE 3B DE LA GAMETOGENESE.	37
FIGURE 19: COUPE DE GONADE MASCULINE DE LA MOULE M. GALLOPROVINCIALIS, PECHE AU PORT DE COLLO AU STADE 3A DE LA GAMETOGENESE.....	37
FIGURE 20: COUPE DE GONADE MASCULINE DE LA MOULE M. GALLOPROVINCIALIS, PECHE A TAMANAR AU STADE 3A DE LA GAMETOGENESE.....	38
FIGURE 21: COUPE DE GONADE FEMININE DE LA MOULE M. GALLOPROVINCIALIS PECHE A EL MARSA AU STADE 3C DE LA GAMETOGENESE.	38
FIGURE 22: COUPE DE GONADE FEMININE DE LA MOULE M. GALLOPROVINCIALIS, PECHE A TAMANAR AU STADE STADE III A VERS 3B DE LA GAMETOGENESE	39

LISTE DES FIGURES

FIGURE 23: COUPE DE GONADE FEMININE DE LA MOULE <i>M. GALLOPROVINCIALIS</i> , PECHE AU PORT DE COLLO AU STADE 3A DE LA GAMETOGENESE.	39
FIGURE 24: VARIATION INTRA SITES DU TAUX DE LIPIDES ($\mu\text{G}/\text{MG}$ DE TISSU) AU NIVEAU DES GONADES MALES DE <i>M. GALLOPROVINCIALIS</i> PECHE DANS TROIS SITES DU GOLF DE SKIKDA (EL MARSА, TAMANART ET LE PORT DE COLLO).	40
FIGURE 25: VARIATION INTRA SITES DU TAUX DE LIPIDES ($\mu\text{G}/\text{MG}$ DE TISSU) AU NIVEAU DES GONADES FEMELLES DE <i>M. GALLOPROVINCIALIS</i> PECHE DANS TROIS SITES DU GOLFE DE SKIKDA (EL MARSА, TAMANART ET LE PORT DE COLLO).....	41
FIGURE 26: VARIATION INTRA SITES DU TAUX DE PROTEINES ($\mu\text{G}/\text{MG}$ DE TISSU) AU NIVEAU DES GONADES MALES DE <i>M. GALLOPROVINCIALIS</i> PECHE DANS TROIS SITES DU GOLFE DE SKIKDA (EL MARSА, TAMANART ET LE PORT DE COLLO).....	42
FIGURE 27: VARIATION INTRA SITES DU TAUX DE PROTEINES ($\mu\text{G}/\text{MG}$ DE TISSU) AU NIVEAU DES GONADES FEMELLES D <i>M. GALLOPROVINCIALIS</i> PECHE DANS TROIS SITES DU GOLFE DE SKIKDA (EL MARSА, TAMANART ET LE PORT DE COLLO).	42
FIGURE 28: VARIATION INTRA SITES DU TAUX DE GLUCIDES ($\mu\text{G}/\text{MG}$ DE TISSU) AU NIVEAU DES GONADES MALES DE <i>M. GALLOPROVINCIALIS</i> PECHE DANS TROIS SITES DU GOLFE DE SKIKDA (EL MARSА, TAMANART ET LE PORT DE COLLO).	43
FIGURE 29: VARIATION INTRA SITES DU TAUX DE GLCIDES ($\mu\text{G}/\text{MG}$ DE TISSU) AU NIVEAU DES GONADES FEMELLES DE <i>M. GALLOPROVINCIALIS</i> PECHE DANS TROIS SITES DU GOLFE DE SKIKDA (EL MARSА, TAMANART ET LE PORTE DE COLLO).	44

Table des matières :

<i>Remerciements</i> :	7
<i>Dédicace</i> :	7
Résumé	7
المخلص	7
Abstract	7
1. INTRODUCTION	2
2. Matériel et Méthodes	7
Matériel Biologique	7
1 <i>Mytilus galloprovincialis</i>	7
1.1 Morphologie	7
1.2. Position systématique.....	7
1.3 Anatomie de la moule <i>Mytilus galloprovincialis</i>	8
1.4 Physiologie de la moule <i>Mytilus galloprovincialis</i>	9
1.5 Les stades de la gamétogénèse chez les bivalves	12
1.6 Répartition géographique de <i>Mytilus galloprovincialis</i>	13
2. Présentation des zones d'études	15
2.1 Caractéristiques du Littoral Algérien.....	15
2.2 Situation géographique du golfe de Skikda	15
2.3 Choix et localisation des stations d'échantillonnage.....	16
2.4 Prélèvement des moules.....	18
3. Paramètres étudiés	21
3.1 Analyse des métaux	21
3.2 Etude histologique.....	21
3.4 Traitements statistiques des données	25
3. Résultats	27

SOMMAIRE

1. Evolution des teneurs en métaux lourds dans l'eau de Mer.....	27
1.1 Plomb	27
1.2 Cadmium	27
1.3 Cuivre	28
1.4 Zinc.....	28
2. Détermination du sexe et de la maturation des gonades	29
2.1 Le tractus génital et histophysiologie	29
2.2 Comparaison inter sites de la maturation des gonades male	29
2.3 Comparaison inter sites de la maturation des gonades femelles	30
3. Dosage des métabolites.....	32
3.1 Variation des taux de lipides.....	32
3.2 Variation des taux de protéines.....	33
3.3 Variation des taux de glucides	35
4. Discussion	37
5. Conclusion et perspectives	42
Références bibliographiques.....	45

Résumé

L'objectif visé dans cette étude est la détermination de l'importance des apports anthropiques en métaux lourds dans les écosystèmes aquatiques de la région extrême nord-est d'Algérie. Pour cela, nous avons retenu trois sites du Golfe de Skikda Tamanart, El Marsa et le port de Collo.

L'étude de la distribution spatiale des 4 métaux lourds (plomb, cuivre, zinc et cadmium), dans l'eau de Mer et les perturbations engendrées par ces métaux sur la reproduction (maturation des gonades et métabolisme énergétique) de la moule *Mytilus galloprovincialis*, espèce benthique reconnue pour son potentiel bioindicatif, les résultats obtenus montre ;

- Que la contamination par les quatre métaux (Cd, Pb, Cu et Zn) notamment par le Cd et le Pb s'étale le long des trois sites du Golfe de Skikda selon un gradient décroissant

Port de Collo > El Marsa > Tamanart

- On remarque que les pontes ont lieu en même temps sur les deux stations Tamanart et El Marsa. Les moules, situées dans la zone polluée (Port de Collo), connaît un déphasage des activités génitales par rapport à celles situées dans la station de référence (Tamanart), ces perturbations sont symptomatiques d'un stress physiologique intense pouvant compromettre la reproduction et la survie de l'espèce.
- Le contenu biochimique en protéines, glucides et lipides, montre un effet site et un effet sexe ou les taux les plus élevés sont observés au période de prépose ce qui correspond à l'accumulation des réserves pendant la période de reproduction. Alors qu'une diminution des réserves métaboliques est enregistrée en période d'émission des gamètes, avec réduction des taux de ces constituants.
- Concernant l'effet sexe, on a observé que les femelles accumulent plus de réserves métaboliques et métabolisent plus d'énergie que les males lors du processus de la reproduction

La convergence des données obtenues confirme que *Mytilus galloprovincialis* constitue un bioindicateur sensible et excellent de la pollution marine, fiable et pratique pour surveiller la qualité du milieu marin.

Mots-clés : *Mytilus galloprovincialis*, métaux lourds, pollution marine, bioindicateur, golfe de Skikda.

المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد أهمية مدخلات المعادن الثقيلة البشرية المنشأ في النظم البيئية المائية في أقصى شمال شرق الجزائر. ولتحقيق ذلك، اخترنا ثلاثة مواقع في خليج سكيكدة: تمنارت، والمرسى، وميناء القل.

تُظهر دراسة التوزيع المكاني لأربعة معادن ثقيلة (الرصاص، والنحاس، والزنك، والكاديوم) في مياه البحر، والاضطرابات التي تسببها هذه المعادن في تكاثر (نضج الغدد التناسلية واستقلاب الطاقة) بلح البحر *M.galloprovincialis*.

، وهو نوع قاعي معروف بإمكانياته الحيوية الدالة، النتائج التي تم الحصول عليها: -ينتشر التلوث بالمعادن الأربعة (الكاديوم، والرصاص، والنحاس، والزنك)، وخاصة الكاديوم والرصاص، على طول المواقع الثلاثة في خليج سكيكدة وفقاً لتدرج تناقصي

يُظهر هذا التوزيع، الذي يُمثل 20% من إجمالي التلوث، 10% من إجمالي التلوث. ميناء القل < المرسى < تمنارت

-يُلاحظ أن عملية التبويض تحدث في آن واحد في كلتا المحطتين، تمنارت والمرسى. تشهد بلح البحر في المنطقة الملوثة (ميناء القل) تحولاً طورياً في نشاطها التناسلي مقارنةً بتلك الموجودة في المحطة المرجعية (تمنارت). تُشير هذه الاضطرابات إلى إجهاد فسيولوجي شديد قد يُهدد تكاثر النوع وبقائه.

-يُظهر المحتوى الكيميائي الحيوي للبروتينات والكربوهيدرات والدهون تأثيراً على الموقع وتأثيراً على الجنس، حيث تُلاحظ أعلى مستوياتها خلال فترة ما قبل التبويض، والتي تُقابل تراكم الاحتياطات خلال فترة التكاثر. بينما يُسجل انخفاض في الاحتياطات الأيضية خلال فترة إطلاق الأمشاج، مع انخفاض في مستويات هذه المكونات.

-فيما يتعلق بالتأثير الجنسي، لوحظ أن الإناث تُراكم احتياطات أفضية أكبر وتُحرق طاقة أكبر من الذكور خلال عملية التكاثر. يؤكد تقارب البيانات المُحصلة أن *M.galloprovincialis* يُشكل مؤشراً حيوياً حساساً وممتازاً للتلوث البحري، موثوقاً وعملياً لرصد جودة البيئة البحرية.

الكلمات المفتاحية:

M.galloprovincialis المعادن الثقيلة، التلوث البحري، مؤشر حيوي، خليج سكيكدة،

Abstract

The aim of this study is to determine the significance of anthropogenic inputs of heavy metals in the aquatic ecosystems of the extreme northeastern region of Algeria. To achieve this, three sites in the Gulf of Skikda were selected: Tamanart, El Marsa, and the port of Collo.

The study focused on the spatial distribution of four heavy metals (lead, copper, zinc, and cadmium) in seawater, and the disturbances caused by these metals on the reproduction (gonad maturation and energy metabolism) of the mussel *Mytilus galloprovincialis*, a benthic species known for its bioindicator potential. The results obtained indicate:

-Contamination by the four metals (Cd, Pb, Cu, and Zn), particularly Cd and Pb, extends along the three sites of the Gulf of Skikda in a decreasing gradient:

Port of Collo > El Marsa > Tamanart

-Spawning occurs simultaneously at the Tamanart and El Marsa stations. However, mussels from the polluted area (Port of Collo) show a delay in reproductive activities compared to those from the reference station (Tamanart), indicating signs of intense physiological stress that may compromise reproduction and survival.

-The biochemical content of proteins, carbohydrates, and lipids reveals both a site effect and a sex effect, with the highest levels observed during the pre-spawning period, corresponding to the accumulation of reserves for reproduction. In contrast, a decrease in metabolic reserves is recorded during the gamete release period, with reduced levels of these components.

-Regarding the sex effect, it was observed that females accumulate more metabolic reserves and use more energy than males during reproduction.

The convergence of the data confirms that *Mytilus galloprovincialis* is a sensitive and excellent bioindicator of marine pollution, reliable and practical for monitoring the quality of the marine environment.

Keywords: *Mytilus galloprovincialis*, heavy metals, marine pollution, bioindicator, Gulf of Skikda.

INTRODUCTION

1. INTRODUCTION

L'historique de la pollution de l'environnement aquatique remonte au tout début de l'histoire de la civilisation humaine. Cependant, la pollution aquatique n'a suscité beaucoup d'attention que lorsqu'un seuil soit atteint avec des conséquences néfastes sur les organismes et les écosystèmes. La pollution aquatique est ainsi devenue une préoccupation mondiale, mais malgré cela, la plupart des pays en développement continuent de produire d'énormes charges de pollution (Islam et Tanaka, 2004).

L'ensemble des travaux scientifiques réalisés au cours de ces dernières décennies ont démontré l'existence de perturbations environnementales plus ou moins conséquentes le long du littoral méditerranéen : dégradation des écosystèmes et des habitats, tropicalisation, eutrophisation, contaminations chimiques et toxicologiques (Durrieu de Madron *et al.*, 2011; Tessier *et al.*, 2011 ; Maceda-Veiga *et al.*, 2012). D'ailleurs, le bassin méditerranéen a été classé par le PNUE comme l'un des cinq régions du monde où les problèmes environnementaux sont les plus graves (Ramade, 1992), alors qu'il est classé parmi les sept mers les plus menacées (Boudouresque, 1996). Tout autour du bassin méditerranéen sont dispersées une large gamme d'activités industrielles, allant de l'exploitation minière aux produits manufacturés, créant un certain nombre de «points critiques de pollutions», où les rejets et les émissions de contaminants provenant des complexes industriels et des grands ports commerciaux impliquent d'importantes menaces environnementales. Les substances en mer au cours des deux dernières décennies sont distribuées aussi bien en surface qu'en profondeur et, vu la lenteur de renouvellement des eaux méditerranéennes (de 80 à 100 ans), persistent en grande partie jusqu'à nos jours. Toutes les sources de pollution industrielle, agricole, urbaine, etc.) ont affecté les zones les plus productives de la Méditerranée en particulier les estuaires et les eaux côtières peu profondes (Thiboutot *et al.*, 2004; Wingfors *et al.*, 2006). Parmi les nombreux composés déversés en milieu côtier, les éléments traces métalliques (ETM) constituent une des sources majeures de contamination du fait de leur accumulation potentielle à long terme dans les sols et sédiments. Les ETM sont des constituants naturels de l'écorce terrestre mais peuvent entrer dans les systèmes aquatiques par des sources ponctuelles (effluents industriels et urbains) et diffuses (eaux de ruissellement, dépôts atmosphériques secs et humides), sous formes particulières, dissoutes et colloïdales (Di Leonardo *et al.*, 2009; Weber *et al.*, 2009; Rocha *et al.*, 2011). Certains ETM sont essentiels à la vie des organismes, mais tous sont potentiellement biologiquement toxiques si leurs concentrations dépassent un seuil critique. C'est pourquoi l'évaluation des quantités des métaux lourds présents dans les écosystèmes et dans les organismes devient une préoccupation majeure des écotoxicologistes (Huang *et al.*, 2007). L'impact de ces substances sur l'environnement est complexe, tant leurs actions toxiques peuvent être directes ou indirectes sur les écosystèmes, autant que les phénomènes de synergie et le déclenchement des effets complexes sont possibles (Devauchelles,

2002). Cette situation a conduit à diversifier les approches permettant d'appréhender l'état de la pollution des milieux côtiers. Diverses stratégies ont été développées et mises en œuvre depuis la fin des années 70 (Goldberg, 1986). Elles concernent des approches complémentaires : les unes en écotoxicologie proprement dite et les autres à caractère biogéochimique dont le but est l'évaluation de la contamination, c'est-à-dire l'importance de la dissémination de l'apport anthropique. Aujourd'hui, deux approches complémentaires sont utilisées comme indicateurs de la pollution : les biomarqueurs et les bioindicateurs (Valavanidis *et al.*, 2006).

Les biomarqueurs, outils fondamentaux de biosurveillance, sont définis comme étant des variations (biochimiques, cellulaires, physiologiques ou comportemental) qui, dans un tissu, un liquide corporel ou un organisme entier, permettent de mettre en évidence l'exposition et/ou les effets d'un ou plusieurs contaminants (Lagadic *et al.*, 1997; Galloway et Depledge, 2001; Vander Oost *et al.*, 2003). Ce sont des outils complémentaires dans le domaine de l'évaluation de la qualité des écosystèmes (Mc Crthy et Shugar, 1990 ; Peakall, 1994).

Ils permettent donc de diagnostiquer de façon précoce des dysfonctionnements physiologiques de l'individu, c'est-à-dire avant que des dommages tissulaires ou sur les principales fonctions biologiques ne soient détectables (Van der Oost *et al.*, 2003), c'est pourquoi les biomarqueurs sont considérés comme des outils utiles et sont de plus en plus intégrés dans les programmes de biosurveillance (Lam et Gray, 2003; Viarengo *et al.*, 1995). Les biomarqueurs sont classés en trois catégories (Lagadic *et al.*, 1997; Kammenga *et al.*, 2000) qui sont « les biomarqueurs d'exposition » (proches d'événements moléculaires précoces, traduisant l'exposition des organismes à des composés toxiques) et les « biomarqueurs d'effets », indicateurs d'atteintes de fonctions physiologiques des individus exposés et les « biomarqueurs de sensibilité », informent sur le rôle des variations génétiques dans les réponses.

L'exposition des organismes aquatiques à une pollution par divers xénobiotiques et métaux lourds induits chez ces organismes un stress oxydatif important qui se définit comme un déséquilibre de la balance entre le système prooxydant et le système anti oxydant et faveur du système prooxydant (Halliwell et Gutteridge, 1999).

Ce déséquilibre résulte d'une réaction oxydative qui conduit à la formation d'espèces oxygénées réactives (EOR), qui sont des composés toxiques pour l'organismes, provoquant des dommages cellulaires et tissulaires lorsque leur taux de synthèse dépasse leur taux de dégradation par les enzymes du système anti oxydant (Tatrais *et al.*, 2002; Abele et Pantarulo, 2004). Ces espèces oxygénées réactives ont essentiellement le radical anion super oxyde (O_2^-), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et les radicaux hydroxyles (OH). La capacité d'un organisme à s'adapter à un environnement altéré par la contamination anthropique, dépend principalement des mécanismes efficaces de la

INTRODUCTION

détoxification de divers composés endogène et exogènes (Jakanovic, 2001). Chez les organismes aquatiques ces mécanismes sont les premiers sollicités par la présence des xénobiotiques. Certaines espèces sont même capables de survivre et de se reproduire dans des milieux considérablement dégradés. L'adaptation des êtres vivants à ces milieux se traduit, entre autres, par la mise en place et le développement de système de défense.

Sachant que les organismes marins mettent en place différents moyens de lutte face à un polluant, il semblerait que tous ces moyens coûtent à l'organisme ses réserves métaboliques spécialement en énergie (Van, 2002; Sepulveda *et al.*, 2003; Widmeyer et Couper, 2003). Ces réserves énergétiques peuvent donc être de bon biomarqueurs de l'état de santé de l'organisme et de son environnement (Molven & Goksoyr, 1993). En effet, la répartition de l'énergie entre les fonctions fondamentales de l'organisme telle que la croissance et la reproduction, peut prédire l'impact de l'accumulation des polluants sur ces fonctions et sur la suivre des organismes exposés à des contaminants.

L'exposition fréquente des bivalves aux polluants de l'environnement dû à leur grande capacité de filtration et l'accumulation cause des lésions structurales et des perturbations fonctionnelles de plusieurs organes et tissus dont les plus étudiés sont la glande digestive, les gonades et les branchies (Seed & Suchnek, 1992).

Les côtes sont depuis toujours le lieu privilégié d'installation des ports, des villes et des activités industrielles. La moitié de la population mondiale actuelle est localisée à moins de 50 Km des rivages et il est de plus en plus question pour l'homme d'annexer cette partie du domaine marin en la domestiquant.

L'Algérie avec ses longues côtes d'environ 1200 Km, regroupant un éventail d'habitats, et la biodiversité marine Algérienne est considérée parmi les plus élevées du bassin méditerranéen (Grimes *et al.*, 2004), grâce à la diversité biologique des espèces d'intérêt écologique et économique. Par ailleurs, le littoral Algérien abrite de nombreuses espèces vulnérables ou menacées, à cet égard il reste un élément clé de conservation de la biodiversité marine et côtière de l'ensemble du bassin méditerranéen.

L'exploitation des mollusques bivalves et leur intérêt dans les études écotoxicologiques fait actuellement l'objet d'un grand nombre de travaux de recherche. A l'Est de l'Algérie et plus précisément la région d'El Kala, Annaba et Skikda. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail qui a pour objectif d'étudier

INTRODUCTION

- La comparaison des niveaux de pollution entre trois sites différents au niveau du golfe de Skikda par l'analyse des métaux lourds (Cd, Pb, Cu, Zn) dans l'eau de Mer.
- Evaluer le stade de la maturation des gonades et déterminer le sexe des moules échantillonnées, à l'aide d'une technique d'analyse histologique pour valider le développement gonadique comme indicateur physiologique du niveau de contamination du milieu.
- Les éventuelles perturbations des paramètres de la reproduction comme le métabolisme énergétique chez la moule *Mytilus galloprovincialis*.

Matériel Et Méthodes

2. Matériel et Méthodes

Matériel Biologique

L'étude des organismes marins, notamment des bivalves, nécessite une connaissance approfondie de leur biologie, de leur écologie et de leur physiologie. Parmi les espèces couramment étudiées, *Mytilus galloprovincialis* (la moule méditerranéenne) occupe une place importante en raison de son rôle écologique et économique.

1 *Mytilus galloprovincialis*

1.1 Morphologie

Est un mollusque bivalve caractérisé par une coquille allongée, asymétrique et de forme triangulaire. La coquille, composée de deux valves reliées par une charnière ligamentaire, présente une surface externe striée et souvent de couleur bleu-noirâtre ou brune. La face interne est nacrée et lisse. La taille adulte varie généralement entre 5 et 10 cm, bien que certaines populations puissent atteindre des tailles plus importantes en fonction des conditions environnementales (Gosling, 2008). Les valves sont maintenues fermées par des muscles adducteurs puissants, tandis qu'un byssus, constitué de filaments protéiques sécrétés par la glande byssogène, permet à l'animal de se fixer fermement aux substrats rocheux ou autres surfaces dures (Waite *et al.*, 1998).

1.2. Position systématique

La classification des mollusques repose sur des critères anatomiques discriminant les grands axes taxonomiques, auxquels s'ajoute la distribution géographique. Le genre *Mytilus*, de la famille des Mytilidés (Pélécytopodes) est principalement défini par la forme de la coquille, en particulier par son embout en position terminale. L'espèce *Mytilus galloprovincialis*, dite moule méditerranéenne (Lubet, 1959), est un mollusque bivalve, dont la biologie est parfaitement connue (Naciri, 1998 ; Narbonne *et al.*, 2005). La classification de la moule *Mytilus galloprovincialis* a été établie comme suit (Turgeon *et al.*, 1998) :

Règne : Animal.
Sous-règne : Bilateria.
Phylum : Mollusca.
Classe : Bivalvia.
Sous-classe : Ptériomorphia.
Ordre : Mytiloida.
Famille : Mytilidae.
Genre : *Mytilus*.
Espèce : *galloprovincialis*.

1.3 Anatomie de la moule *Mytilus galloprovincialis*

L'anatomie interne et externe de *Mytilus galloprovincialis* est reportée à la **figure (1)**.

❖ Coquille

Les moules contiennent deux valves lisses ou coquilles extérieures protectrices, de couleur noire bleuâtre, maintenues ensemble par une petite charnière droite (Barhoumi, 2014), permettant la sauvegarde de la masse viscérale (Morton, 1973).

❖ Le pied et le byssus

Le pied est inséré en avant de la bosse viscérale, il est comprimé latéralement et prend l'aspect d'un sac. Les mouvements du pied sont assurés par des muscles protracteurs et rétracteurs, pairs, antérieurs et postérieurs, qui s'insèrent symétriquement sur la face interne des valves de la coquille en avant des muscles adducteurs (Beaumont et Cassier, 2004). À sa base se trouve la glande du byssus qui synthétise des filaments (byssus) responsable de la fixation de la moule à son support (Ginet et Roux, 1989). Une fois qu'ils sont sécrétés, les filaments se solidifient au contact de l'eau de mer (Beaumont et Cassier, 2004).

❖ Les branchies

Les branchies représentent une caractéristique majeure des lamellibranches. Elles consistent en de grands organes en feuillet opérant deux fonctions : la respiration et la filtration de la nourriture à partir de l'eau. Deux paires de branchies sont localisées sur chaque côté du corps (Morton, 1973).

❖ Le muscle

La fermeture générale des valves est assurée par deux muscles adducteurs (antérieur et postérieur). Ces muscles sont antagonistes du ligament, qui grâce à son élasticité assure l'ouverture de la coquille (Morton, 1973).

❖ La glande digestive

Cet organe est encore appelé hépatopancréas car il joue chez cet invertébré un rôle analogue au foie des vertébrés ; il assure la digestion et l'absorption des aliments captés par les branchies (Pagliassoti, 1994).

❖ Le manteau

Le manteau enveloppe tous les organes auxquels il est rattaché au niveau du muscle adducteur, de la masse viscérale et des branchies. Il est composé de deux lobes palléaux et remplit plusieurs fonctions (Gagnaire, 2005) :

- Sa fonction première est la sécrétion de la coquille.
- Il assure des fonctions sensorielles tactiles (terminaisons nerveuses) et visuelles (ocelles et osphradies).

- Il intervient dans la nutrition, en participant, au premier tri des particules extérieures.
- Il participe au stockage de matériaux de réserve (lipides, glycogène), à la fonction respiratoire, à la dissémination des gamètes et à la défense par la formation de mucus .Il représente l'une des premières barrières à l'agression par des facteurs externes.

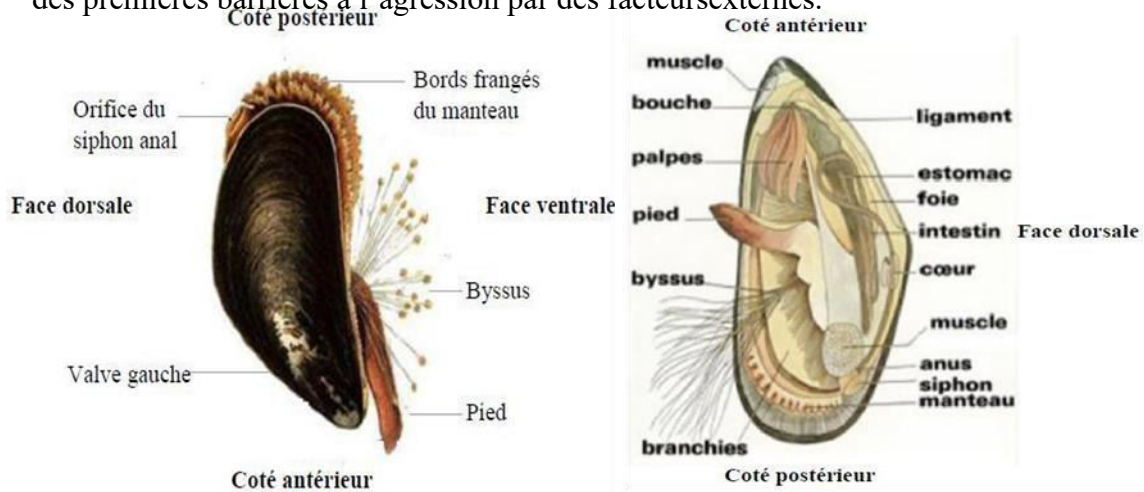


Figure 1: Anatomie interne et externe de la moule *M.g.* (Khelil 2007).

❖ L'hémolymphe

L'hémolymphe représente l'équivalent du plasma des vertébrés. Chez la moule, ce compartiment correspond essentiellement du point de vue de sa composition saline à l'eau de mer environnante (Lubet, 1969). Il contient aussi quelques protéines et des lipides, circulant sous forme de globules ou de vésicules (Martin *et al.*, 1970).

❖ Les hémocytes

Les hémocytes sont les cellules circulant dans l'hémolymphe et présentant des caractéristiques de certains leucocytes des vertébrés. Ce sont des cellules totipotentes qui interviennent dans les processus de régénération de la coquille et des tissus en cas de blessure et joue un rôle important dans le système immunitaire (immunité non spécifique) en phagocytant de petites particules et des microorganismes (Fisher, 1988).

1.4 Physiologie de la moule *Mytilus galloprovincialis*

❖ Alimentation

La moule *Mytilus galloprovincialis* est un animal microphage, cela signifie qu'elle se nourrit de petites particules en suspension dans l'eau de mer. Pour se nourrir, la moule filtre l'eau de mer à travers ses branchies et récupère les particules alimentaires qui y sont retenues. Ce sont les algues microscopiques, le phytoplancton bactéries et débris organiques qui constituent l'essentiel de sa nourriture (Bouchard, 2004).

❖ Le système excréteur

Le système excréteur comprend deux reins qui communiquent à la fois avec la cavité péricardique et la cavité palléale. Une partie des déchets vient directement du sang par passage de la paroi du cœur, elle tombe dans la cavité péricardique avec les produits d'excrétion des glandes péricardiques. Le liquide de cette cavité passe ensuite dans les reins qui ajoutent leur propre sécrétion, puis l'évacuent dans la cavité palléale (Bachelot, 2010).

❖ Le système respiratoire

Les échanges d'oxygène se font par l'intermédiaire des branchies. L'eau chargée en oxygène dissous pénètre dans la cavité palléale via le siphon inhalant. Elle est filtrée par les filaments des deux paires de branchies lamelleuses avant d'être évacuée par le courant exhalant (**Fig. 2**). L'oxygène ainsi capté pénètre dans l'hémolymphe pour être distribué dans tout l'organisme. Lorsque la moule se retrouve à l'air libre, elle ferme sa coquille et passe à une respiration anaérobie (Cahen, 2006).

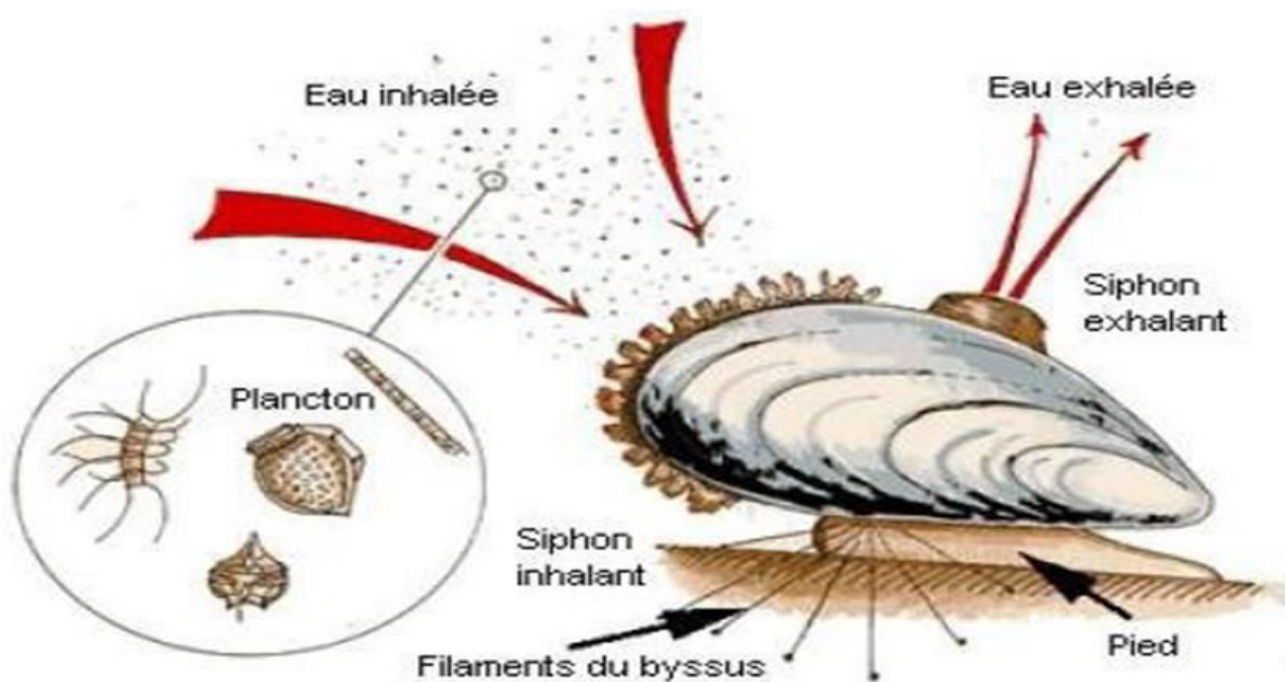


Figure 2: Système respiratoire chez la moule *Mytilus galloprovincialis* (Aquascope, 2000).

❖ Le système circulatoire

L'appareil circulatoire est relativement simple. On y trouve un cœur dorsal (enveloppé par le péricarde) qui comprend deux oreillettes latérales et un ventricule. L'hémolymphe, chassée dans deux aortes, est distribuée aux différentes parties du corps par un réseau de vaisseaux sanguins. L'hémolymphe n'est plus, à ce moment, canalisée en un système de vaisseaux individualisés. Elle gagne ensuite les reins, où elle est purifiée, avant de pénétrer dans les branchies. Dans ces organes, elle s'enrichit alors en oxygène (O₂) et se décharge en gaz carbonique (CO₂). Une fois oxygénée, l'hémolymphe rejoint les oreillettes du cœur. À ce circuit principal se superpose un circuit accessoire.

En effet l'hémolymphe qui circule dans le manteau a la possibilité de suivre une voie de retour directe au cœur sans passer par les reins ni les branchies. Lors du passage dans le manteau, un échange d'oxygène et de gaz carbonique a lieu également (Gosling, 1992).

❖ **Système nerveux**

Le système nerveux des mollusques est composé de troncs pédieux et viscéraux qui s'unissent antérieurement pour former un ganglion cérébral (Jurd, 2000) et a pour principale particularité d'avoir les ganglions pleuraux fusionnés avec les ganglions cérébroïdes (Grasse et Doumenc, 1998). Chez les bivalves, les organes de sens sont absents (Jurd, 2000).

❖ **Système immunitaire**

Chez la plupart des mollusques, l'hémolymphe baigne directement les organes internes. L'hémolymphe comme le sang des vertébrés joue un rôle spécifique dans le système de défense (Fisher, 1986 ; Cheng, 1996 ; Chu, 2000). Les défenses de l'organisme sont essentiellement non spécifiques et basées sur les activités des hémocytes circulant dans les tissus (Cheng, 1996) et dans les fluides extrapalléaux entre le manteau et la face interne de la coquille (Allam et Paillard, 1998).

Même si les bivalves sont des organismes relativement simples, ils ont un long cycle de vie pendant lequel ils sont constamment exposés à différents microbes potentiellement pathogènes ou invasifs. Comme c'est le cas de tous les autres invertébrés, cette immunité innée est leur seul système immunitaire et comprend deux actions complémentaires : une action impliquant directement les hémocytes (la défense cellulaire) et une action impliquant des molécules libres (la défense humorale) (Canesi et al. 2002) (Fig.3).

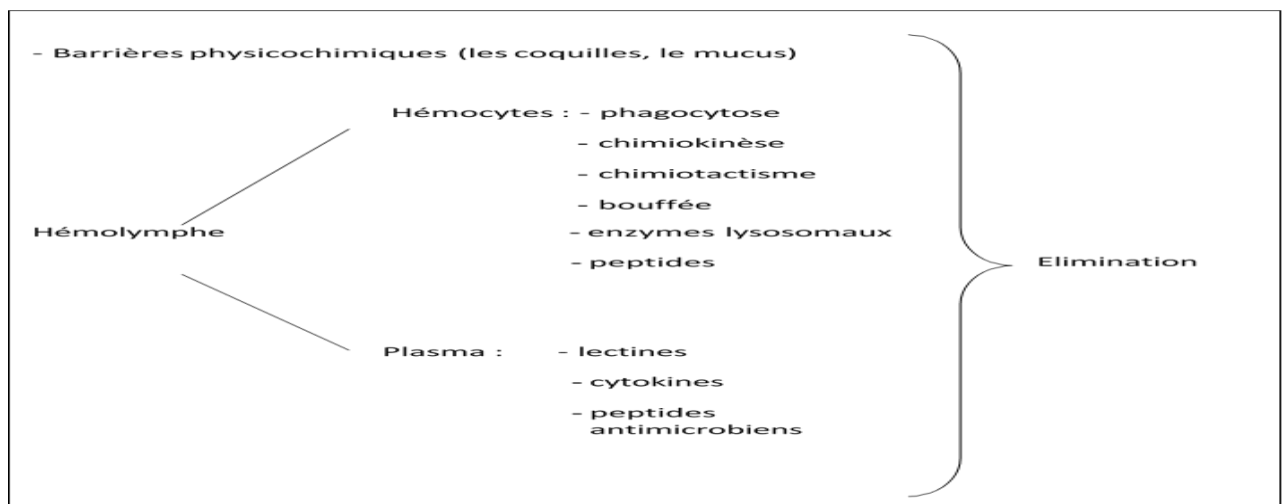


Figure 3 : Le système de défense chez les bivalves (Canesi et al. 2002).

❖ **Reproduction**

La moule est sexuellement différenciée. Pendant la période de reproduction, les ovules de la femelle sont libérés dans la cavité palléale où ils sont fécondés par les spermatozoïdes. Ces derniers, déversés dans l'eau par les individus mâles, sont entraînés dans la cavité de la femelle par la circulation d'eau entrante. La fécondation est donc externe. Les œufs très nombreux (environ 500 000) donnent deux stades larvaires successifs : trochophore et véligère. La larve trochophore se transforme en larve véligère en 24h. Celle-ci se fixe sur un substrat, après 2 à 3 semaines, se métamorphose en jeune moule et devient adulte au bout de 2 ans (Cahen, 2006) (Fig.4).

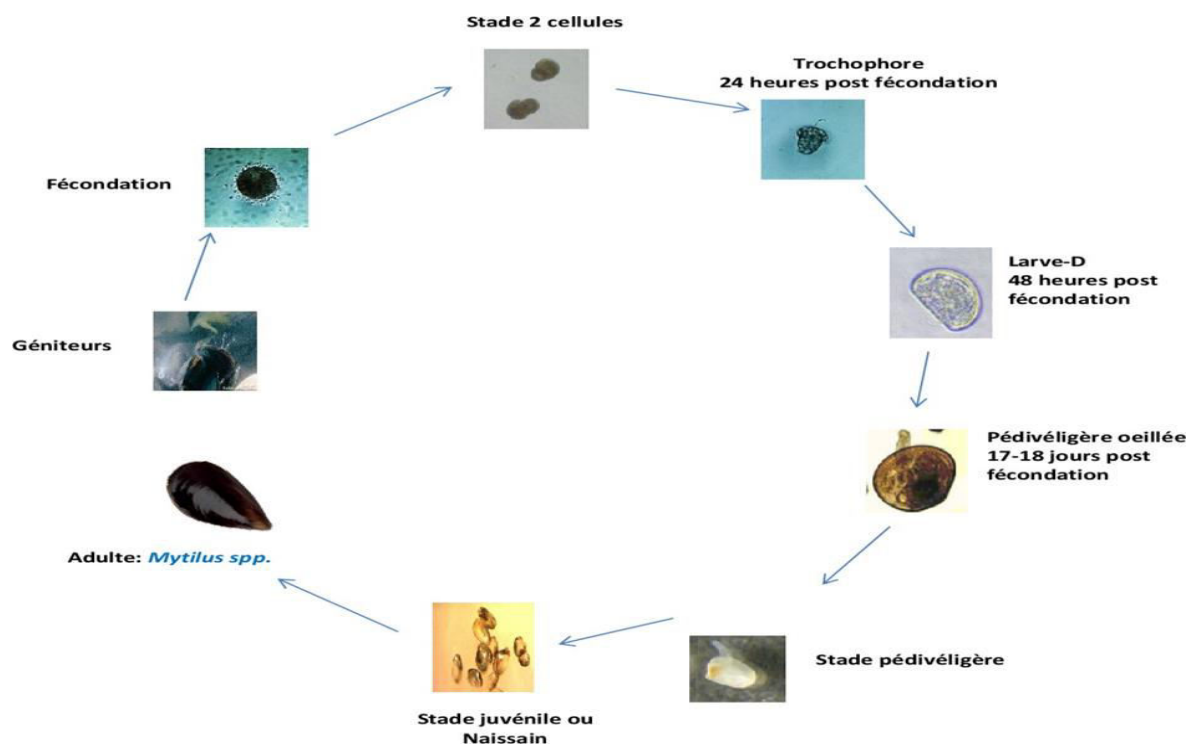


Figure 4: Cycle de vie de la moule *Mytilus galloprovincialis* (Boukadida, 2017).

1.5 Les stades de la gamétogénèse chez les bivalves

La gamétogénèse chez les bivalves est un processus cyclique et saisonnier, influencé par des facteurs environnementaux tels que la température, la disponibilité alimentaire et la photopériode. Elle se déroule en plusieurs stades distincts :

❖ **Phase de repos (stade 0) :**

Les gonades sont peu actives, avec des cellules germinales indifférenciées. Ce stade suit généralement la libération des gamètes (frai).

❖ **Phase de multiplication (stade I) :**

Les gonades commencent à se développer, et les cellules germinales (spermatogonies chez les mâles, ovogonies chez les femelles) prolifèrent par mitose.

❖ **Phase de croissance (stade II) :**

Les spermatocytes I (mâles) et les ovocytes (femelles) entament leur différenciation. Les ovocytes accumulent des réserves vitellines (*vitellogenèse*), tandis que les spermatocytes subissent la méiose.

❖ **Phase de maturation (stade III) :**

Les gamètes atteignent leur maturité. Chez les mâles, les spermatides se transforment en spermatozoïdes mobiles. Chez les femelles, les ovocytes deviennent volumineux et riches en vitellus.

❖ **Phase de libération (stade IV, émission des gamètes) :**

Sous l'effet de stimuli environnementaux (température, salinité), les bivalves libèrent leurs gamètes dans la colonne d'eau pour la fécondation externe.

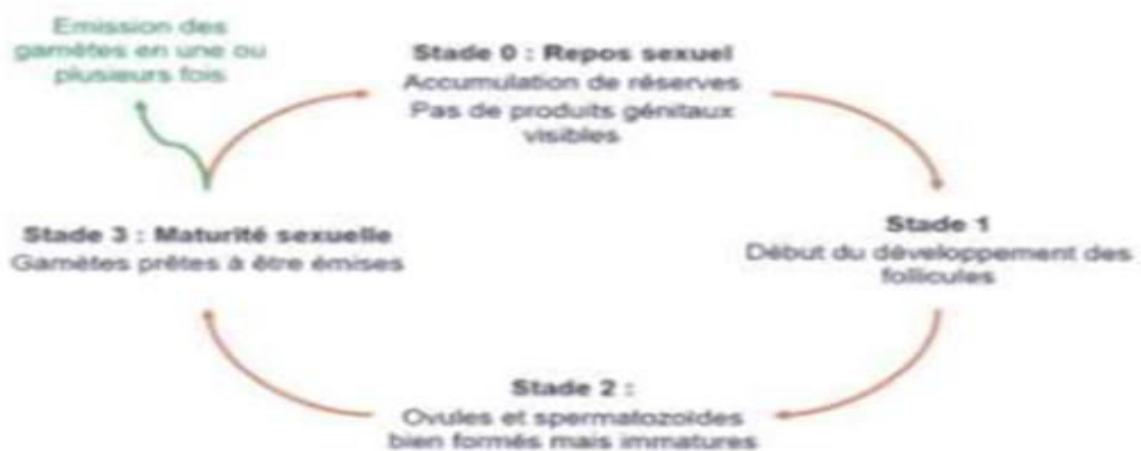


Figure 5: Cycle de développement des gonades chez *mytilus galloprovincialis*

1.6 Répartition géographique de *Mytilus galloprovincialis*

Les deux espèces les plus représentées sont la moule méditerranéenne *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) et la moule bleue *Mytilus edulis* (Linnaeus, 1758). La première est une espèce d'eau chaude et occupe principalement la Méditerranée et se prolonge vers le nord jusqu'à la côte de la France et le Royaume-Uni (Skibinski *et al.*, 1983 ; McDonald *et al.*, 1991; Gosling,

1992). La seconde est une espèce occupant les régions tempérées et froides le long des côtes atlantiques européennes : de l'Europe du Nord à la frontière française, espagnole dans le golfe de Gascogne (Hilbish *et al.*, 2012).

Le chevauchement des zones de répartition de deux espèces sœurs a créé une zone hybride mosaïque, avec une alternance de populations hybrides et de populations parentales pures du Golfe de Gascogne au Nord de l'Écosse (Coustau *et al.*, 1991; Bierné *et al.*, 2003; Hilbish *et al.*, 2012). Cette zone est assez vaste, couvrant plus de 1400 km de côtes, et les populations de moules dans cette zone contiennent des rétro-croisements et d'autres génotypes introgressés qui sont produits par plusieurs générations d'hybridation (Gosling, 1992). Les zones hybrides sont souvent considérées comme des fenêtres sur le processus de spéciation (Harrison, 1990) (**Fig. 06**).

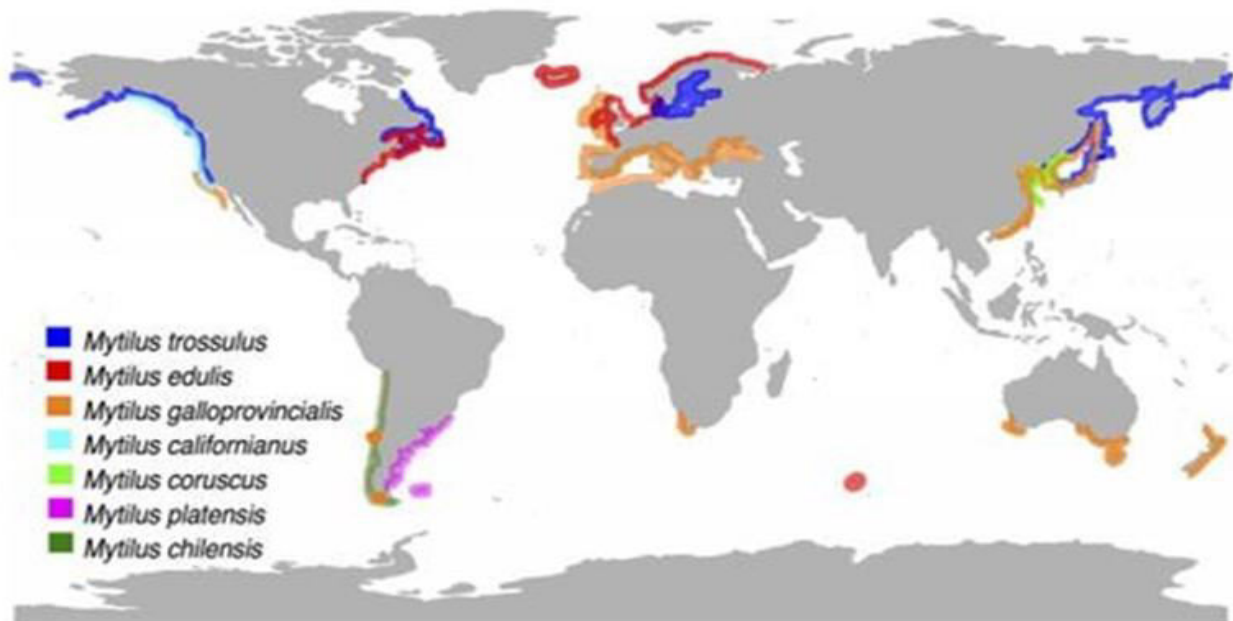


Figure 6: Distribution mondiale approximative du genre Mytilus (Gaitán-Espitia et al. 2016).

2. Présentation des zones d'études

2.1 Caractéristiques du Littoral Algérien

Le littoral algérien est relativement long, s'étendant sur environ 1600 kilomètres le long de la mer Méditerranée.

Il se caractérise par une grande diversité dans ses formations naturelles : on y trouve des zones rocheuses escarpées alternant avec des plages de sable et parfois des baies. Ce littoral bénéficie d'un climat méditerranéen, marqué par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides, ce qui favorise une biodiversité marine et végétale importante.

La côte algérienne abrite de nombreuses espèces marines, dont certaines sont endémiques, ce qui en fait une zone écologique précieuse. Cependant, malgré cette richesse, le littoral fait face à plusieurs menaces liées aux activités humaines, notamment la pollution des eaux, l'urbanisation non planifiée et la surpêche.

Ces pressions perturbent l'équilibre écologique de la région et mettent en danger la durabilité de sa biodiversité (Haouchine et al., 2016)

2.2 Situation géographique du golfe de Skikda

Entre les deux pointes rocheuses cap de Fer à l'Est et cap Bougaroun à l'Ouest se trouve le golfe de Skkida, situé sur la façade Est de l'Algérie. Sur une longueur de 146.7 km (Maatallah et al., 2014).

Le littoral de Skikda abrite à la fois des côtes rocheuses, plages sableuses et un important champ dunaire. La plage de Larbi Ben Mhidi est très réputée par son étendue et sa qualité des eaux de baignades. Elle s'étend sur une bande de 10 km avec une largeur variable. Elle est bordée de dunes qui la dominent d'une vingtaine de mètres. La largeur du cordon dunaire est comprise entre 600 et 1300 m, ce sont des dunes anthropisées avec une faible couverture forestière.

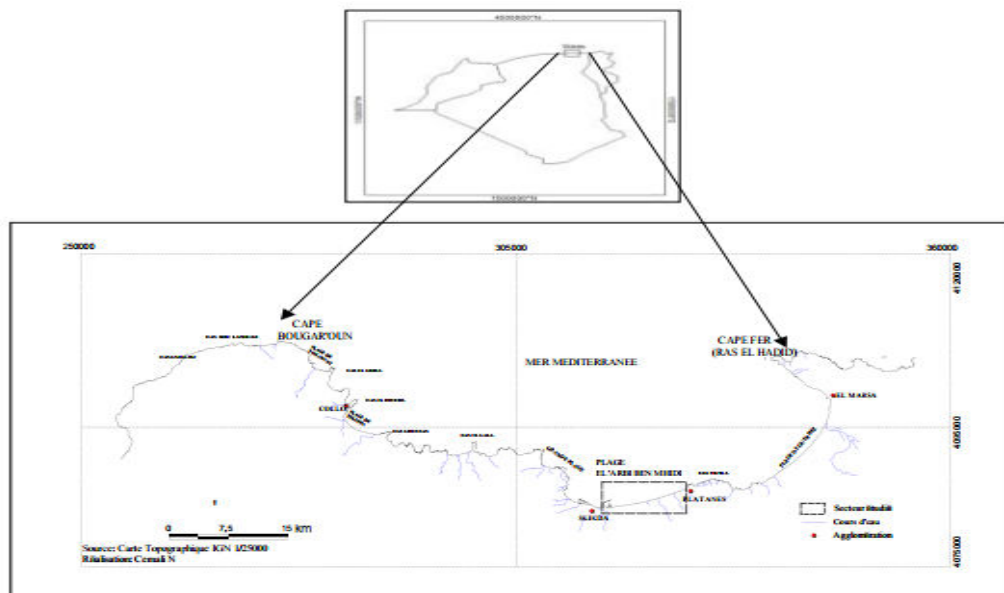


Figure 7: Carte Topographique de la Région du golfe de Skikda

2.3 Choix et localisation des stations d'échantillonnage

La zone d'échantillonnage a été délimitée en fonction des paramètres suivants : accessibilité au site et disponibilité du matériel biologique (moules), en fonction de la proximité des sources de pollution (domestique et Industrielle), nous avons choisi trois stations, La plage de Tamanart, La plage d'El Marsa et Le port de Colo

❖ *La plage de Tamanart*

La plage de Tamanart, nichée dans la wilaya de Skikda, à environ 7 km au nord-ouest de Collo et à proximité du village de Cheraïa. Des formations rocheuses naturelles parsèment la côte. Créer un environnement propice à la reproduction et à la vie des moules *Mytilus galloprovincialis*.

Formations rocheuses : un habitat idéal pour les moules sur Tamanart :

Le littoral de Tamanart est caractérisé par des formations rocheuses naturelles qui s'avancent dans la mer, créant des zones intertidales idéales pour la fixation des moules *Mytilus galloprovincialis*. Ces rochers :

- ✓ Offrent des surfaces dures et rugueuses, parfaites pour l'ancrage des byssus (les filaments que les moules utilisent pour s'attacher).
- ✓ Permettent une circulation continue de l'eau, assurant un apport régulier en nutriments et en phytoplancton, dont se nourrissent les moules.
- ✓ Forment des zones abritées contre les fortes vagues, favorisant la reproduction et la croissance des juvéniles.

Un écosystème propice à la reproduction des moules sur Tamanart :

Les conditions environnementales autour de Tamanart participent activement à la réussite de la reproduction des *Mytilus galloprovincialis* :

- ✓ Température de l'eau modérée, typique de la Méditerranée, idéale pour la ponte et le développement larvaire.
- ✓ Salinité stable, favorable au métabolisme et à la croissance des bivalves.
- ✓ Absence de pollution majeure, contrairement à d'autres zones plus urbanisées, ce qui diminue le stress environnemental et les risques de mortalité massive. Rouabhi et al. (2019).

❖ **La plage d'El Marsa**

El Marsa est une commune côtière située à l'extrême nord-est de la wilaya de Skikda, Environ (36°52' N, 6°21' E) en bordure de la Méditerranée. Elle fait partie d'un littoral riche en biodiversité et relativement préservé, à proximité des massifs forestiers et de plusieurs plages naturelles.

Zone pour l'étude marine et côtière sur El Marsa :

- ✓ Écosystème rocheux et sableux.
- ✓ Présence de moules (*Mytilus galloprovincialis*).
- ✓ Étude de la qualité de l'eau, des apports sédimentaires, et des activités anthropiques.
- ✓ Sites propices à la pose de capteurs environnementaux (température, pH, salinité).
- ✓ Petits estuaires ou embouchures saisonnières. (Khelifi *et al.*, 2008).

❖ **Port de Collo**

Le port de Collo est situé sur la côte nord-est de l'Algérie, dans la wilaya de Skikda, plus précisément dans la région de Collo, qui s'ouvre sur la mer Méditerranée. Entouré de massifs montagneux boisés, notamment le massif de Collo, caractérisé par un relief escarpé et des pentes fortes.

- Cette configuration géographique crée un écosystème côtier riche, mêlant influences marines et forestières, avec des apports fluviaux et une biodiversité particulièrement développée. Le port est un espace semi-fermé, ce qui en fait un site favorable aux études environnementales, notamment liées à la qualité de l'eau, à la sédimentation et aux espèces bio indicatrices. (Mosbahi *et al.*, 2021).



Figure 8: Localisation du des sites d'études. (Google Earth modifié).

2.4 Prélèvement des moules

Les moules sont prélevées à la main à partir des rochers sur lesquels elles étaient fixées. La collecte des moules s'est effectuée de 0 à 10 mètres de profondeur. Les moules prélevées matures (adultes) et de taille marchande ; La taille et le poids moyen des échantillons sont de $38,6 \pm 1,4$ mm et de $10,4 \pm 1,2$ g. Les bivalves prélevés sont mis dans un sac plastique que l'on place dans une glacière à 4C.

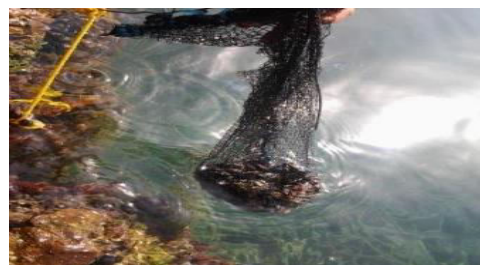


Figure 9: Prélèvement des moules (photo originale).

❖ **Dissection et prélèvement des gonades**

La dissection et le prélèvement des gonades ont été effectués sur des individus vivants.

Après distinction du sexe.

Deux groupes de bivalves ont été constitués pour chaque sexe : un premier groupe (n=4) destiné aux analyses biochimiques, les organes (gonades mâles et femelles) ont été prélevés et vont servir aux dosages des métabolites (glucide lipides et protéines), un deuxième groupe (n=2 par organe) servira aux analyses histologiques.



Figure 10: Dissection et prélèvement des gonades (photo originale).

❖ Échantillons d'eau

Des flacons sont plongés à une profondeur d'environ 50 cm de la surface de l'eau puis ouverts à contre-courant. Une fois remplis, ils sont refermés sous l'eau pour éviter la formation de bulles d'air et tout risque de contamination lors du transport. Une fois les prélèvements effectués, les flacons ont été étiquetés.



Figure 11: Échantillons d'eau (photo originale).

3. Paramètres étudiés

3.1 Analyse des métaux

❖ Traitement des échantillons d'eau et dosage des éléments traces métalliques (ETM) :

Des précautions indispensables sont à prendre lors de travaux portant sur l'analyse des métaux lourds : Les pots de prélèvements, flacons de conservation des extraits, ainsi que toute la verrerie destinée aux analyses des ETM sont traités au préalable à l'acide nitrique (5N) dans lequel ils sont trempés pendant au moins 24 à 48h. Ils sont ensuite rincés à l'eau distillée ou déminéralisée (Rodier, 1984). Une attention très particulière doit être portée sur les risques de contamination lors de la préparation des échantillons et ce dès le prélèvement.

Les échantillons d'eau, acidifiés à l'acide nitrique (HNO_3 : d = 1,4) jusqu'à un pH inférieur à 2, soit en général 0,5% (v/v), sont filtrés et conservés à 4°C.

❖ Dosage des éléments traces métalliques contenus dans l'eau :

Les teneurs des ETM contenus dans l'eau sont déterminées par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (Zn, Cu) et/ou électrothermique (Cd, Pb) de type PERKIN-ELMER A Analyste 100 La détermination des ETM par SAA électrothermique doit être élaborée avec le maximum de précision. Les programmes thermiques (séchage, pyrolyse, atomisation et nettoyage doivent être mis au point en tenant compte de la matrice à analyser (l'eau étant une matrice aqueuse) et des spécificités de l'appareillage. Un problème classique rencontré en SAA en tube graphite consiste à trouver les valeurs de la température de décomposition et de la température d'atomisation qui fournissent le signal (absorbance) le plus élevé pour une matrice donnée.

3.2 Etude histologique

Les coupes histologiques des gonades mâles et femelles ont été réalisées au niveau de l'hôpital de la clinique El Madina wilaya d'Annaba selon les étapes suivantes :

❖ Fixation des organes

A pour but la conservation des structures et le durcissement des pièces. Elle doit se faire immédiatement après le prélèvement, par immersion du matériel dans un grand volume de liquide fixateur. Le liquide fixateur le plus utilisé est le formol.

La durée de la fixation variée selon le volume des prélèvements (de quelques heures pour un petit fragment biopsique).

❖ Inclusion

A pour but de permettre la réalisation de coupes fines et régulières. Le milieu d'inclusion le plus utilisé est la paraffine. Comme la paraffine est hydrophobe, le prélèvement doit d'abord subir une déshydratation (par immersion dans des bains d'alcool de degré croissant puis dans des bains de

Stratégie d'échantillonnage de *P. perna*

toluène) avant d'être coulé dans un moule contenant de la paraffine fondue par chauffage et devenue liquide, qui infiltre alors toute la pièce. Après refroidissement, on se trouve en présence d'un bloc de paraffine, dur, à l'intérieur duquel la pièce prélevée est incluse.

❖ Coupes

Du bloc de paraffine sont faites avec un microtome permettant de réaliser des tranches de section (coupes) de 2 à 5 µm d'épaisseur. Les coupes sont recueillies sur des lames de verre

❖ Colorations

Réalisées sur lames, accentuent les contrastes pour mieux reconnaître les différents éléments de la préparation. Comme les colorants sont en solution aqueuse, les coupes doivent d'abord subir une réhydratation. Celle-ci est effectuée après déparaffinage des coupes (par la chaleur et des bains de toluène) en immergeant les lames dans des bains d'alcool de degré décroissant puis dans l'eau distillée. Les colorations les plus fréquemment utilisées associent deux ou trois colorants différents : l'Hématoxyline-Eosine (H.E.) associe l'hématéine qui colore les noyaux en violet et l'éosine les cytoplasmes en rose.

❖ Montage

Après avoir subi une déshydratation (par bains d'alcool de degré croissant puis bains de toluène), les coupes colorées sont montées entre lame et lamelle avec une résine synthétique dont l'indice de réfraction est voisin de celui du verre. On dispose alors d'une « préparation microscopique » (simplement appelée « lame » dans le langage courant) prête à être observée au microscope.



A) Automate.



B) Console d'inclusion.



C) Microtome



B) Bain marie.

Figure 12: Appareillages utilisés dans la réalisation des coupes histologiques.

3.3 Dosage des métabolites

❖ Extraction des métabolites

L'extraction des différents métabolites (protéines, glucides et lipides) des gonades a été réalisée selon le procédé de Shibko et al., (1966). Les échantillons sont broyés puis centrifugés à 5000 tours/min pendant 10 min. Le surnageant I servira au dosage des glucides et le culot I est additionné de 1 ml d'un mélange méthanol/chloroforme (1/1, v/v). Une deuxième centrifugation (5000 tours/min, pendant 10 min) permet de récupérer le surnageant II qui servira au dosage des lipides. Le culot II, est ensuite repris dans 1ml de NaOH (0,1N), afin de solubiliser les protéines totales, après 1 nuit à +4°C. Les différentes étapes sont résumées dans la figure 11.

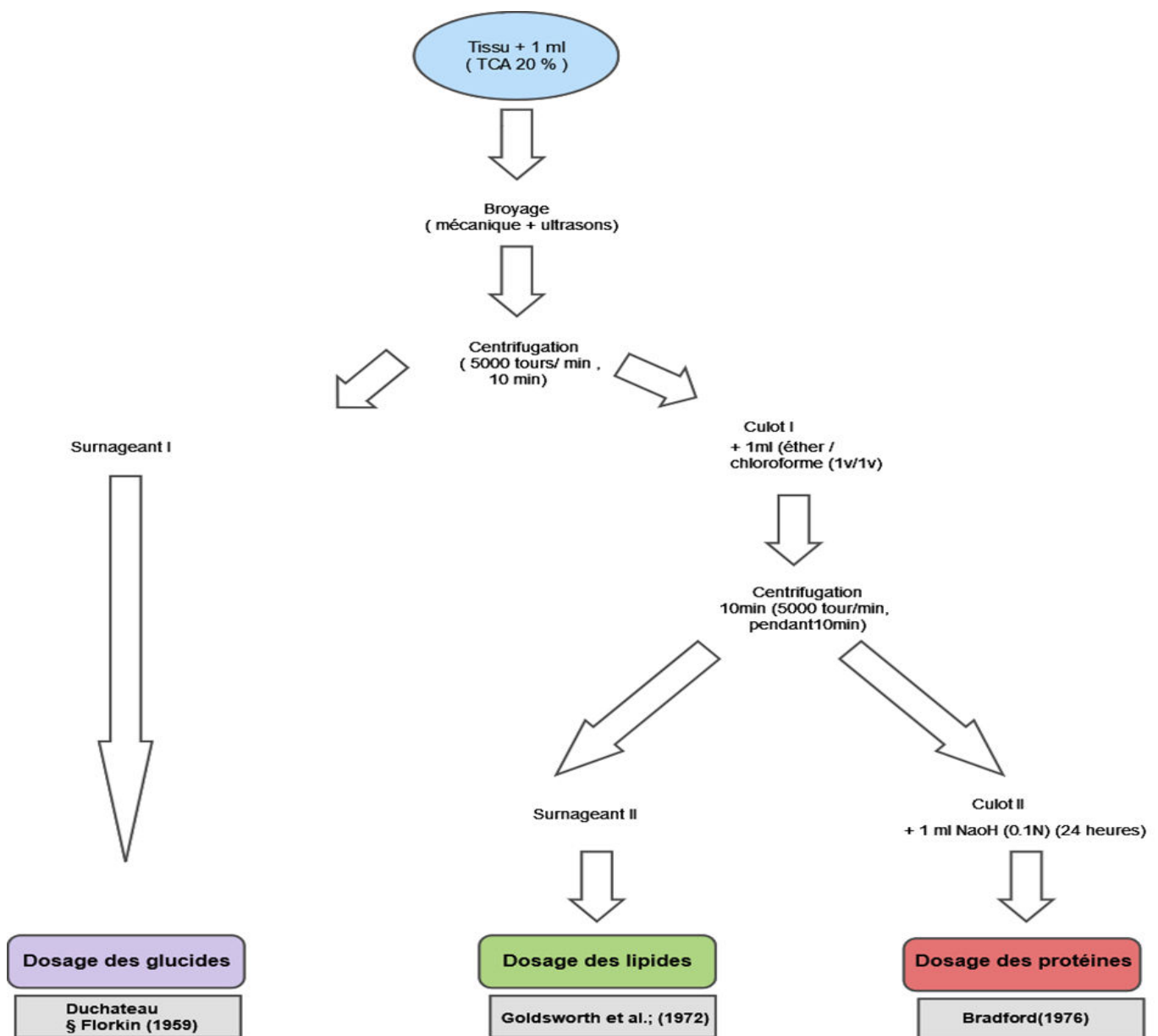


Figure 13: Principales étapes d'extraction des métabolites protéines, glucides, lipides (Shibko et al., 1966)

❖ Dosage des protéines

Le dosage des protéines a été effectué selon la méthode de Bradford (1976). Dans une fraction aliquote de 100 µl on ajoute 4 ml de réactif au bleu brillant de comassie (BBC ; G 250, Merck). La solution de BBC se prépare comme suit, dissoudre 100 mg de BBC dans 50 ml d'éthanol 95°. On y ajoute ensuite 100 ml d'acide ortho phosphorique à 85% et on complète à 1000 ml avec de l'eau distillée. La durée de conservation du réactif est de 2 à 3 semaines à +4°C. Celui-ci révèle la présence des protéines en les colorants en bleu. L'absorbance est lue à 595 nm contre un blanc de gamme.

❖ Dosage des glucides

Le dosage des glucides totaux a été réalisé selon la méthode de Duchateau & Florkin (1959). Elle consiste à additionner 100 µl d'échantillon et 4 ml du réactif d'anthrone et de chauffer le mélange à 80°C au bain marie pendant 10 min. Une coloration verte se développe dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de glucides présents dans l'échantillon. L'absorbance est lue à 620 nm contre un blanc de gamme. La préparation du réactif d'anthrone se fait comme suit : peser 150 mg d'anthrone, ajouter 75 ml d'acide sulfurique concentré et 25 ml d'eau distillée. On obtient une solution limpide de couleur verte qui est stockée à l'obscurité. La gamme d'étalonnage est effectuée à partir d'une solution mère de glucose (0,1 mg/ml).

❖ Dosage des lipides

Les lipides totaux ont été déterminés selon la méthode de Goldsworthy et al. (1972) utilisant le réactif sulfophosphanillique (0,38 g de vanilline dans 55 ml d'eau distillée et ajouter 195 ml d'acide ortho phosphorique à 85 %). La solution mère des lipides est préparée en utilisant l'huile de table selon la procédure suivante 25 mg d'huile de table sont pesés dans un tube eppendorf, cette quantité est ensuite reprise dans 10 ml du mélange Ether/chloroforme (1/1 v/v).

Après évaporation des prises aliquotes de 100µl de surnageant II dans un bain à sec à 40°C, on additionne 1ml d'acide sulfurique concentré (96%), les tubes fermés sont agités et chauffés dans un bain à sec à 100° C pendant 10 minutes.

Après refroidissement pendant 5 minutes, on prend 200 µl de ce mélange auquel on ajoute 2,5 ml de réactif sulphosphovanillique et on agite rigoureusement. Après 30 minutes à l'obscurité, le complexe se colore en rose. L'absorbance est lue dans un spectrophotomètre à 530 nm contre un blanc de gamme à une longueur d'onde de 530nm.

3.4 Traitements statistiques des données

Les moyennes et les écarts type ($m \pm s$), avec un niveau significatif de $p \leq 0,05$, sont calculés pour chaque groupe d'expérience.

La quantification des différents métabolites (glucides, lipides et des protéines) a été déterminée à partir de l'équation de la droite de régression exprimant l'absorbance en fonction de la quantité de la solution mère de métabolite exprimée en $\mu\text{g}/\text{mg}$ de tissu.

La comparaison inter site consiste à comparer entre site et sexe. Toutes ces comparaisons ont été effectuées par l'analyse de la variance à un critère ou à un facteur de classification modèle fixe additionné par le test HDS (honest significative différence) de Tukey, permet de classer les différents paramètres étudiés.

Résultats Et Discussion

3. Résultats

1. Evolution des teneurs en métaux lourds dans l'eau de Mer

Les concentrations en éléments traces métalliques (Pb, Cd, Cu et Zn) ont été déterminé dans l'eau de Mer dans trois sites différents du golfe de Skikda (Tamanart, le port de Collo et El Marsa).

1.1 Plomb

Les teneurs en plomb contenues dans l'eau de mer de la station du port sont 5 à 6 fois plus élevées que celles relevées dans les stations d'El marsa et Tamanart (**fig14**).

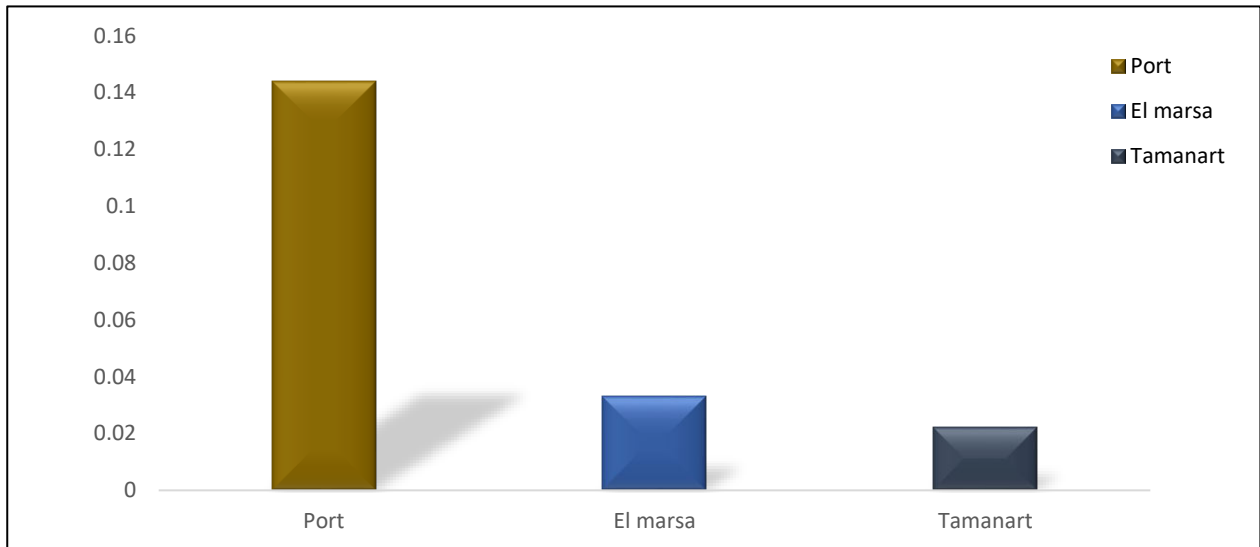


Figure 14: Distribution des teneurs moyennes (en ppm) en plomb dans l'eau de Mer

1.2 Cadmium

Les teneurs maximales en cadmium sont relevées dans la station du port où les valeurs notées sont 5 et 6 fois plus élevées que celles relevées respectivement dans les stations d'El marsa et Tamart (**fig15**).

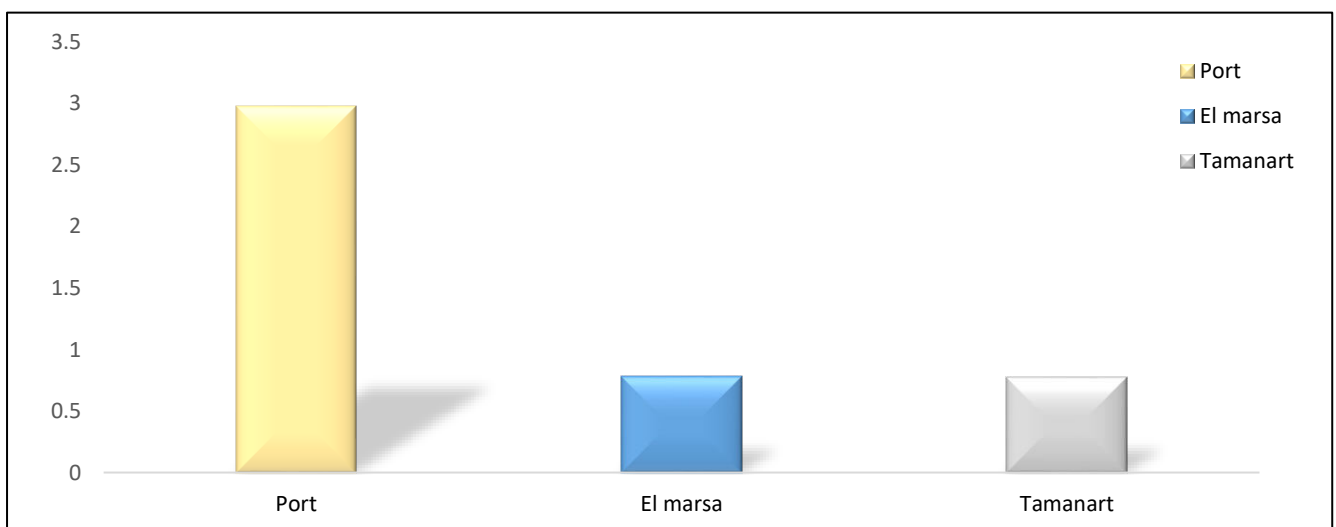


Figure 15: Distribution des teneurs moyennes (en ppm) en cadmium dans l'eau de Mer

1.3 Cuivre

Dans la station du port, les teneurs en cuivre sont 6 à 7 fois plus élevées que celles relevées dans les 2 autres stations (**fig16**).

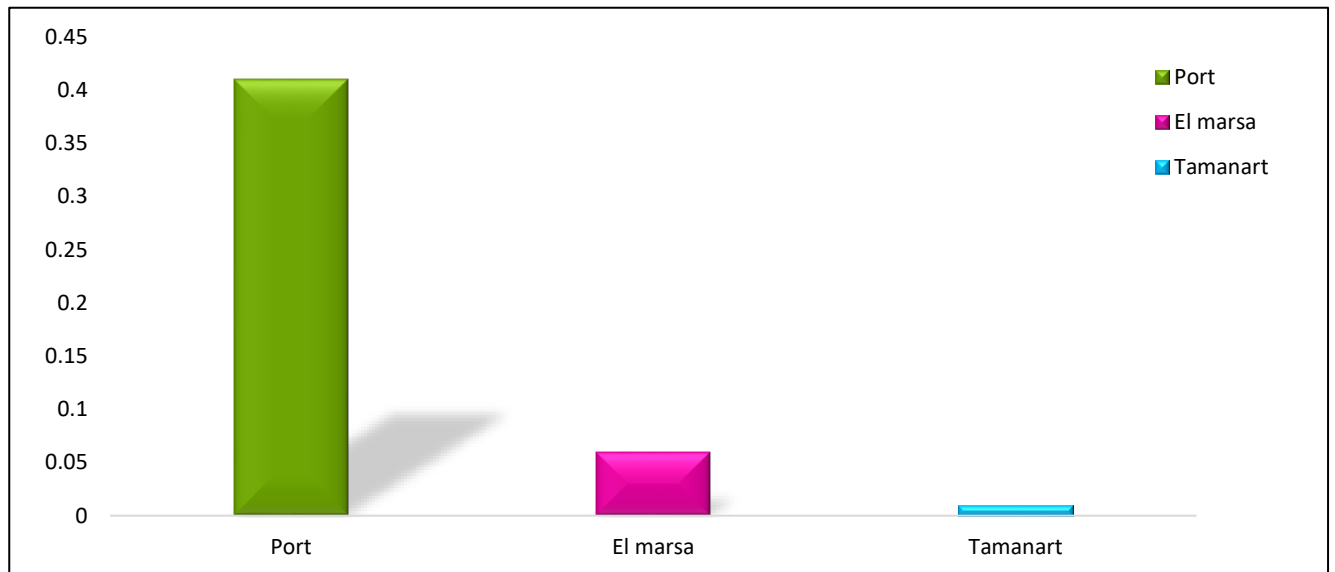


Figure 16: Distribution des teneurs moyennes (en ppm) en cuivre dans l'eau de Mer

1.4 Zinc

Quant au zinc, dans la station du port, les teneurs en zinc sont 3 à 4 fois plus élevées que celles relevées dans les 2 autres stations (**fig17**).

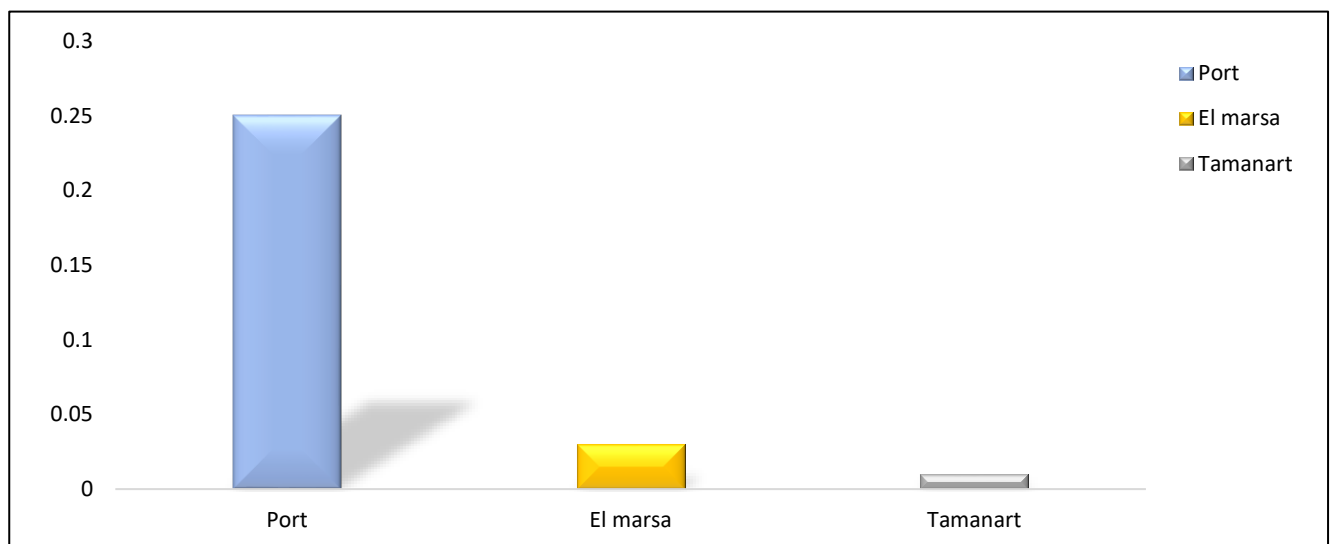


Figure 17: Distribution des teneurs moyennes (en ppm) en zinc dans l'eau de mer.

Résultats et Discussion

2. Détermination du sexe et de la maturation des gonades

2.1 Le tractus génital et histophysiologie

Les moules sont des animaux à sexes séparés. La glande génitale est diffuse dans le manteau et la masse viscérale. Elle est formée par des acini qui aboutissent à des gonocytes constitués par un épithélium cilié unistratifié.

Les produits génitaux se forment dans la gonade ; arrivés à maturité, ils sont émis dans l'eau.

2.2 Comparaison inter sites de la maturation des gonades male

Stade 3B ; El Marsa follicules sexuels bien formé en plein développement. Disposition des spermatogonies, spermatocytes et spermatides de périphérie vers le centre. Maturité morphologique. Spermatozoïdes abondants au centre des follicules, groupés sous forme des colonnes.

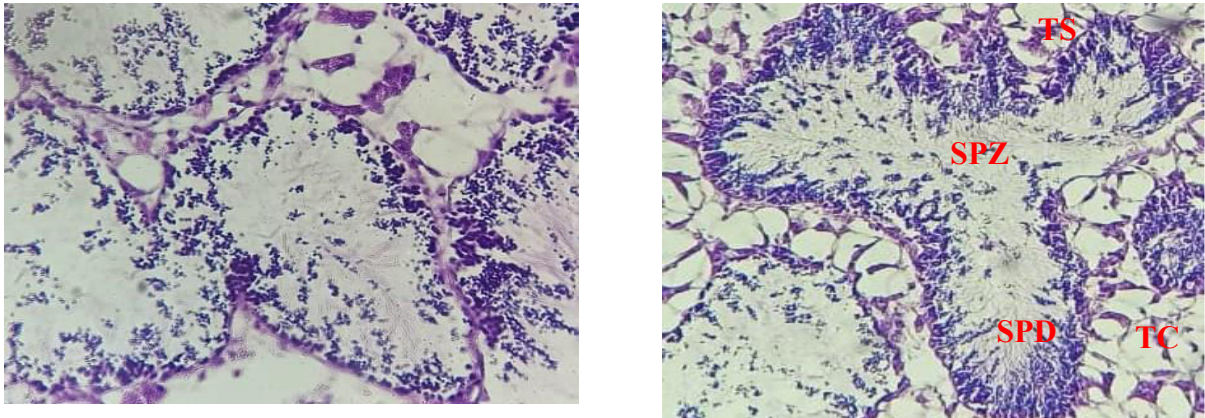


Figure 18: Coupe de gonade masculine de la moule M. galloprovincialis, pêché a El Marsa au Stade 3B de la gamétogénèse.

(SPZ ; Spermatozoïdes / TC ; tissu conjonctif / TS ; tube séminifère / SPD ; spermatides)
Stade 3A ; Port de Collo on observe les follécules spermatiques en spermatogénèse la ligne germinale apparait dans les follicules avec de l'extérieur vers l'intérieur ; spermatogonies, spermatocytes, spermatides et spermatozoïdes.

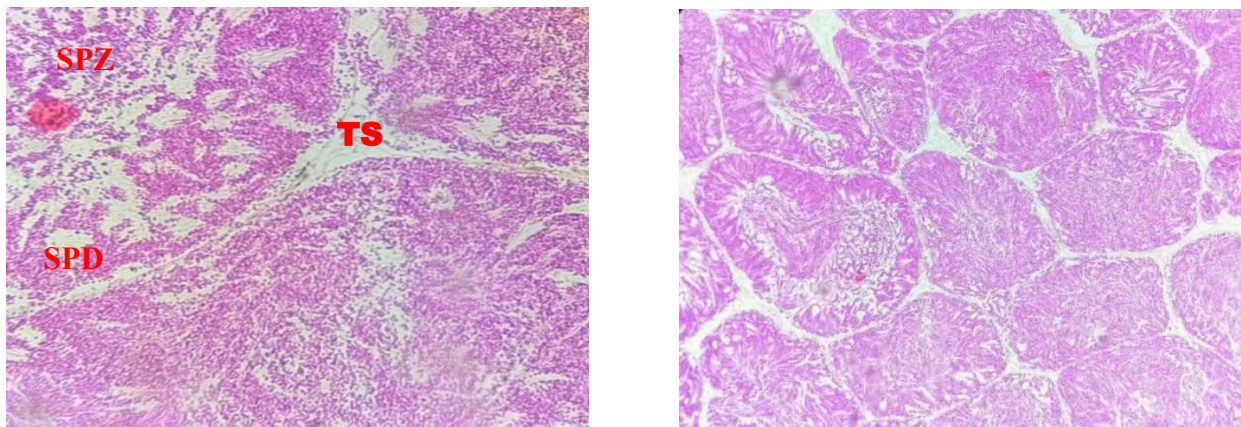


Figure 19: Coupe de gonade masculine de la moule M. galloprovincialis, pêché au port de Collo au Stade 3A de la gamétogénèse.

(SPZ ; Spermatozoïdes / TS ; tube séminifère / SPD ; spermatides)

Résultats et Discussion

Stade 3C. Emission gamétique : A ce stade, les acini sont partiellement ou totalement vidés de leur contenu. Parfois, il ya présence d'ovocytes ou de spermatozoïdes résiduels mesuré sont un diamètre de 122um. Les acini ont un aspect déchiré et seront résorbés par l'organisme. Le tissu gonadique sera envahi par à nouveau par le tissu conjonctif

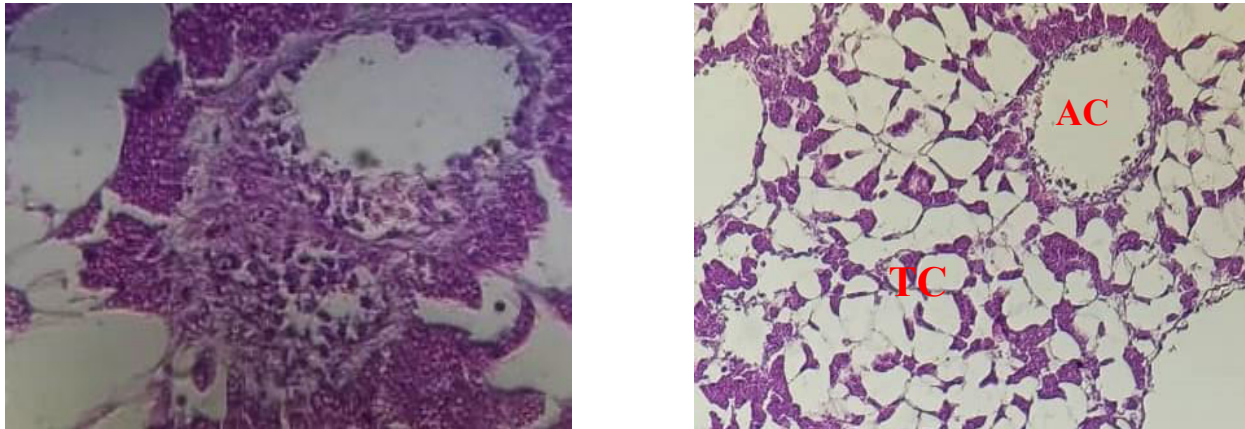


Figure 20: Coupe de gonade masculine de la moule M. galloprovincialis, pêché à Tamarar au Stade 3C de la gamétogénèse.

(TC ; tissu conjonctif/AC ; aspect déchiré)

2.3 Comparaison inter sites de la maturation des gonades femelles

Stade 3C. Femelle (El Marsa) Emission gamétique : A ce stade, les acini sont partiellement ou totalement vidés de leur contenu. Parfois, il ya présence d'ovocytes résiduels mesuré. Les acini ont un aspect déchiré et seront résorbés par l'organisme. Le tissu gonadique sera envahi à nouveau par le tissu conjonctif.

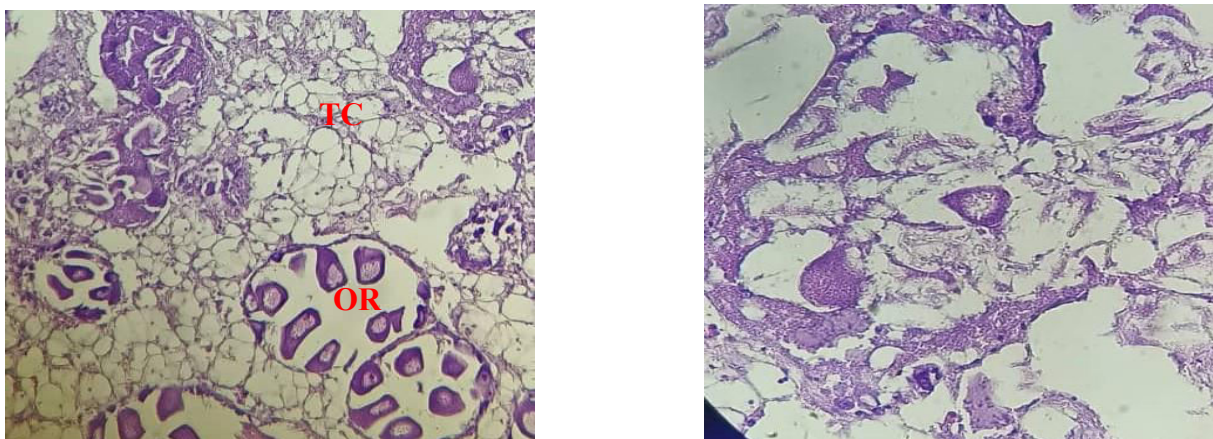


Figure 21: Coupe de gonade féminine de la moule M. galloprovincialis pêché a El Marsa au Stade 3C de la gamétogénèse.

(TC ; tissu conjonctif/ OR ; ovocytes résiduels)

Résultats et Discussion

Stade 3A vers 3B. (Maturation) (Tamanart) : Chez les femelles on observe sur la paroi des acini, des ovocytes pédonculés en cours de détachement et des ovocytes matures qui acquièrent une forme polygonale du fait de leur entassement à la lumière des tubules gonadiques. Le tissu conjonctif est rétréci en faveur des follicules en développement qui présentent en leur lumière des ovocytes matures.

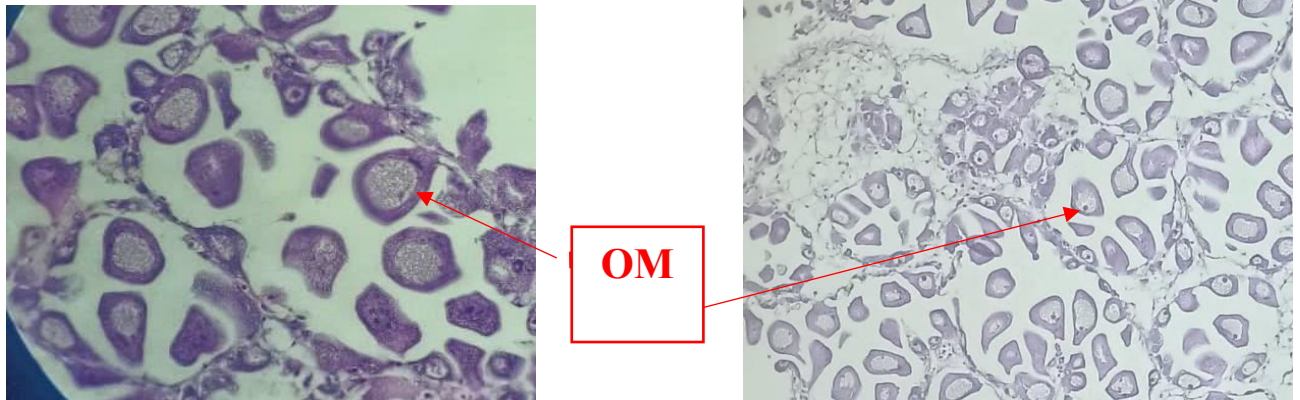


Figure 22: Coupe de gonade féminine de la moule *M. galloprovincialis*, pêché à Tamanar au Stade 3A vers 3B de la gamétogénèse

. (OM ; ovocytes matures)

Stade 3A. (Le port) Maturité morphologique. Ovocytes bien développés, pressés dans la lumière des follicules, forme polygonale. Maturité des follicules qui présentent une forme polygonale (pression).

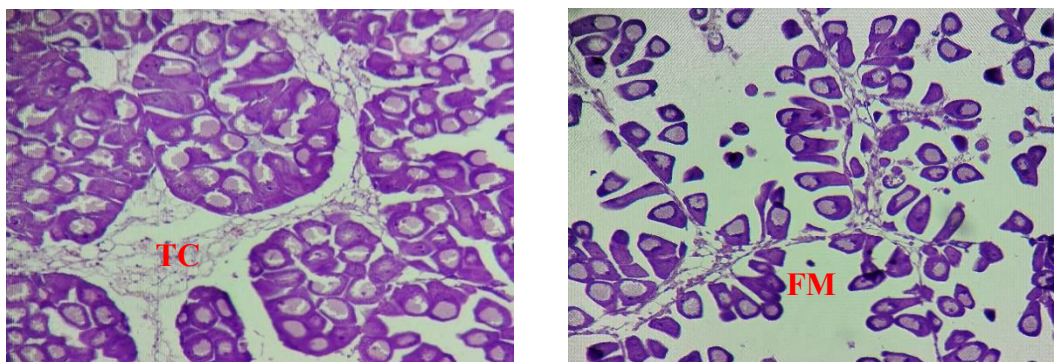


Figure 23: Coupe de gonade féminine de la moule *M. galloprovincialis*, pêché au port de Collo au Stade 3A de la gamétogénèse.

(TC ; tissu conjonctif / FM ; follicules mature)

3. Dosage des métabolites

Les teneurs en glucides, lipides et protéines ont été déterminées dans les gonades mâles et femelles de la moule *Mytilus galloprovincialis* pêchés dans les trois sites du golfe de Skikda

La quantification de ces métabolites a été effectuée à partir d'une courbe de référence correspondant à chaque métabolite.

L'étude des variations de ces taux au niveau des trois sites est déterminée par l'analyse de la variance à un seul critère de classification suivi du test de Tukey.

3.1 Variation des taux de lipides

La **figure (24 ; 25)** représente les variations des taux des lipides totaux ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de tissu) au niveau des gonades males de *M. galloprovincialis* pêché dans trois sites du golfe de skikda. El Marsa, Tamanart et Le porte de Collo pendant le mois d'avril. On enregistre des valeurs maximales au port de Collo et les valeurs minimales sont enregistrées au site du Tamanart.

L'analyse de la variance à un critère de classification révèle un effet site et un effet sexe très hautement significative ($P \leq 0,001$).

La comparaison multiple des moyennes entre les sites et pour le même sexe révèle une différence hautement significative ($P \leq 0,001$) entre Tamanart et le port et une différence très significative ($P \leq 0,01$) entre Tamanart et El Marsa.

Les gonades femelles **les figure(25)** présentent des concentrations lipidiques significativement plus élevées que les mâles dans l'ensemble des sites. Les valeurs maximales sont enregistrées au port de Collo et les valeurs minimales sont enregistrées au site d'El Marsa.

La comparaison multiple entre sites et pour le même sexe révèle une différence significative entre Tamanart et le port et une différence très significative ($P \leq 0,01$) entre Tamanart et El Marsa.

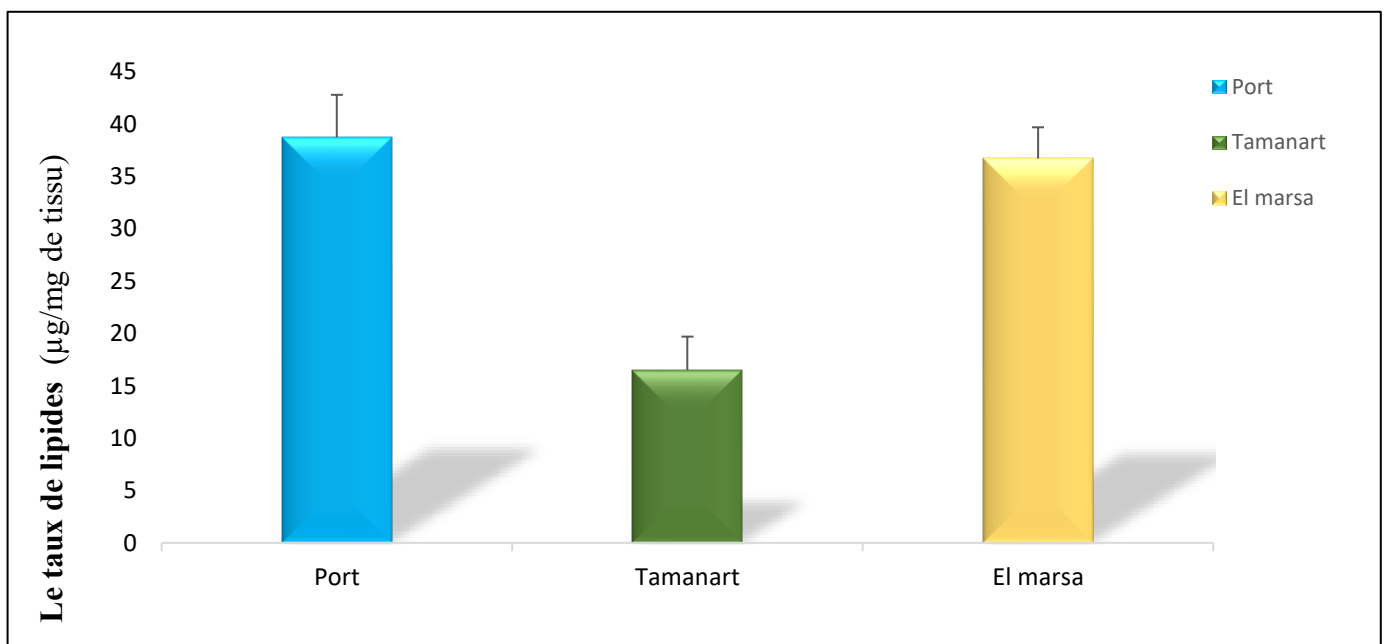


Figure 24: variation intra sites du taux de lipides ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de tissu) au niveau des gonades mâles de *M. galloprovincialis* pêché dans trois sites du golfe de Skikda (El Marsa, Tamanart et Le Port de Collo).

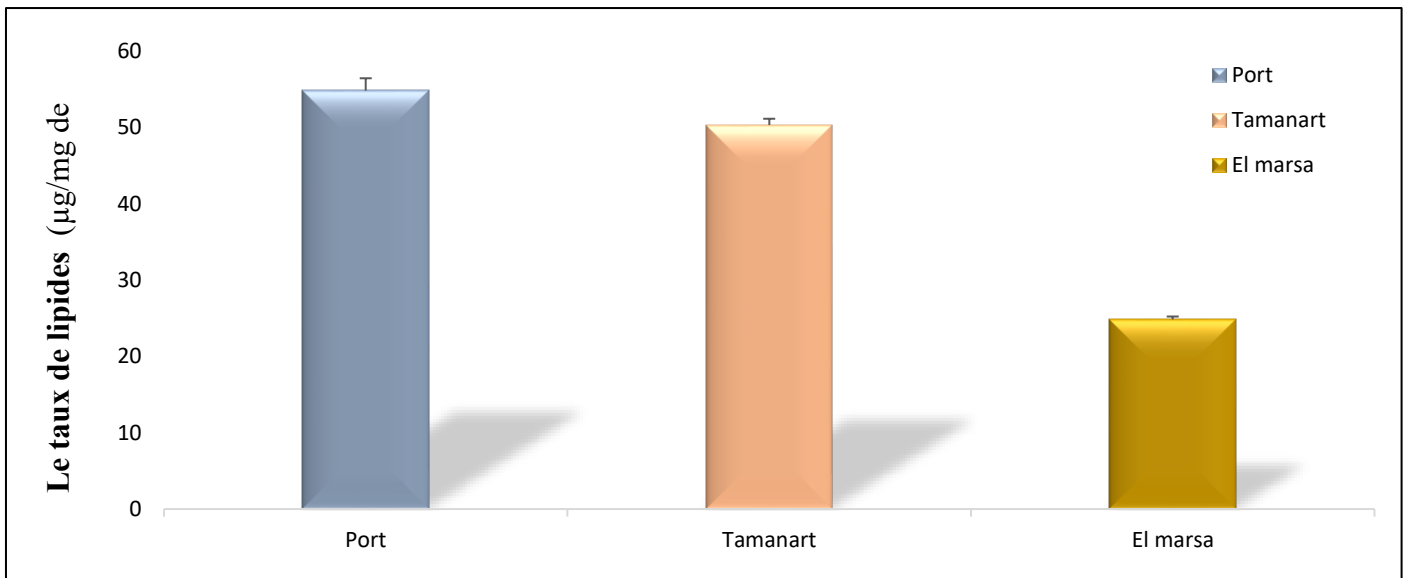


Figure 25: variation intra sites du taux de lipides ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de tissu) au niveau des gonades femelles de *M. galloprovincialis* pêché dans trois sites du golfe de Skikda (El Marsa, Tamanart et Le Port de Collo)

3.2 Variation des taux de protéines

La figure (26 ; 27) illustre les variations des taux des protéines totales ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de tissu) au niveau des gonades males de *M. galloprovincialis* pêché dans trois sites du golfe de Skikda ; El Marsa, Tamanart et Le porte de Collo pendant le mois d'avril. On enregistre des valeurs maximales à El Marsa et les valeurs minimales sont enregistrées au site du Tamanart.

L'analyse de la variance à un critère de classification révèle un effet site et un effet sexe très hautement significatif ($P \leq 0,001$).

La comparaison multiple entre les sites et pour le même sexe révèle une différence hautement significative ($P \leq 0,001$) entre Tamanart et le port et une différence très significative ($P \leq 0,01$) entre Tamanart et El Marsa.

Les gonades femelles présentent des concentrations lipidiques significativement plus élevées que les mâles dans l'ensemble des sites. Les valeurs maximales sont enregistrées au port de Collo et les valeurs minimales sont enregistrées au site d'El Marsa.

Résultats et Discussion

La comparaison multiple entre les sites et pour le même sexe révèle une différence non significative entre Tamanart et le port et une différence très significative ($P \leq 0,01$) entre Tamanart et El Marsa.

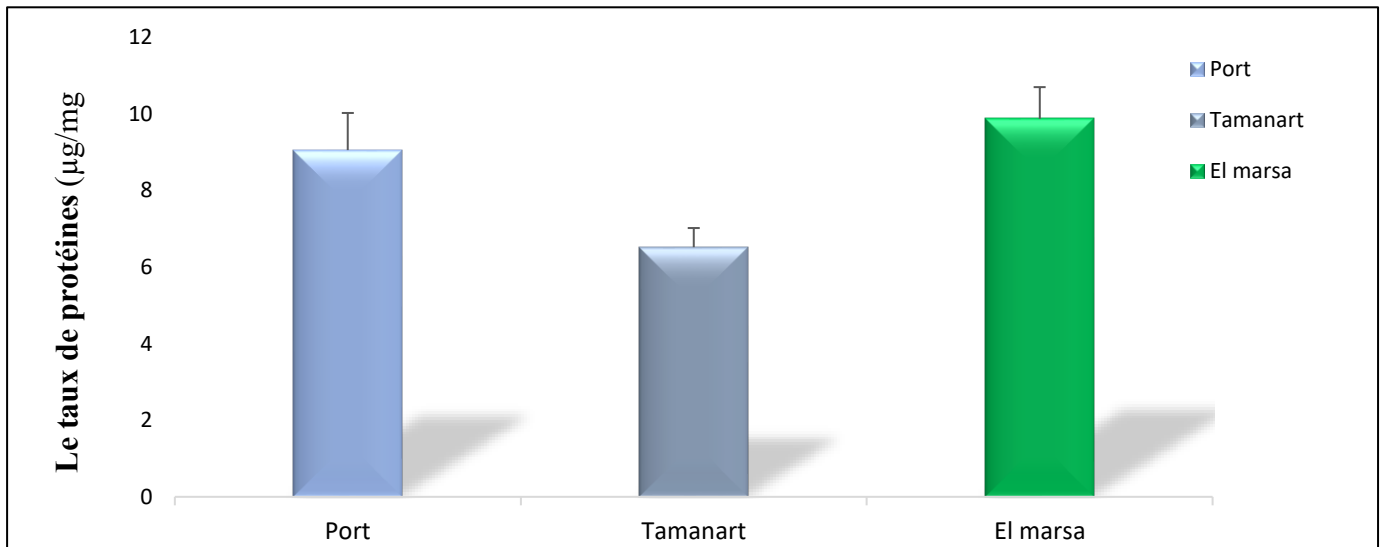


Figure 26: Variation intra sites du taux de protéines (µg/mg de tissu) au niveau des gonades males de *M. galloprovincialis* pêché dans trois sites du golfe de Skikda (El Marsa, Tamanart et Le Port de Collo)

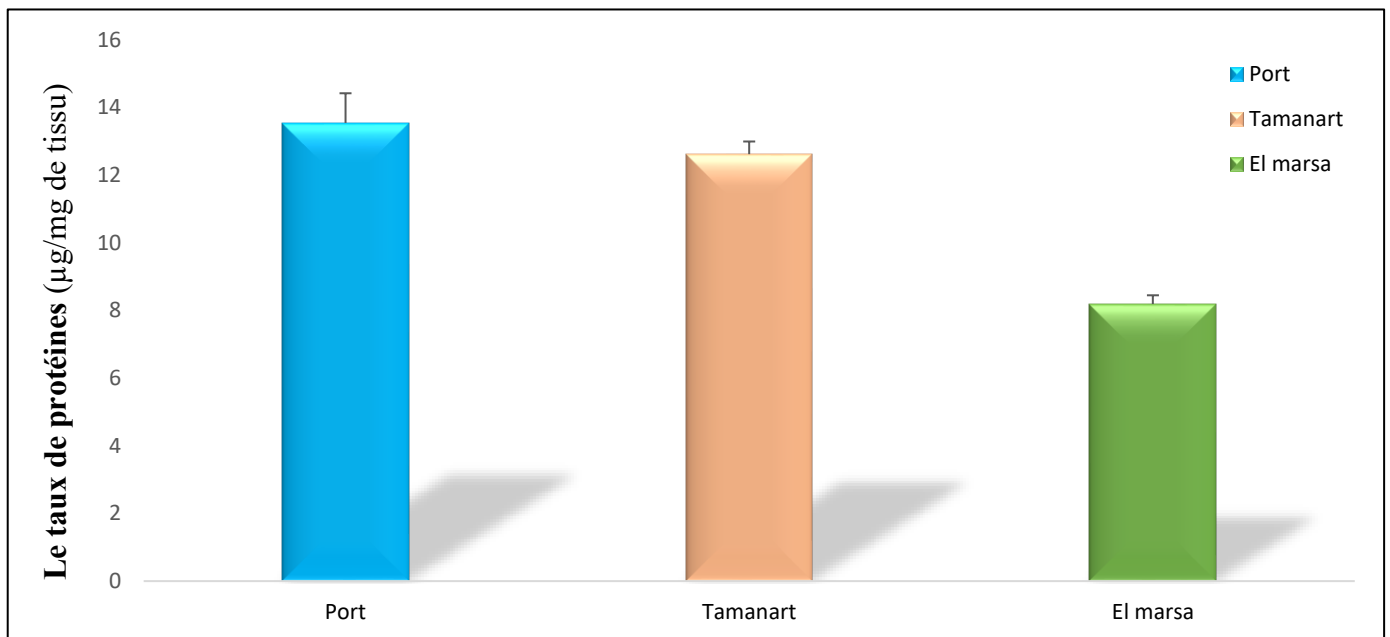


Figure 27: variation intra sites du taux de protéines (µg/mg de tissu) au niveau des gonades femelles d *M. galloprovincialis* pêché dans trois sites du golfe de Skikda (El Marsa, Tamanart et Le Port de Collo).

Résultats et Discussion

3.3 Variation des taux de glucides

La **figure (28 ; 29)** illustre les variations des taux des glucides totaux ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de tissu) au niveau des gonades males de *M. galloprovincialis* pêché dans trois sites du golfe de Skikda. El marsa, Tamanart et Le porte de Collo pendant le mois d'avril. On enregistre des valeurs maximales chez les individus d'El Marsa, les valeurs minimales sont enregistrées au port de Collo au niveau des gonades males, tandis que au niveau des gonades femelles les taux les plus élevés sont enregistrés à tamanart et les plus faibles au port de Collo.

L'analyse de la variance a un critère de classification révèle un effet site et un effet sexe très hautement significative ($P \leq 0,001$).

La comparaison multiple entre les sites et pour le même sexe révèle une différence non significative entre Tamanart et El Marsa et une différence très significative ($P \leq 0,01$) entre Tamanart et le port.

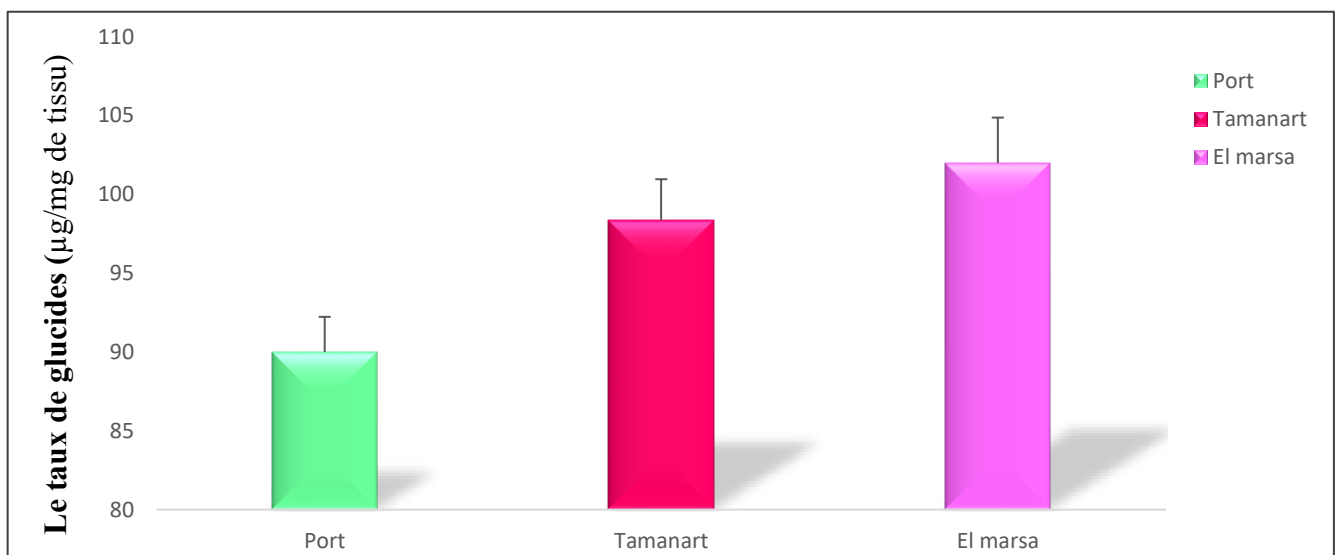


Figure 28: variation intra sites du taux de glucides ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de tissu) au niveau des gonades males de *M. galloprovincialis* pêché dans trois sites du golfe de Skikda (El Marsa, Tamanart et Le Port de Collo).

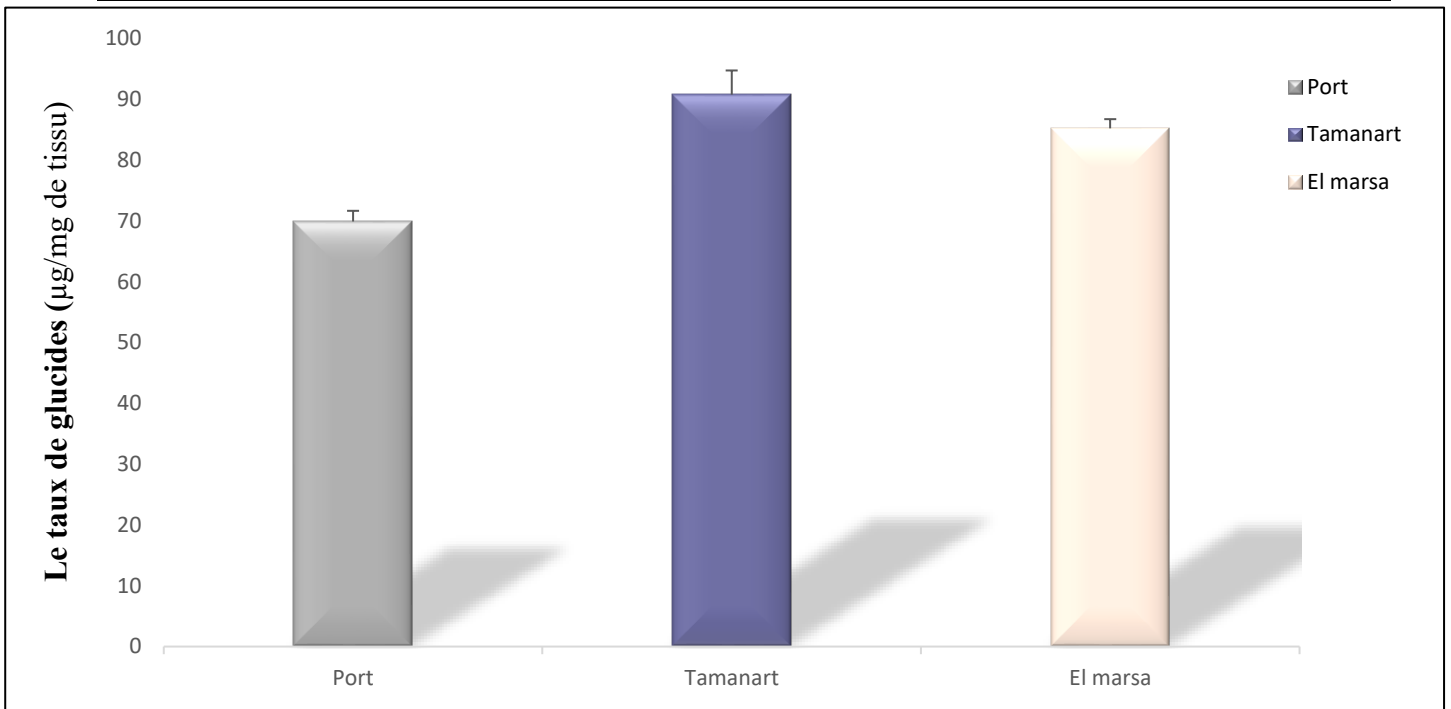


Figure 29: variation intra sites du taux de glucides ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de tissu) au niveau des gonades femelles de *M. galloprovincialis* pêché dans trois sites du golfe de Skikda (El Marsa, Tamanart et Le Port de Collo).

4. Discussion

Le cycle de reproduction des mollusques bivalves est régulé par l'action de plusieurs facteurs environnementaux naturels (ex. température, disponibilité alimentaire) et d'un ensemble de facteurs endogènes (ex. balance des hormones stéroïdiennes, métabolisme) (Mouncyrac et al., 2008). Cependant l'exposition aux polluants chimiques peut également interférer en induisant des modifications des paramètres de la reproduction (ex. avancement ou retard de la ponte) comme cela a été montré chez *Mya arenarea* (Siah et al., 2003). La pollution par les métaux lourds peut perturber cette séquence, notamment en bloquant la vitellogenèse, en altérant la méiose ou en retardant la maturation, compromettant ainsi le succès reproducteur.

L'objectif de cette étude est d'examiner les éventuelles perturbations des paramètres de la reproduction (maturation des gonades et paramètres du métabolisme énergétique) chez un bioindicateur de la pollution marine la moule *Mytilus galloprovincialis* par l'analyse comparative des concentrations des différents métaux dans l'eau de Mer (Cd, Pd, Cu et Zn) au niveau de trois sites différents par leur degré de contamination dans le golfe de Skikda

4.1. Variation des concentrations en métaux lourds

Les résultats obtenus au cours de cette étude mettent en évidence une variation marquée des niveaux de contamination métallique (plomb, cadmium, cuivre et zinc) dans l'eau de mer de trois stations du golfe de Skikda selon un gradient décroissant : **Port de Collo > El Marsa > Tamanart**

Le site du port de Collo présente les concentrations les plus élevées, avec des teneurs en métaux lourds allant de 5 à 7 fois supérieures à celles observées dans le site de Tamanart considéré comme une station de référence.

Ces niveaux de contamination élevés au port sont très probablement liés aux rejets urbains et industriels, à l'intensité de l'activité portuaire, au trafic maritime et aux opérations de dragage – autant de sources bien identifiées dans la littérature comme responsables de la pollution marine.

Cette distribution spatiale des métaux lourds est comparable à celle observée dans le site de sidi salem au niveau du golfe d'annaba (Amira et al., 2006) et la baie de Nador (Maroc) par (Cheggour et al. 2005), où *Mytilus galloprovincialis* a été utilisé comme bioindicateur. Ils ont également constaté une accumulation significative de plomb et de cadmium dans les moules prélevées dans des zones portuaires, avec un gradient de

Résultats et Discussion

pollution clair entre zones urbaines et zones peu anthropisées. Cela confirme que le port de Collo s'inscrit dans la même dynamique de « point chaud » de pollution. Le site d'El marsa affiche des seuils non négligeables par rapport à celles relevées en méditerranée et rapportées par plusieurs auteurs en référence aux valeurs guides algériennes (MDRTE). Ces niveaux de contamination relativement élevés seraient, par ailleurs, favorisés par l'hydrodynamisme et la courantologie propres à certaines zones (port de Skikda, Port de Collo).

Les mollusques bivalves sont d'excellents capteurs des polluants métalliques ces derniers se concentrent sur les organes d'assimilation (équivalents foie, reins et gonades), qui sont précisément ce que l'homme mange. Ils accumulent surtout le cadmium et dans une moindre mesure le plomb, mais peu le mercure (Paez-Osuna, 1995).

4. 2. Etude histologique

L'examen microscopique des gonades mâles et femelles révèle une période d'émission gamétique (Stade 3B) qui coïncide avec le mois d'Avril au niveau de Tamanart et El marsa ce qui est en accord avec les travaux de (Tlili et al. 2011) en Tunisie, il existe de légère différence dans la répartition des différents stades gamétogénique dans les trois sites avec un retard d'un mois au niveau du site du port de Collo. Ces variations des périodes d'émissions gamétiques pourraient être dues aux conditions environnementales qui agissent de façon certaine sur le temps et la durée de la ponte (Gagné et al., 2001) ainsi le facteur pollution peut influencer le développement gonadique de *M. galloprovincialis*. (Idhalla 1997) a montré que, dans la baie d'Agadir, le cycle de reproduction des moules, situées dans une zone polluée, connaît un déphasage des activités génitales par rapport à celles situées dans une station de référence.

La composition biochimique des mollusques bivalves fournit une indication certaine sur les conditions nutritionnelles de la population et sert également à évaluer la réponse de ces organismes aux conditions environnementales. Il existe des variations notables dans les proportions des différents constituants biochimiques pour une même espèce provenant de localité différente. Ces fluctuations sont dues aux capacités nutritives des eaux. En effet, des moules issues d'un site propre des embouchures des oueds qui permet un enrichissement continu du milieu en élément nutritifs, permet à ces espèces de répondre à la grande demande d'énergie lors de la croissance et de la reproduction (Bayed, 1991).

4. 3. Variation des taux de métabolites

L'étude de la composition biochimique des gonades de *M. galloprovincialis* dans le golfe de Skikda révèle des teneurs en métabolites (glucides, lipides et protéines) variant en fonction du site et du sexe, et montre que les individus du port de Collo sont plus riches en lipides et en protéines, cela indique que les gonades sont chargées en lipides et en protéines durant les périodes de pré ponte. Ces résultats confirment l'importance des lipides contenus dans les gamètes en tant que source d'énergie nécessaire à la survie des naissains pendant leurs premiers stades (Deslous- Paoli et al., 1982). De plus l'analyse histologique montre que les gonades des individus du port de Collo ont des parois folliculaires plus épaisses et sont plus riches en adipocytes comparativement à celle de Tamanart et El Marsa. Ces différences histologiques expliqueraient l'augmentation des taux de lipides chez les individus du port de Collo. En effet une exposition à des contaminants ralentit le développement des gamètes (Lowe et al., 1982; Pipe, 1985), ce qui explique la maturation plus longue des gamètes chez les individus du port de Collo, elle est sans doute le résultat des conditions environnementales que connaît le site précité, notamment en raison de la pollution et de la température.

Les femelles d'El Marsa et les males de Tamanart semblent affichés des taux les plus faibles en lipides et protéines qui coïncident avec la période d'émission gamétique, des résultats similaires ont été reportés par (Hamdani, 2013) chez *Donax trunculus* au niveau du golfe d'Annaba.

La diminution des taux de glucides au port de Collo traduit l'effet de la pollution. En outre, les travaux de (Tlili et al.2011) au niveau des gonades de *D. trunculus* et (Gautier-Clerc et al.2002) dans les gonades de *Mya arenaria* indiquent que le Cd provoque une diminution du taux de glycogène. Des résultats similaires ont nos résultats eu été aussi observés chez d'autres bivalves comme *Indonax cearufus* (May et al., 1986) et *Mya arenaria* (Gagne et al., 2009).

Les modifications des taux de métabolites entre le différent site ont été aussi interprétées de façon très intéressante. En effet, (Hamealread et al. 1990) décrivent qu'une forte exposition au cadmium provoque une réduction des réserves glucidiques, des niveaux d'ATP intracellulaires et perturbe les fonctions mitochondriales chez d'autres espèces de bivalves tel que *Elephantio complanata* et *Ruditapes decussatus*.

Concernant l'effet sexe, on a observé que les femelles accumulent plus de réserves métaboliques et métabolisent plus d'énergie que les males lors du processus de la

Résultats et Discussion

reproduction ceci est en accord avec les travaux de (Beninger et al. 2003) chez d'autre espèce de bivalves. Ainsi les males produisent de petits spermatozoïdes avec un peu de réserve énergétiques comparativement aux femelles qui produisent plus de vitellus pour le développement des ovocytes.

Conclusion Et Perspectives

5. Conclusion et perspectives

Le littoral Algérien, notamment la région du golfe de Skikda, est soumise à des pressions croissantes liées aux activités anthropiques, entraînant une contamination significative des écosystèmes marins, notamment par les éléments traces métalliques (Cd, Pb, Cu, Zn).

L'objectif de cette étude est d'examiner les éventuelles perturbations des paramètres de la reproduction (maturation des gonades, et paramètres du métabolisme énergétique) chez un bioindicateur de la pollution marine la moule *Mytilus galloprovincialis* par l'analyse comparative des concentrations de quelques métaux lourds dans l'eau de Mer (Cd, Pd, Cu et Zn) au niveau de trois sites différents par leur degré de contamination dans le golfe de Skikda (Tamanart, El Marsa et le port de Collo).

Les résultats révèlent des niveaux de pollution plus élevés par le Cadmium et le Plomb au port de Collo, accompagnés par des perturbations physiologiques significatives chez les moules.

L'étude portant sur 3 sites différents, il a été démontré que le développement gonadique varie d'un site à l'autre, cette variabilité inter-sites étant certainement le résultat de stress locaux subit par les moules, les perturbations les plus marquées sont enregistrées chez les individus du port de Collo avec un décalage chronique de la ponte.

Le métabolisme énergétique (contenu en protéines, glucides et lipides) montre un effet site et un effet sexe ou les taux les plus élevés sont enregistrés au période de pré-ponte ce qui correspond à l'accumulation des réserves pendant la période de reproduction. Alors qu'une diminution des réserves métaboliques est enregistrée en période d'émission des gamètes, avec réduction des taux de ces trois constituants.

Concernant l'effet sexe, on a observé que les femelles accumulent plus de réserves métaboliques et métabolisent plus d'énergie que les males lors du processus de la reproduction.

Les résultats obtenus soulignent l'urgence de mettre en place des mesures de gestion environnementale et de surveillance continue au niveau du golfe de Skikda, en particulier dans les zones fortement anthropisées comme le port de Collo. Une telle démarche permettrait d'assurer la conservation des écosystèmes marins, tout en garantissant la sécurité sanitaire des ressources halieutiques exploitées par les populations locales.

Les résultats préliminaires obtenus dans le cadre de cette étude ouvrent certaines perspectives d'étude qu'il serait judicieux d'entreprendre :

- Poursuivre cette étude sur plusieurs cycles afin de réunir le maximum d'information sur les niveaux de contamination par les ETM des sédiments et des organismes vivants (moule et autres bivalves benthiques «*Donax trunculus*» ; végétaux «*Posidonie*»).
- D'approfondir l'étude des différents métabolites afin de mieux cerner les effets des polluants sur les organes, particulièrement les gonades pendant la période de reproduction.
- Etudier l'effet de la toxicité de certains métaux essentiels sur la reproduction des bivalves.
- Associer les études sur le dosage des métaux lourds dans des organismes vivants à ceux des biomarqueurs (métallothionéine, acétylcholinestérase, peroxydation lipidique)

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

Abele, D., & Pantarulo, F. (2004). Oxidative stress and signal transduction in marine invertebrates. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 138(4), 441–450.

Allam, B., & Paillard, C. (1998). Defense factors in clam extrapallial fluids. *Diseases of Aquatic Organisms*, 33(2), 123–128.

Amira, S., Benali, K., & Djemel, N. (2006). Évaluation de la contamination métallique dans le golfe d'Annaba à partir de *Mytilus galloprovincialis*. *Revue des Sciences de l'Environnement*, 11(2), 95–104.

B

Bachelot, M. (2010). *Effets biologiques des contaminants émergents chez les poissons estuariens*. Université Bordeaux.

Barhoumi, S. (2014). Étude de l'accumulation de métaux lourds chez les bivalves (Mémoire de mastère, Université de Tunis El Manar, Tunis, Tunisie). Université de Tunis El Manar.

Bayed, A. (1991). Cycle biologique et biochimie de *Mytilus galloprovincialis* dans les embouchures des oueds marocains. *Travaux de l'Institut Scientifique, Rabat, Série Zoologie*, 36, 35–47.

Beaumont, A., & Cassier, P. (2004). *Biologie des mollusques bivalves*. CNRS Éditions.

Beninger, P. G., Le Pennec, M., & Donval, A. (2003). Reproductive energetics in bivalves: Differences between males and females in metabolic investment. *Invertebrate Reproduction and Development*, 44(1), 25–32.

Bierne, N., Bonhomme, F., & David, P. (2003). Habitat preference and the marine-speciation paradox. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1522), 1399–1406.

Bouchard, B. (2004). Nutrition et écologie des bivalves (Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, Canada). Université Laval.

Références bibliographiques

Boudouresque, C.-F. (1996). Impact des activités humaines sur la biodiversité marine en Méditerranée. *Oceanologica Acta*, 19(5), 573–586.

Boukadida, H. (2017). *Cycle de reproduction chez Mytilus galloprovincialis*. Thèse, Université de Tunis.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248–254.

C

Cahen, D. (2006). *Physiologie comparée des invertébrés marins*. Presses universitaires de Bruxelles.

Canesi, L., Gallo, G., Gavioli, M., & Pruzzo, C. (2002). Molluscan immunology: Cellular and humoral components. *Fish & Shellfish Immunology*, 13(2), 117–132.

Cheggour, M., Chafik, A., Fisher, N. S., & Benbrahim, S. (2005). Metal concentrations in *Mytilus galloprovincialis* from the Moroccan Mediterranean coast: Impact of harbor activities. *Marine Pollution Bulletin*, 50(4), 426–434.

Cheng, T. C. (1996). Hemocytes: Forms and functions. *Invertebrate Blood Cells, Vol. 1*.

Chu, F.-L. E. (2000). Defense mechanisms in marine bivalves. *Aquatic Toxicology*, 46(2), 139–163.

Coustau, C., et al. (1991). Molecular characterization of mussel hybrids. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 151(2), 193–207.

D

Deslous-Paoli, J. M., Héral, M., & Garnier, J. (1982). Composition biochimique des gonades de *Mytilus edulis* en fonction du cycle de reproduction. *Journal de Conchyliologie*, 119(3), 215–222.

Devauchelles, R. (2002). *Effets biologiques de la pollution chimique en milieu marin*. Éditions IFREMER.

Di Leonardo, R., et al. (2009). Trace metal contamination in marine coastal sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 58(10), 1438–1445.

Références bibliographiques

Duchateau, G., & Florin, M. (1959). Dosage des glucides par la méthode à l'antrone. *Biochimica et Biophysica Acta*, 34(2), 281–282.

Durrieu de Madron, X., et al. (2011). Marine ecosystems' responses to pollution and climate change. *Scientific Reports*, 1(5), 57–72.

F

Fisher, W. S. (1986 & 1988). Structure and function of hemocytes in bivalves. *American Zoologist*, 26(1), 195–208.

G

Gagnaire, B. (2005). *Rôle du manteau chez les mollusques bivalves*. Université de Montpellier II.

Gagné, F., Blaise, C., Pellerin, J., & Fournier, M. (2001). Biomarkers in mussels from the St. Lawrence River: A biological effect assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 50(1), 92–105.

Gagné, F., Martel, L., Blaise, C., & De Lafontaine, Y. (2009). Genotoxic potential of cadmium in hemocytes and gonad cells of freshwater mussels. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(2), 500–506.

Galloway, T. S., & Depledge, M. H. (2001). Biomarkers in environmental and human health risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 42(3), 231–239.

Gautier-Clerc, M., Pellerin, J., Amiard, J.-C., & Bérard, B. (2002). Effects of cadmium on glycogen metabolism in gonads of *Mya arenaria*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 132(3), 391–399.

Ginet, R., & Roux, M. (1989). *Biologie marine : organismes et milieux*. Dunod.

Goldberg, E. D. (1986). The mussel watch concept. *Environmental Monitoring and Assessment*, 7(1), 91–103.

Goldsworthy, S., Conway, E. J., & Robinson, D. S. (1972). Dosage colorimétrique des lipides par la méthode au sulfate-phosphovanillique. *Journal of Lipid Research*, 13(2), 234–236.

Gosling, E. (1992)/ (2008). *The Mussel Mytilus: Ecology, Physiology, Genetics and Culture*. Elsevier.

Grasse, P. P., & Doumenc, D. (1998). *Traité de Zoologie*. Masson.

Références bibliographiques

Grimes, S., Belkacem, A., & Bouderbala, M. (2004). Biodiversité marine et écosystèmes côtiers en Algérie. *Revue de l'IFREMER*, 39(1), 45–52.

H

Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (1999). *Free radicals in biology and medicine* (3rd ed.). Oxford University Press.

Hamdani, A. (2013). *Étude des variations biochimiques et histologiques de Donax trunculus dans le golfe d'Annaba*. Mémoire de Magistère, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.

Hamelread, D. A., Mouneyrac, C., & Amiard, J. C. (1990). Cadmium-induced mitochondrial alterations and glycogen metabolism disturbances in bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 143(1), 135–147.

Haouchine, F., Toumi, H., & Bensouiah, R. (2016). Pollution et pression anthropique sur le littoral algérien. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 334–345.

Harrison, R. G. (1990). Hybrid zones: Windows on evolutionary process. *Oxford Surveys in Evolutionary Biology*, 7, 69–128.

Hilbish, T. J., Carson, E. W., Plante, J. R., Weaver, L. A., & Gilg, M. R. (2012). Historical introgression and the divergence of *Mytilus* species. *Evolutionary Applications*, 5(7), 697–712.

Huang, D. J., Zhang, Y. H., Song, Y. F., Zhang, L., & Wang, J. (2007). Metals and oxidative stress in aquatic organisms. *Environmental Science & Technology*, 41(8), 2954–2960.

I

Idhalla, M. (1997). *Étude du cycle de reproduction de la moule Mytilus galloprovincialis dans la baie d'Agadir*. Mémoire de fin d'études, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc.

Islam, M. S., & Tanaka, M. (2004). Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems. *Ocean & Coastal Management*, 48(9–10), 701–731.

J

Jakanovic, J. (2001). Biochemical toxicology of industrial metals. *Toxicology Letters*, 123(2–3), 107–116.

Jurd, R. D. (2000). *Anatomy and physiology of invertebrates*. Routledge.

K

Kammenga, J. E., Commandeur, L. C. M., & Riksen, J. A. G. (2000). Biomarker responses in field conditions: Examples from terrestrial invertebrates and plants. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19(3), 820–825.

Khelifi, A., Benslama, M., & Bouderbala, M. (2008). Analyse environnementale des plages du littoral est algérien. *Revue des Sciences de l'Environnement*, 9(2), 105–114.

L

Lagadic, L., Caquet, T., Amiard, J.-C., & Ramade, F. (1997). Biomarqueurs en écotoxicologie expérimentale et appliquée. *Annales de Limnologie*, 33(4), 197–206.

Lam, P. K. S., & Gray, J. S. (2003). The use of biomarkers in environmental monitoring programs. *Marine Pollution Bulletin*, 46(2), 182–186.

Linnaeus, C. (1758). *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis* (10^e éd., Vol. 1). Holmiae: Laurentii Salvii.

Lowe, D. M., & Pipe, R. K. (1982). Cellular and histological effects of pollution on molluscs. *Marine Environmental Research*, 6, 123–140.

Lubet, P. (1959). Recherches sur le cycle sexuel des mollusques lamellibranches. *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale*, 96, 1–183.

M

Maatallah, R., Cheggour, M., Louadi, K., & Djebbar, B. (2014). Les gastéropodes Patellidae et leur utilisation dans l'évaluation de la pollution du littoral de Skikda (Nord-Est de l'Algérie). *Revue CAMES*, 2, 15–29.

Maceda-Veiga, A., Monroy, M., & de Sostoa, A. (2012). Ecological status of Mediterranean rivers in relation to water chemistry and habitat. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(4), 1945–1958.

Martin, A. W., Harrison, F. M., Huston, M. J., Stewart, D. M., & Wright, D. A. (1970). Composition of molluscan hemolymph. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 32(3), 881–891.

Références bibliographiques

- May, J. M., Jones, D. R., & Lee, H. T. (1986). Carbohydrate metabolism changes in *Indonaiia caeruleus* exposed to cadmium. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 37(4), 601–606.
- McCarthy, J. F., & Shugart, L. R. (1990). *Biomarkers of environmental contamination*. Lewis Publishers.
- McDonald, J. H., Seed, R., & Koehn, R. K. (1991). Allozyme and morphometric characters of three species of *Mytilus* in the Northern and Southern Hemispheres. *Marine Biology*, 109(3), 323–328.
- Molven, A., & Goksoyr, A. (1993). Biological effects and biomonitoring of organochlorines and polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment. In M. Richardson (Ed.), *Ecotoxicology monitoring* (pp. 137–162). VCH Verlagsgesellschaft mbH/VCH Publishers.
- Morton, B. (1973). The biology and functional morphology of *Latermula truncata* (Lamarck 1818) (Bivalvia: Anomalodesmata: Pandoracea). *Biological Bulletin*, 145(3), 509–531.
- Mosbahi, N., Boudabous, A., & Sadok, S. (2021). Port de COLLO : étude de la pollution et des bioindicateurs. *Revue de l'Environnement Marin*, 15(1), 23–34.
- Mouncyrac, B., Amiard, J. C., & Romeo, M. (2008). Effets des polluants sur la reproduction des mollusques bivalves. *Revue d'Écotoxicologie Aquatique*, 20(2), 125–135.

N

- Naciri, M. (1998). Les Mytilidés du littoral méditerranéen. *Revue d'écologie marine*, 54(2), 199–215.
- Narbonne, J. F., Aarab, N., Clerandau, C., & Daubèze, M. (2005). Les biomarqueurs en écotoxicologie: concepts et exemples. *Techniques de l'Ingénieur*, Réf. J3800.

P

- Paez-Osuna, F. (1995). The environmental impact of shrimp aquaculture: Causes, effects, and mitigating alternatives. *Environmental Management*, 19(1), 31–37.
- Pagliassotti, M. (1994). Fonction digestive des invertébrés marins. *Biologie Cellulaire*, 28(2), 147–153.
- Peakall, D. B. (1994). Biomarkers: The next generation. *Ecotoxicology*, 3(3), 157–160.

Références bibliographiques

Pipe, R. K. (1985). Seasonal variation in the structure of the digestive gland of *Mytilus edulis* in relation to environmental and physiological factors. *Marine Biology*, 86(1), 79–86.

Ramade, F. (1992). *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement*. Ediscience International.

Rocha, R. J. M., Faria, M., & Reis-Henriques, M. A. (2011). Metal accumulation in marine ecosystems: Ecotoxicological perspectives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(4), 853–860.

Rodier, J. (1984). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer* (7e éd.). Dunod.

Rouabhi, R., Bensouilah, M., & Gherbi, O. (2019). Qualité écologique de la plage de Tamanart. *Bulletin des Sciences de l'Environnement*, 10(1), 45–52.

S

Seed, R., & Suchanek, T. H. (1992). Population and community ecology of *Mytilus*. In *The Mussel Mytilus: Ecology, Physiology, Genetics and Culture* (pp. 87–169). Elsevier.

Sepulveda, M. S., Johnson, W. E., & Petty, J. D. (2003). Biochemical indicators in fish exposed to contaminants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 56(1), 45–51.

Shibko, S., Koivistoinen, P., Tratnyek, J., Newhall, C., & Friedman, L. (1966). A method for metabolite extraction from animal tissues. *Analytical Biochemistry*, 15(2), 313–320.

Siah, A., Pellerin, J., Amiard-Triquet, C., & Gagné, F. (2003). Effects of sediment contamination on gametogenesis in *Mya arenaria* from the St. Lawrence Estuary. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22(10), 2226–2233.

Skibinski, D. O. F., Beardmore, J. A., & Cross-, T. F. (1983). Aspects of the population genetics of *Mytilus* (Mytilidae; Mollusca) on the east coast of Ireland. *Marine Biology*, 77(2), 127–133.

T

Tatrai, I., Korponai, J., Pomogyi, P., Paulovits, G., & Mátyás, K. (2002). Oxidative stress in aquatic organisms: Case studies from Lake Balaton. *Water Research*, 36(5), 1185–1192.

Tessier, E., Garnier, J.-M., & Mounier, S. (2011). Trace metals in the Mediterranean coastal environments: Sources, fate, and distribution. *Marine Chemistry*, 125(1–4), 1–8.

Thiboutot, D., Savard, J., & Pellerin, C. (2004). Pollution dans les zones côtières méditerranéennes : impacts sur les écosystèmes. *Environmental Reviews*, 12(2), 55–67.

Références bibliographiques

Tlili, A., Saïdi, H., & Ayadi, H. (2011). Cycle de reproduction et bioaccumulation de métaux lourds chez *Donax trunculus* en Tunisie. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer*, 38, 45–58.

Turgeon, D. D., et al. (1998). common and scientific names of aquatic invertebrates from the United States and Canada: Mollusks (second Ed.). American Fisheries Society Special Publication 26. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society.

V

Valavanidis, A., Vlahogianni, T., Dassenakis, M., & Scoullou, M. (2006). Molecular biomarkers of oxidative stress in aquatic organisms in relation to toxic environmental pollutants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64(2), 178–189.

Vander Oost, R., Beyer, J., & Vermeulen, N. P. E. (2003). Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13(2), 57–149.

Viarengo, A., et al. (1995). Biomarker responses in marine mussels. *Science of the Total Environment*, 171(1–3), 123–137.

W

Waite, J. H., Qin, X. X., & Coyne, K. J. (1998). The peculiar collagens of mussel byssus and their chemical modifications. *Journal of Biological Chemistry*, 273(3), 13633–13636.

Weber, A., Larras, F., & Durrieu, G. (2009). Metal distribution and bioavailability in Mediterranean coastal waters. *Marine Environmental Research*, 67(4–5), 125–132.

Widmeyer, R., & Couper, S. (2003). Stress responses in *Mytilus* spp... *Aquatic Toxicology*, 65(3), 287–298.

Wingfors, H., Svensson, K., & Palm Cousins, A. (2006). Contaminants in sediments from Mediterranean estuaries: A chemical and toxicological screening. *Science of the Total Environment*, 366(2–3), 345–357.