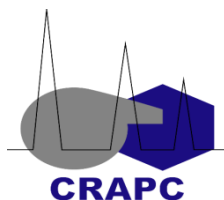


République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des sciences de la nature et de la vie



Département de la biologie

Spécialité biochimie appliquée

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en sciences
biologiques**

Thème

**Évaluation de la contamination mercurielle de quatre
types de poissons commercialisés en Algérie et
estimation du risque lié à l'ingestion**

Présenté par

- Alouk Lyna
- Rahmani Fatima Morouj

Soutenu le 19/06/2022 devant le jury :

Promoteur Dr. KERDOUN Mohamed Amine

Co-promoteur Dr. HENNI Abdallah

Président Dr. BOUAL Zakaria

Examineur Dr. KEDDAR Mohamed Nadir

Maitre-assistant en Toxicologie

Maitre de conférences A

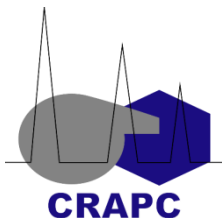
Professeur

Maitre de conférences B

Année universitaire 2021-2022

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des sciences de la nature et de la vie



Département de la biologie

Spécialité biochimie appliquée

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en sciences
biologiques**

Thème

**Évaluation de la contamination mercurielle de quatre
types de poissons commercialisés en Algérie et
estimation du risque lié à l'ingestion**

Présenté par

- Alouk Lyna
- Rahmani Fatima Morouj

Soutenu le 19/06/2022 devant le jury :

Promoteur	Dr. KERDOUN Mohamed Amine	Maitre-assistant en Toxicologie
Co-promoteur	Dr. HENNI Abdallah	Maitre de conférences A
Président	Dr. BOUAL Zakaria	Professeur
Examineur	Dr. KEDDAR Mohamed Nadir	Maitre de conférences B

Année universitaire 2021-2022

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH qui nous a donné le courage et la volonté d'effectuer ce travail du début jusqu'à la fin

A notre encadrant

Docteur KERDOUN Mohamed Amine

«The greatest success we'll know is helping others to succeed and grow up»

D'avoir accepté de nous encadrer dans la conception et l'élaboration de ce mémoire. Vous êtes le professeur qui nous a donné confiance en nous et en l'avenir. Nous avons grandement apprécié votre soutien et votre suivi qui a permis d'acquérir beaucoup d'informations durant la période de ce travail malgré toutes vos occupations. Merci pour tout ce que vous avez fait !

A notre co-encadrant

Docteur HENNI Abdallah

Votre compétence, votre support ont toujours suscité notre profond respect. Nous vous remercions pour votre accueil et vos conseils. Veuillez trouver ici, l'expression de notre gratitude et de notre grande estime.

Aux membres de jurys

Président du Jury :Pr. BOUAL Zakaria

Examineur: Dr. KEDDAR Mohamed Nadir

Messieurs les membres de jury, vous nous faites un grand honneur en acceptant de juger ce travail.

Remerciements

Kelai Elyes et Berkane Omar

Vos efforts ne passent pas inaperçue, merci pour l'aide précieuse qu'ils ont bien voulu nous dispenser soustraite de leurs précieux temps.

Nous vous souhaitons du succès dans vos thèses

Mouffok Sara et Dali Halima

Merci pour votre aide et votre éthique de travail et votre implication sont admirables, nous avons eu la chance de travailler avec vous.

Merci à toute l'équipe du plateau technique d'analyses physico-chimiques

(PTAPC - CRAPC OUARGLA)

DEDICACES

Du profond de mon cœur je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers

À ma très chère mère BENHARKOU AMINA

Qui m'a toujours comblé de tendresse et n'a jamais épargné un effort pour me rendre heureuse, ton amour a fait de moi la personne que je suis devenue aujourd'hui et grâce à toi j'ai pu réaliser mes ambitions, tu es la personne à qui je dois ma vie, ma réussite et tout mon respect.

À mon très cher père ALOUK AHMED

Tu étais toujours là à mes côtés à me soutenir pendant toutes mes années d'études. Tes conseils et ton amour m'ont donné la force pour affronter les difficultés de la vie. Ce travail est l'expression de ma gratitude et ma reconnaissance pour tous ce que tu as fait pour moi.

À mes sœurs NADA et ARIDJ et mon frère MOHAMED ANES

Merci d'être toujours là à mes côtés pour le meilleur et pour le pire. Sans vous ma réussite nervera jamais le jour. Je vous souhaite un avenir radieux, et tout le bonheur du monde.

À ma cousine ALOUK BOUCHRA

Votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours au long de ma vie professionnelle et personnelle. Je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

À toute ma famille, à tous mes amis, à tous ceux que j'aime, et ceux qui m'aiment Merci pour votre soutien, encouragements et tous ce que vous avez fait pour moi.

ALOUK Lyna

DEDICACES

Je dédie le fruit de mon labeur

Aux deux personnes qui ont toujours été derrière moi par leurs sacrifices, leurs forces, leurs temps, leurs douâa, leurs soutiens et surtout par leurs amours pendant les 16 ans de mon parcours scolaire et universitaire, à savoir MAMA et PAPA

LAROUSSE Zohra et Mohammed Amine.

Avec l'aide d'ALLAH, c'est grâce à vous que j'ai la capacité de rédiger ces mots.

Merci beaucoup *Je vous aime.*

**Sans jamais oublier mes frères : *Moncef, Imad Elddine, Akram, le petit Ramzi.* Ainsi que
ma princesse *Iman.***

À Mes Oncles et Mes Tantes,

Leur dédie ce travail pour tous les encouragements qu'ils n'ont cessé de m'apporter tout au long de mes années d'études.

Que DIEU leur apporte le bonheur, les aides à réaliser tous leurs vœux et leur offre un avenir plein de succès

Merci énormément à toute la famille

RAHMANI Fatima Morouj

LISTE DES ABRIVIATIONS ET ACRONYMES

Hg : Mercure

MeHg : Méthyle mercure

OMS : Organisation mondiale de la santé

ETM : Élément de trace métallique

Mn : Manganèse

Co: Cobalt

Fe: Fer

Zn: Zinc

Pb : Plomb

Cu : Cuivre

Cd : Cadmium

Cr : Chrome

Ni : Nickel

VLE : La valeur limite d'exposition

HPG : Hypothalamus – hypophyso-gondique

FSH : Hormone folliculo-stimulant

LH : Hormone lutéinisante

ICP-MS : Spectrométrie de masse par plasma à couplage inductif

SAA-CV : spectrométrie d'absorption atomique à vapeur froide

SAA : Spectrométrie d'absorption atomique

HNO₃ : Acide nitrique

K₂SO₄ : Sulfate de potassium

HSO₄ : Acide sulfurique

SnCl₂ : Chlorure d'étain

US-EPA : Environmental Protection Agency

EDW : Exposition à la dose d'une semaine

HQ : Quotient de risque

FAO : L'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture

TABLEAU DE MATIERES

REMERCIEMENTS	I
DEDICACES	III
LISTE DES ABRIVIATIONS ET ACRONYMES	IV
TABLEAU DE MATIERES	V
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
SYNTHESES BIBLIOGRAPHIQUE	
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I. TOXICITE DU MERCURE.	
I.1 Propriétés physico-chimiques :.....	6
I.2 sources d'exposition.....	3
I.3 toxicocénitique du mercure.....	3
I.3.1 Le mercure métallique et INorganique :	4
I.3.2 Le mercure organique :	5
I.4 Toxicité du mercure :	6
I.4.1 Intoxications aiguës :	6
I.4.2 Intoxications chroniques :	7
I.5 Catastrophes écologiques :	9
I.5.1 Minamata :.....	9
I.5.2 Irak :	10
I.6 Traitement :	10
I.6.1 Composés SH protecteurs endogènes : glutathion (GSH)	10
I.6.2 Agents chélatants contenant du SH (BAL, DMSA, DMPS)	11
I.7 Techniques d'analyses du mercure :	12

CHAPITRE II. LA BIOACCUMULATION ET LA BIOAMPLIFICATION DU MERCURE.

II.1	Cycle du mercure :	16
II.2	Bioaccumulation du mercure :	19
II.3	Bioamplification du mercure :	19
II.4	Effet du mercure sur les poissons	20

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DAND LES POISSONS D'AFRIQUE.

III.1	Introduction	23
III.2	Matériels et méthodes	23
III.2.1	Recherche dans la littérature	23
III.2.2	Critères d'inclusion et d'exclusion	24
III.3	Résultats et discussion	25

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE I. MATÉRIELS ET METHODES.

III.3.1	Caractéristiques de l'étude	25
III.3.2	Concentration du mercure dans les poissons	25
I.1	détermination de la concentration du mercure	41
I.1.1	Type d'étude	41
I.1.2	Préparation et concervation d'échantillons	42
I.1.3	Protocole analytique	44
I.1.4	Analyse du mercure dans les échantillons	46
I.1.5	Analyse d'échantillons :	50
I.1.6	Les critères du jugement	50
I.2	comparaison des concentrations du mercure	51
I.2.1	Critères du jugments	51
I.3	estimation du risque sanitaire	52

CHAPITRE II. RESULTATS.

II.1	Détermination de la concentration totale du mercure dans les poissons.....	55
II.2	comparaison des concentration du mercure	55
II.1.1	selon l'espèces.....	55
II.2.1	Selon la région	56
II.2.2	Selon le mois.....	57
II.3	estimation du rique sanitaire :.....	59

CHAPITRE III. DISCUSSION.

III.1	Détermination de la concentration du mercure dans la chair des poissons étudiés	62
III.2	Détermination de la concentration du mercure dans la chair de chaque espèce	63
III.3	Détermination de l'influence du lieu d'acquisition des poissons dans la concentration du mercure	65
III.4	Détermination de l'influence du mois de pêche des poissons dans la concentration du mercure	65
III.5	estimation du rique sanitaire.....	66

CONCLUSION.....	69
------------------------	-----------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	70
--	-----------

ANNEXES	78
----------------------	-----------

RÉSUMÉ	79
---------------------	-----------

ABSTRACT	80
-----------------------	-----------

ملخص.....	81
------------------	-----------

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Métabolisme cellulaire du mercure.....	4
Figure 2.	Acrodynies chez un enfant.	8
Figure 3.	Les troubles médicaux causés par le mercure.	10
Figure 4.	Les différentes structures des agents chélateurs.	11
Figure 5.	Le cycle biogéochimique du mercure dans l'environnement.	17
Figure 6.	La réaction de méthylation.	18
Figure 7.	La bio amplification du mercure dans la chaîne alimentaire	19
Figure 8.	L'explication de choix des articles.	24
Figure 9.	Localisation des pays où les études ont été réalisées	25
Figure 10.	Les espèces étudiées.....	41
Figure 11.	Préparation des échantillons.	42
Figure 12.	Étape de la lyophilisation.....	43
Figure 13.	Le principe de minéralisation par le four à micro-onde.	44
Figure 14.	Four à micro-onde.	44
Figure 15.	Étape de la dilution.....	46
Figure 16.	Principe de Fonctionnement de la SAA à vapeur froide.....	47
Figure 17.	SAA analytik jena	47
Figure 18.	Courbe d'étalonnage du mercure	49
Figure 19.	La concentration totale du mercure dans les poissons	55
Figure 20.	La concentration du mercure dans les quatre espèces.	56
Figure 21.	La concentration du mercure dans les poissons totaux d'Ouargla et Constantine.....	56
Figure 22.	La concentration du mercure dans les espèces d'Ouargla et de Constantine.	57
Figure 23.	La concentration moyenne du mercure de toutes les espèces pendant cinq mois.....	58
Figure 24.	La concentration moyenne du mercure dans les espèces pendant chaque mois.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Les différentes caractéristiques du mercure et de ces dérivés	2
Tableau 2.	Les concentrations du mercure dans différents espaces des poissons marins	27
Tableau 3.	Program food high fat.....	45
Tableau 4.	Les points de la courbe d'étalonnage	49
Tableau 5.	Estimation du risque sanitaire lié à la consommation des poissons étudiés.	59
Tableau 6.	Estimation du risque sanitaire lié à la consommation d'une pièce de poisson. ..	60



INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'écosystème marin est l'habitat principal pour une large gamme d'espèces animales et végétales (poissons, crustacées, plantes, mammifères marins, etc.) et joue un rôle important dans l'alimentation humaine (Hasan et al., 2022).

Les poissons sont importants dans un régime alimentaire équilibré car ils fournissent une source importante des nutriments essentiels tels que les protéines, les acides gras polyinsaturés (Oméga-3) et les vitamines (B, D). Certains minéraux essentiels au bon fonctionnement de l'organisme sont aussi issus de ces animaux tels que le Sélénium (composant d'enzymes antioxydantes comme le glutathion peroxydase) et l'Iode (composant essentiel des hormones thyroïdiennes) (Weichselbaum et al., 2013). Cependant, une surconsommation de poissons peut devenir dangereuse du fait que ces derniers peuvent représenter un réservoir de polluants chimiques dangereux pour l'homme (Łuczyńska et al., 2017).

En effet, les milieux marins sont soumis à des quantités énormes de polluants chimiques issus des activités anthropiques (Hydrocarbures, éléments traces métalliques, produits phytosanitaires, etc.).

Les éléments traces métalliques (ETM) comme le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le mercure (Hg), le plomb (Pb) et le nickel (Ni) sont les principaux polluants retrouvés dans l'écosystème aquatique et sont issus principalement des déversements de déchets industriels. Ces éléments sont dangereux pour la santé humaine du fait de leur caractère non biodégradable et accumule le long de la chaîne trophique (Kourdali et al., 2022).

Le mercure (Hg) est un des ETM ubiquitaire persistant. Il est l'un des éléments les plus dangereux et les plus cités au niveau mondial avec des catastrophes d'ampleur nationale comme au Japon en 1957 (Bernhoft, 2012). Il représente le principal contaminant des poissons et peut se propager le long de la chaîne alimentaire. Au niveau humain, cet élément possède la capacité de s'accumuler dans le corps et peut provoquer des troubles rénaux, cardiaques, neurologiques ainsi qu'une atteinte du système reproducteur (Filippini et al., 2018).

L'essor de l'industrialisation et par conséquent la pollution métallique des fonds marins a suscité un nombre croissant de recherches le long du globe terrestre afin d'évaluer l'impact de la pollution mercurielle (Cinnirella et al., 2019).

Ce travail rentre dans la ligné des recherches précédentes et s'intéresse pour la première fois au niveau national à la détermination des concentrations de mercure dans des poissons vendus au niveau des villes de Ouargla et de Constantine ainsi que l'évaluation du risque sanitaire.

Le contrôle de la présence du mercure dans le poisson permettra, non seulement d'évaluer la qualité alimentaire, mais aussi une surveillance de l'impact des activités humaines sur les eaux algériennes. La détermination des concentrations résiduelles du mercure sera utilisée comme un indicateur indirect de la contamination environnementale etpermeta d'évaluer le risque sanitaire surtout chez les personnes les plus vulnérables.

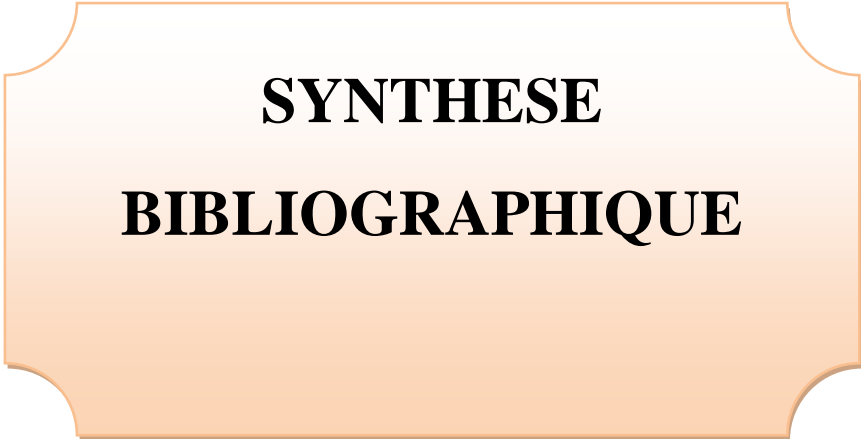
Nos objectifs sont ainsi les suivants :

- **Objectif principal**

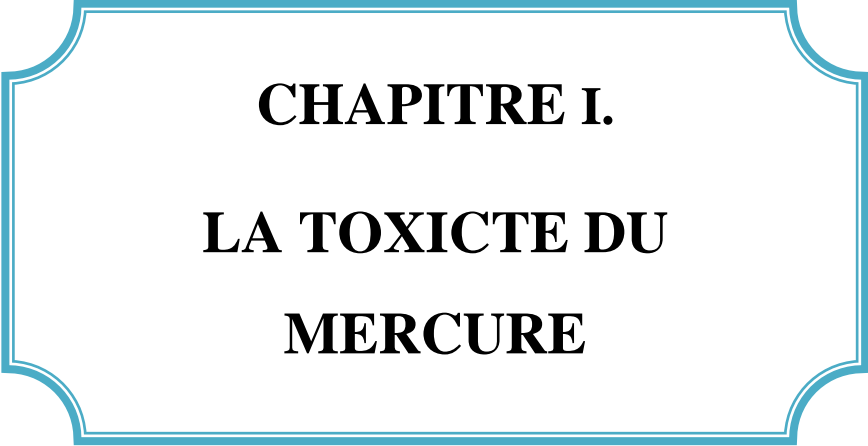
Évaluer l'impact de la contamination mercurielle du poisson commercialisé dans les villes de Ouargla et de Constantine par la mesure des concentrations du Hg.

- **Objectifs secondaires**

- Détermination de l'influence de l'espèce de poisson sur la concentration du mercure.
- Détermination de l'influence de la saison sur la concentration du mercure.
- Détermination de l'influence de la zone de pêche sur la concentration du mercure.
- Évaluation de la dose journalière consommée en moyenne et comparaison avec la dose journalière tolérable.



SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE



CHAPITRE I.
LA TOXICITE DU
MERCURE

Afin de mieux connaître le mercure et ses effets néfastes, le présent chapitre s'intéressera à synthétiser une revue de la littérature.

Le mercure (Hg) est un élément trace métallique naturel de nombre atomique 80, brillant de couleur argenté. Cet élément se trouve dans la croûte terrestre sous diverses formes chimiques dans les roches, le sol, l'eau, l'air, les plantes et les animaux (Jones & Winter, 2008).

Le mercure se combine généralement avec d'autres éléments pour former divers composés inorganiques (comme le cinabre minéral (HgS) ; une combinaison de mercure et de soufre) ou organiques comme le méthylemercure. Le Hg peut parfois être présent sous sa forme élémentaire, relativement pure, à l'état liquide ou de vapeur (Jones et Winter, 2008).

I.1 PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES :

Le mercure peut adopter trois degrés d'oxydation : Hg° (métallique), Hg^{+} (mercureux) et Hg^{2+} (mercurique). En plus des sels mercureux et mercuriques, cet élément peut également former des composés organiques.

Le Hg° est peu soluble dans l'eau, il possède un coefficient de répartition atmosphère-eau extrêmement élevé, et se trouve en faible quantité dans le milieu aquatique (Thomassin et al., 2003).

L'action des métaux sur le mercure conduit à la formation d'alliages métalliques, souvent liquides à la température ordinaire et portant le nom d'amalgames. Il existe deux sortes d'amalgames :

- Composés mercuriques : le mercure à l'état mercurique forme des composés stables avec l'azote, le chlore, le brome, l'iode et le soufre ; il forme également des composés avec l'oxygène et le fluor, mais les liaisons dans ces composés sont facilement rompues (Thomassin et al., 2003)
- Composés mercureux : ils sont obtenus par action d'un acide sur du mercure en excès. Les sels mercureux dérivent d'une base faible et par conséquent seront hydrolysés en solution (Sont des composés moins stables). Le tableau 1 montre l'ensemble des caractéristiques de cet élément (Thomassin et al., 2003).

Tableau 1. Les différentes caractéristiques du mercure et de ces dérivés (Thomassin et al., 2003).

	Mercure	Chlorure mercurique	Diméthyle mercure
Formule	Hg	HgCl ₂	C ₂ H ₆ Hg
Masse molaire	200.59	271.52	230.66
Point de fusion	-38.9°C	276°C	/
Point ébullition a Patm	356.6°C	302°C	/
Densité T/m³	13.55	11.14	3.19
Cte henry/ Volatilité Pa=m³/Mol	729	3.96E -5	649
Hydrosolubilité			
À 20°C	0.02 mg/L	66 g/L	1 g/L
À 100°C	0.6 mg/L	584 g/L	

I.2 SOURCES D'EXPOSITION

Le mercure est un élément persistant, toxique et qui n'a aucun rôle bénéfique pour la santé humaine. Les êtres humains peuvent être exposés à des sources naturelles de façon rare par des gaz issus de l'altération des roches et des mouvements géologiques tels que les volcans et les sources géothermiques. L'exposition au mercure est surtout d'origine anthropique suite au contact avec les combustibles, les minéraux ainsi que les gaz d'échappement (industries et les voitures).

Le mercure inorganique est utilisé pour la fabrication des lampes, des instruments de mesure et entre aussi dans la production artisanale d'or et d'argent (amalgame).

L'ingestion de denrée biologique (poissons) représente la principale source de mercure organique (méthyle, diméthyle ou éthylmercure) (Sundseth et al., 2017).

La valeur limite d'exposition (VLE) au mercure ou ses dérivés chez l'homme est de 0.01 et 0.03 mg/m³ (Lauwerys, 1990) .

I.3 TOXICOCENTRIQUE DU MERCURE

L'absorption, la distribution et le stockage du mercure dans l'organisme sont liés à l'espèce chimique en cause et aux propriétés physicochimiques des composés, en particulier de leur solubilité. On différencie pour cette raison le devenir du mercure chez l'homme pour les différents composés : le mercure métallique, inorganique et le mercure organique. La figure 1 présente les différentes voies métaboliques d'Hg (Bensefa-Colas et al., 2011) .

- Elimination :

Après le début de l'exposition, il existe une période de latence (dix jours à six mois) en relation avec le stockage progressif du mercure dans le rein. Le mercure inorganique est excrété sous forme ionisée ou fixée à des protéines (ex : les micro globulines) (Bensefa-Colas et al., 2011).

L'élimination des ions est principalement rénale, mais peut aussi être biliaire (jusqu'à 40%). La demi-vie biologique du Hg^0 est comprise entre 40 et 90 jours et celle du Hg inorganique entre 13 et 70 jours (Diderich et al., 2003).

I.3.2 LE MERCURE ORGANIQUE :

- Absorption :

Le Hg organique a une meilleure absorption pour les dérivés alkyles à chaîne courte comme le méthyl-mercure. L'absorption peut survenir à travers les trois voies : pulmonaire pour les dérivés alkyles volatils (60 %), digestive par ingestion des aliments contaminés par MeHg (95%) et cutané 10% (Bensefa-Colas et al., 2011).

- Transport et distribution :

Le MeHg est présent dans l'organisme sous forme de complexes hydrosolubles, principalement attachés à l'atome de soufre des ligands thiol. Il pénètre dans les cellules endothéliales de la barrière hémato-encéphalique sous forme d'un complexe avec la L-cystéine.

La grande mobilité du MeHg dans l'organisme ne résulte pas de sa solubilité dans les lipides, elle est plutôt due à la formation de complexes thioliques de faible poids moléculaire qui sont facilement transportés à travers les membranes cellulaires.

La fixation du MeHg au ligand thiol de l'acide aminé cystéine donne lieu à un complexe dont la structure imite celle du grand acide aminé neutre, la L-méthionine.

Ainsi, le transport de MeHg dans les tissus semble être médié par la formation d'un complexe MeHg-cystéine. Ce complexe L est structurellement similaire à la méthionine, et est transporté dans les cellules via une protéine porteuse d'acide aminé neutre largement distribuée. Bien que le méthyl mercure soit distribué dans tous les organes du corps, il a son effet le plus dévastateur sur le cerveau en développement (Jones & Winter, 2008).

- Elimination :

Le méthyl mercure est lentement métabolisé à cause de sa demi-vie (50 ± 20 j) en mercure inorganique par la microflore intestinales (déméthylation) ou l'excrétion biliaire. La plupart du MeHg élimine de l'organisme dans les fèces, l'excrétion urinaire est négligeable (Bensefa-Colas et al., 2011).

I.4 TOXICITE DU MERCURE :

Le mercure affecte la synthèse des protéines, la formation des microtubules, la transmission synaptique, le signal de transduction, la réponse immunitaire ; il augmente la perméabilité de la barrière hématoencéphalique altère l'homéostasie et induit un stress oxydatif. Le MeHg affecte la synthèse des protéines par les cellules nerveuses et ce avant l'apparition de toute manifestation neurologique (L. Bensefa-Colas, P. Andujar, 2004).

I.4.1 INTOXICATIONS AIGUES :

Lors d'injection accidentelle, intra musculaire ou sous cutanée, il sous-produit une importante réaction inflammatoire.

- a) Manifestation digestive :

L'ingestion de mercure inorganique (Chlorure mercurique) provoque des Douleur abdominale, vomissement sanglant, performation digestive, stomatite et gastro -entérite par inhibition de certaine enzymes digestive tels que : pepsine ,chymotrypsine et trypsine et l'effet oxydant (Rice et al., 2014).

- b) Manifestation pulmonaire :

Forte exposition par inhalation du mercure métallique (vapeur) montre des premiers symptômes âpre quelques heures : asthénie, une fièvre des céphalées, une myalgie survies des signes d'irritation des vois respiratoire avec une toux dyspnée.

L'exposition sévère provoque un œdème aigue du poumon avec une atteinte inertielle et tubulaire (cytolysé modérée par toxicité direct)(Bensefa-Colas et al., 2011).

c) Manifestation cutanée :

Le mercure métallique n'est pas une substance toxique irritante à l'inverse des dérivés inorganiques (irritantes et corrosives). Ce sont des allergènes à l'origine de dermatite de contact allergique d'urticaire, d'érythrodermie ou de purpura (Bensefa-Colas et al., 2011).

I.4.2 INTOXICATIONS CHRONIQUES :

Elle peut faire suite à l'inhalation répétée de faible concentration vapeur de mercure métallique ou de poussière des sels de mercure et aussi par l'ingestion des aliments contaminés (les poissons) par le MeHg.

a) Manifestation sur le système nerveux centrale et périphérique :

L'accumulation de Hg dans le tissu cérébral manifeste le blocage d'exercice des neurotransmetteurs même si les acides aminés et les ions, l'ensemble de ces effets entraîne des : Dommages neuropathologiques, nécrose focale des neurones et une gliose avec hypertrophie de certaines cellules notamment : astrocytes, microglie et les oligodendrocytes (Kershaw & Hall, 2019).

L'augmentation de taux du mercure provoque des dommages oxydatifs tissulaire (blocage de système P450) et inhibe la synthèse des tubuline et actine (protéines structurales des neurones) (Rice et al., 2014).

b) Manifestation rénale

Les reins sont parmi les principaux organes accumulative des dérivés du Hg (élémentaire, organique et inorganique) sauf que les formes inorganiques sont les plus néphrotoxiques (Bensefa-Colas et al., 2011) (Kershaw & Hall, 2019).

Le Hg^{2+} s'accumule au niveau des tubules proximaux et la zone superficielle de la médulla externe des reins ; ce qui provoque : Cancer, nécrose tubulaire et un syndrome néphrotique (Rice et al., 2014).

c) Manifestation cutanée :

Acrodyne (Pink disease) est observée chez les bébés et les enfants exposés aux sels du mercure et la vapeur d'Hg, s'accompagne avec crise sudorale, hypertension artérielle, tachycardie sinusale et fait évoquer maladie de Kawasaki, la figure 2 ci-dessous présente une vue des mains d'un enfant à une acrodyne (Bensefa-Colas et al., 2011).



Figure 2. Acrodynies chez un enfant.

d) La fetotoxicité :

Elle se présente sous forme des fausses couches, d'avortement spontané. Chez les nouveau née, l'exposition au Hg était liée à des anomalies de tube neurale, malformation crâniofaciale causé par la capacité de cette substance de traverse la barrière placentaire(Rice et al., 2014).

e) Manifestation sur le système endocrinien :

L'exposition aux mercure permet son accumulation qui peut affecter le système endocrinien (la thyroïde, hypophyse, pancréas) en perturbant la capacité de réduire la liaison hormone-récepteur (L'hormone lutéinisante(LH) et l'hormone follico-stimulante (FSH)) ou l'inhibition de certain enzyme clé ou bien dans la synthèse des hormones(Rice et al., 2014).

f) Manifestation sur le système de reproduction :

Le mercure a un effet sur l'axe hypothalamus - hypophyso-surrénalien gonadique, l'élévation de cette substance associer à l'infertilité.

Chez les hommes, l'Hg manifeste sur la spermatogenèse, le nombre de spermatozoïdes épидidymaire en modifiant les événements post-testiculaires tels que la motilité des spermatozoïdes ou le nombre de spermatozoïdes. Chez les femmes, il a été démontrer que le Hg inhibe la libération de FSH et LH de l'hypophyse antérieur qui peut affecte le taux d'œstrogène et de progestérone donc on observe par conséquence un déséquilibre de fonction ovarien à la menstruation douloureuse ou irrégulière (Rice et al., 2014).

g) Manifestation sur le système immunitaire :

Un grand nombre d'études montre que le Hg peut avoir des effets immun modulateurs plus précisément, HgCl et le MeHg inhibe la plupart des fonctions lymphocytaire surtout la prolifération et l'expression des marqueurs d'activation de la surface cellulaire et la production des cytokines(Kershaw & Hall, 2019).

h) Manifestation génétique :

L'exposition au MeHg a été reconnue comme un effecteur mutagène, la liaison au groupement sulfhydryle de glutathion entraînant la formation des radicaux libres qui causent des dommages à l'ADN (provoquant des cancer).

Ces composés va se lier au microtubule cela entraine la formation de fuseau qui provoque des aberrations chromosomiques et une aneuploïdie (Kershaw & Hall, 2019).

Le mercure et ses composés inorganiques sont classé selon IARC dans le groupe 3« l'agent (ou le mélange) ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme » et le méthyl mercure dans le groupe 2B « l'agent ou le mélange pourrait être cancérogène pour l'homme»(Diderich et al., 2003).

I.5 CATASTROPHES ECOLOGIQUES :

I.5.1 MINAMATA :

La plus grande intoxication massive au méthyl mercure de l'histoire s'est produite dans les années 1950 au Japon, la cause de l'empoisonnement des habitants de Minamata était la pollution des eaux de la baie par des sous-produits du mercure inorganique (composés de MeHg) utilisé comme catalyseur dans le processus de fabrication d'acétaldéhyde, ils ont été déversés avec les effluents d'usine. Le méthyl mercure est entré dans le corps humain par la consommation de poisson(Jones & Winter, 2008).

Les troubles médicaux associés montré dans la figure3 à cette épidémie sont devenus connus sous le nom "maladie de Minamata" a provoqué surtout chez les nouveau-nés des symptômes semblables à ceux de l'infirmité motrice cérébrale (lésion cérébrale)(Jones & Winter, 2008).



Figure 3. Les troubles médicaux causés par le mercure.

I.5.2 IRAK :

Au début des années 1970, un autre cas important a eu lieu en Irak, suite à la consommation de pain dont la production était basée sur des céréales traitées avec un fongicide contenant du MeHg.

Cet incident irakien qui touche principalement les agriculteurs, a entraîné des symptômes neurologiques insidieux et irréversibles tels que l'ataxie, la dysarthrie et la perte de vision (Mania et al., 2012).

I.6 TRAITEMENT :

Le traitement de l'intoxication du mercure métallique, organique ou inorganique (hydrargisme) est basé sur leur capacité à se lier avec les complexes thiols libres des protéines ce qui forme une liaison stable.

Utilisation des agents chélateurs (BAL, DMSA, DMPS) ou augmentation d'une molécule endogène (glutathion) jouent un rôle des antagonistes qui l'empêche la liaison de l'Hg avec les protéines et aussi accumulation dans les organes.

I.6.1 COMPOSES SH PROTECTEURS ENDOGENES : GLUTATHION (GSH)

Le GSH se lie avec le méthyl mercure et empêche la formation des liaisons avec les protéines qui cause des dommages enzymatiques et tissulaire (Bjørklund et al., 2019).

Deuxièmement, des complexes glutathion mercure ont été trouvés dans le foie, les reins et le cerveau et semblent être la principale forme sous laquelle le mercure est transporté et éliminé du corps par voie biliaire (Patrick, 2002).

Troisièmement, le glutathion augmente la capacité antioxydant de la cellule, offrant une défense contre le peroxyde d'hydrogène, l'oxygène singlet, les radicaux hydroxyles et les peroxydes lipidiques produits par le mercure et protège contre les dommages résulte de la toxicité de Hg inorganique (lésion rénaux)(Patrick, 2002).

I.6.2 AGENTS CHELATANTS CONTENANT DU SH (BAL, DMSA, DMPS)

- BAL (2,3 dimercaptopropan-1-ol) :

Le BAL (British Anti-Lewisite) est le premier antidote principal utilisé pour traiter l'intoxication aigue des métaux dans le monde.

C'est un composé dithiol forme des chélates stable avec les métaux toxiques a été recommandé pour les intoxications inorganiques au Hg avec une demi vie courte (4heures).Il est administré par injection intramusculaire (B.A.L.®) par une dose de 3mg/kg chez l'adulte pendant 6-10 jours(Bjørklund et al., 2017).

Le BAL a des effets indésirables sévères et parfois très graves, notamment une pression artérielle élevée suivie d'une tachycardie, En raison de sa toxicité élevée il est remplacé par des analogues hydrophiles DMSA et le DMPS, la figure 4 montre la différence structurale entre trois traitements(Bjørklund et al., 2019).

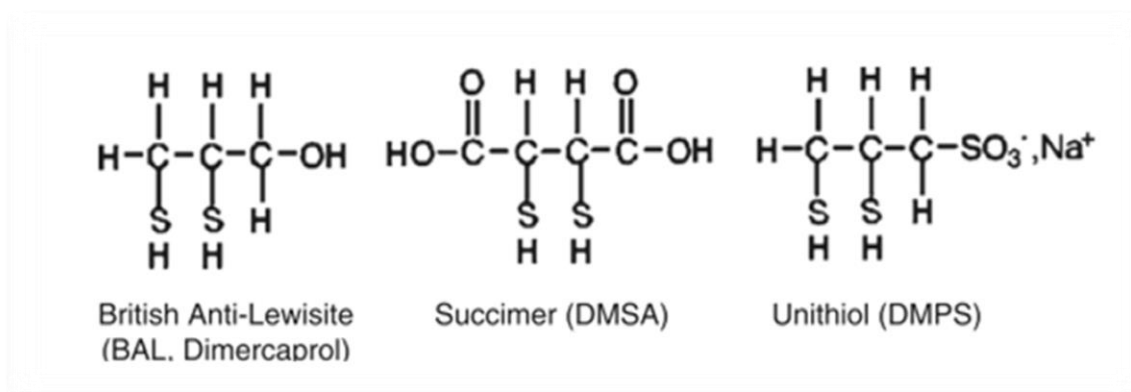


Figure 4. Les différentes structures des agents chélateurs.

- DMSA (acide méso-dimercaptosuccinique, Succimer) :

Le DMSA est un dithiols hydrosoluble absorbé dans le tractus gastro-intestinal), Environ 95% du médicament absorbé se lie aux protéines plasmatiques (albumine). Il se fixe probablement par l'un de ses groupements SH sur un résidu cystéine de l'albumine, et il laisse son autre groupe SH libre de se lier aux mercure organiques (MeHg) cérébrale puis il augmente la sécrétion urinaire ce complexe. Il peut être administré sous forme de préparations intraveineuses, orales,

transdermiques ou de suppositoires (Succicaptal®), sa demi-vie inférieure à quatre heures chez adulte (Bjørklund et al., 2017).

Le DMSA est un antidote moins toxique, Il présente des effets secondaires vont de réactions cutanées, de neutropénie légère et d'inconfort gastro-intestinal à une augmentation des enzymes hépatiques(Bjørklund et al., 2019).

- DMPS (acide 2,3-dimercaptopropane-1-sulfonique, Unitiol) :

De nombreuses études ont prouvé son efficacité pour chélater les métaux toxiques dans l'organisme ; En Allemagne, le DMPS, qui est hydrophile, est un médicament homologué pour le traitement de l'intoxication au Hg (Bjørklund et al., 2019).

Le traitement antidote oral (une gélule Dimaval® contient 100 mg de DMPS) ou en ampoules pour traitement intraveineux (ampoule de 5 ml de DMPS-Heyl® contient 250 mg de DMPS). La dose quotidienne est généralement de 3 à 10 mg de DMPS/kg de poids corporel(Bjørklund et al., 2017).

I.7 TECHNIQUES D'ANALYSES DU MERCURE :

Pour quantifier le niveau de mercure dans les échantillons biologiques (sang, cheveux, muscle, os...), plusieurs étapes sont nécessaires dont la collecte, la préparation, la digestion, la dilution et la lecture des échantillons.

- Prétraitement de l'échantillon

La plupart des méthodes de détermination du mercure dans les échantillons nécessitent une minéralisation préliminaire. Ils sont classés en méthodes de minéralisation humide (digestion oxydante) ou sèche (combustion/pyrolyse) (Horvat, 1996).

Les procédures d'oxydation humide nécessitent un ou plusieurs agents oxydants dans un milieu acide, le choix idéal de l'acide pour la digestion des échantillons doit prendre en compte sa capacité à dissoudre complètement la matière organique de manière rapide. Plusieurs paramètres sont à prendre en considérations comme le degré de pureté, la perte possible d'analyte due à la volatilisation, et la solution finale doit contenir tous les éléments(dos Santos et al., 2021).

▪ Méthodes instrumentales :

Pour la détermination des faibles concentrations de mercure, un certain nombre de méthodes analytiques peuvent être utilisées :

• Spectrométrie de masse à plasma de couplage inductif (ICP-MS) :

C'est la méthode d'analyse la plus courante pour déterminer la concentration des éléments traces(Zhang & Zhou, 2020), à cause de sa haute sensibilité et sa capacité de détecter multi-éléments dans une seule analyse(Yu et al., 2019).

L'ICP-MS basée sur la nébulisation des échantillons liquides dans un système, créant un aérosol fin qui est ensuite transféré dans le plasma d'argon à haute température atomise et ionise l'échantillon, générant des ions qui sont extraites à travers la région d'interface et dans un ensemble de lentilles électrostatiques appelé l'optique ionique. Ce dernier concentre et guide le faisceau d'ions vers l'analyseur de masse quadripolaire. L'analyseur de masse sépare les ions en fonction de leur rapport masse-charge (m/z), et ces ions sont mesurés au niveau du détecteur(Wilschefski & Baxter, 2019).

L'application de la MS permet d'obtenir des informations sur le contenu qualitatif et quantitatif d'échantillon, la structure et les masses molaires des analytes(Yu et al., 2019).

• Spectrophotométrie d'absorption ou fluorescence atomique à vapeur froide (CV AAS/ CV AFS) :

La méthode est basée sur un agent réducteur (SnCl_2 ou NaBH_4) est ajouté à un récipient de réaction contenant l'échantillon préparé(Horvat, 1996).

La vapeur de Hg est ensuite libérée de la solution échantillon et balayée soit directement dans la cellule du spectrophotomètre ou fluorophotométrie, soit pré concentrée sur une surface d'or avant d'être thermiquement désorbée avant l'analyse(Horvat, 1996).

Les procédures de réduction-aération sont faciles à réaliser, rapides, sélectives et précises par rapport à de nombreuses autres techniques.

**CHAPITRE II.
LA BIOACCUMULATION ET LA
BIOAMPLIFICATION DU
MERCURE**

I.1 CYCLE DU MERCURE :

Le Hg a la propriété de se volatiliser ce qui permet à cette substance de se déplacer dans l'atmosphère vers l'océan. Ce processus nommé cycle biogéochimique du mercure comporte trois étapes : l'émission à partir de sources naturelles ; son transport et son dépôt vers les environnements terrestres et aquatiques et la transformation.

- Sources d'émission :

Les principales émissions du mercure proviennent des activités humaines tel que la production d'électricité, la chimie, les minéraux non métalliques, les matériaux de construction et les autres secteurs de la transformation d'énergie(Roulet, 1997).

- Parcours du mercure :

Le temps de résidence du mercure dans l'atmosphère est suffisant pour qu'il soit largement distribué à l'échelle continentale et même globale avant de se déposer sur les continents et les mers. L'oxydation d' Hg^0 en Hg^{2+} (forme ionique) se produit dans les précipitations. Sa forme aqueuse est adsorbée sur les particules d'eau et se dépose dans l'environnement terrestre et aquatique(Driscoll et al., 2013).

Ce cycle du mercure dans le milieu naturel est complexe (figure 5) ; Il fait intervenir d'une part, de nombreuses espèces chimiques, de nombreuses variables, comme l'acidité, état redox, température, luminosité, concentration relative des espèces dissoutes, activité bactérienne.

- Transformation et absorption :

Le mercure inorganique (Hg^{+2}) peut être transformé, dans certaines conditions physico-chimiques, en méthyl mercure (CH_3Hg^+ , mercure organique) par un processus de méthylation, principalement initié par des bactéries qui est la forme la plus toxique(Roulet, 1997).

C'est le processus le plus important qui entre dans le cycle du mercure au niveau des eaux et des sols. Le résultat de la méthylation biologique ou chimique du mercure est le méthyl mercure (CH_3Hg^+)(Thomassin et al., 2003).

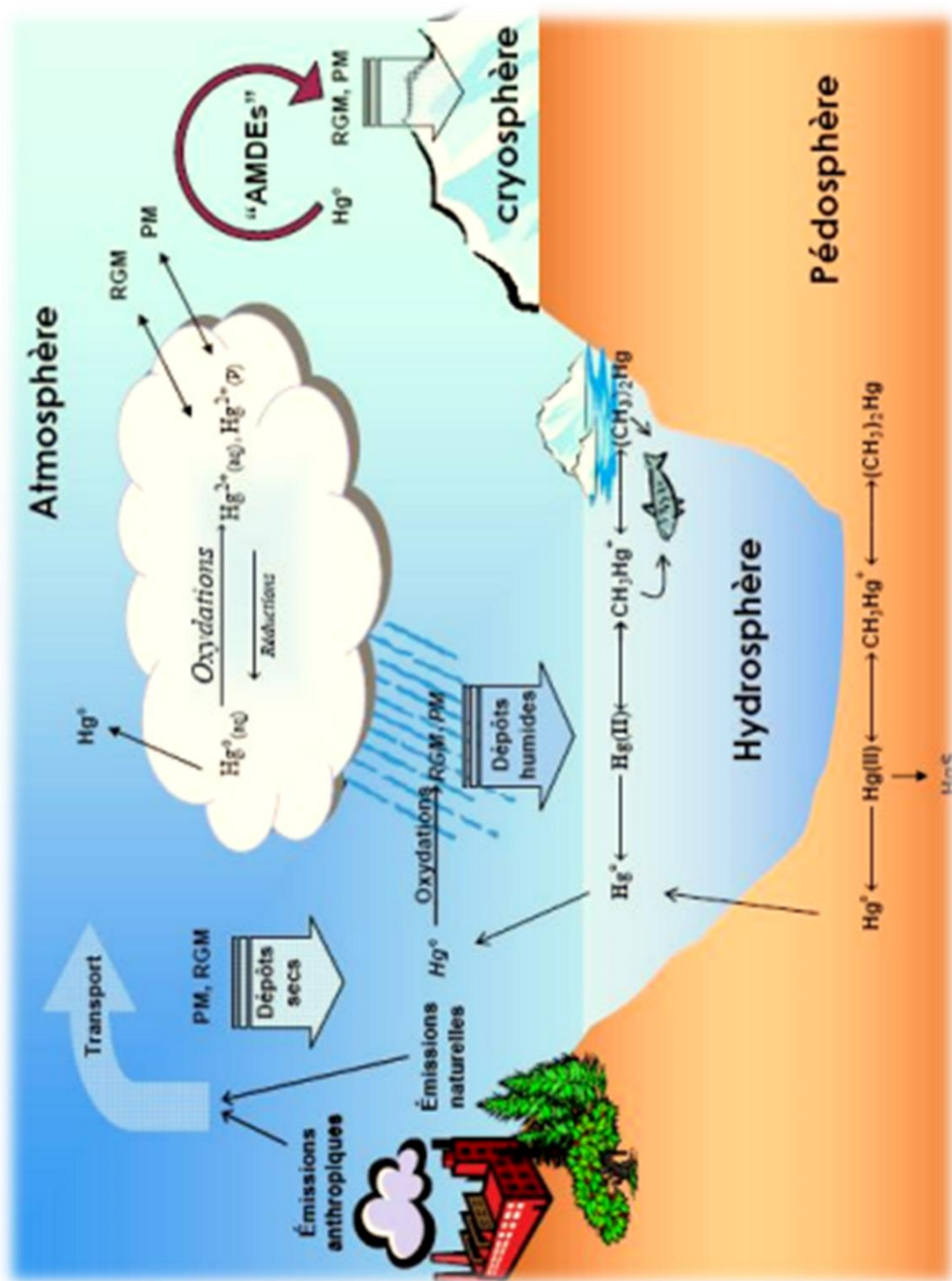


Figure 5. Le cycle biogéochimique du mercure dans l'environnement.

CHAPITRE II. LA BIOACCUMULATION ET LA BIOAMPLIFICATION DU MERCURE

Le mercure est transformé en méthyle mercure sous l'action de bactéries sulfato- réductrices, la réaction est optimale en milieu anoxique (absence d'oxygène), les principaux paramètres de cette réaction sont : La concentration en bactéries, les quantités de sédiments et de matières en suspension et les quantités de sédiments et de matières en suspension.

Le mercure inorganique (Hg^{2+}) peut être transformé, dans certaines conditions physico-chimiques, en méthyle mercure (CH_3Hg^+ , mercure organique) par un processus de méthylation qui est présenté dans figure 6, principalement initié par des bactéries qui est la forme la plus toxique(Thomassin et al., 2003).

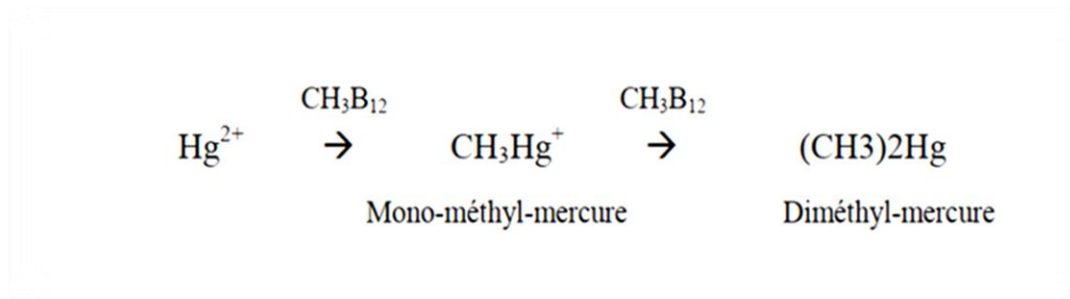


Figure 6. La réaction de méthylation.

C'est le processus le plus important qui entre dans le cycle du mercure au niveau des eaux et des sols. Le résultat de la méthylation biologique ou chimique du mercure est le méthyle mercure (CH_3Hg^+).

Le mercure est transformé en méthyle mercure sous l'action de bactéries sulfato- réductrices, la réaction est optimale en milieu anoxique (absence d'oxygène). Les principaux paramètres de cette réaction sont : La concentration en bactéries et les quantités de sédiments et de matières en suspension(Thomassin et al., 2003).

I.2 BIOACCUMULATION DU MERCURE :

La bioaccumulation du mercure dans les poissons marins est très variable et sa concentration est affectée par des différences spécifiques aux espèces et/ou les caractéristiques physio-écologiques du milieu.

Les principaux facteurs qui influencent sur les concentrations du mercure chez les poissons sont : Le taux du mercure organique dissous dans l'eau de mer (processus de méthylation). La profondeur de la colonne d'eau, la longueur et le poids du corps du poisson, Les niveaux trophiques (chaîne alimentaire) (Zheng et al., 2019).

I.3 BIOAMPLIFICATION DU MERCURE :

C'est le processus par lequel un composé (comme un polluant, un pesticide et les éléments de trace) augmente sa concentration dans les tissus des organismes lorsqu'il remonte la chaîne alimentaire (Gray, 2002). Dans un processus connu sous le nom de bioamplification, les poissons accumulent le mercure plus rapidement qu'ils ne l'excrètent, et chaque poisson de la chaîne alimentaire aquatique en contient plus que celui qu'il vient de manger. La concentration du mercure s'augmente dans la chaîne alimentaire à partir des phytoplanctons jusqu'à l'Homme à travers les poissons pélagiques (la Sardine) et les poissons prédateurs (le Merlan, le Thon). La figure 7 montre l'échelle de la bioamplification d'Hg (Lavoie et al., 2013).

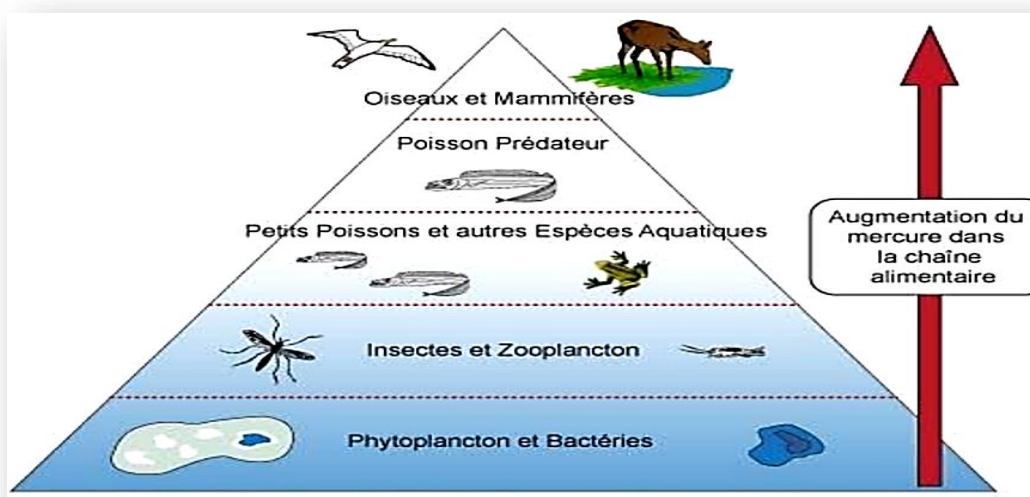


Figure 7. La bio amplification du mercure dans la chaîne alimentaire

I.4 EFFET DU MERCURE SUR LES POISSONS

Le mercure présent dans l'océan (la source naturelle, ou la source anthropique) peut entraîner des modifications génétiques, biochimiques, physiologiques, morphologiques et comportementales chez les poissons.

La toxicité dépend de la spéciation, la biodisponibilité, l'absorption et la transformation du mercure ainsi que les espèces, et stades de vie du poisson.

L'exposition fréquente au mercure dans cette période peut provoquer des atteintes graves sur les organes tels que la malformation cardiaque, le développement anormal des yeux et aussi sur les processus métaboliques. L'exposition peut également activer des processus de détoxification consommateurs d'énergie, ce qui entraîne une réduction de l'énergie qui pourrait autrement être utilisée pour la croissance (un développement lent)(Zheng et al., 2019).

Les malformations causées par le mercure ont un effet dévastateur sur les poissons. Les plus courantes sont celles de la colonne vertébrale (la lordose, cyphose et la scoliose), de la vessie, de la tête et des nageoires. Elles ont un effet sur le mode de survie, le taux de croissance et la morphologie externe. En plus les malformations peuvent également impacter sur la chasse des poissons et la migration de longues distances (Zheng et al., 2019).

Le mercure provoque des lésions hépatiques ; une vacuolisation, une désorganisation du parenchyme et des noyaux pycnotiques. La toxicité induite par l'Hg pourrait impliquer un stress oxydatif et des modifications du métabolisme énergétique, ce qui indique que les mitochondries pourraient être la cible primaire de l'attaque du mercure dans les cellules.

Le Hg produire une variété d'effets toxiques sur les organismes, la neurotoxicité a toujours été une préoccupation importante puisque le Hg peut s'accumuler dans le cerveau et causer des dommages importants tels que des changements dans le nombre total et le volume des neurones, des cellules gliales dans des zones spécifiques du cerveau et accompagnés de changements dans le comportement de nage (Zheng et al., 2019).

Le mercure inorganique peut provoquer une neurotoxicité en induisant un stress oxydatif, un dysfonctionnement de l'assemblage du cytosquelette et des troubles métaboliques.

CHAPITRE II. LA BIOACCUMULATION ET LA BIOAMPLIFICATION DU MERCURE

Le MeHg induit une toxicité par stress oxydatif et apoptose, ce qui suggère que l'exposition chronique au méthyl mercure peut provoquer un important défaut métabolique dans le cerveau (López-Berenguer et al., 2020).

L'axe hypothalamo-hypophyso-gonadique (HPG) régule l'activité reproductrice en sécrétant différentes hormones et joue un rôle clé pendant le développement normal du système reproducteur des poissons. L'exposition au mercure peut interférer avec l'expression des gènes liés à l'axe HPG et modifier les niveaux d'hormones sexuelles, ce qui peut affecter la reproduction (Zheng et al., 2019).

Le mercure inorganique est connu pour induire un stress oxydatif, entraînant des dommages histologiques dans les gonades, tels que l'épaississement des parois des tubules (Zheng et al., 2019).

Après l'exposition, on observe une diminution des niveaux de testostérone dans les testicules, une dégénérescence et une nécrose lors de spermatogénèse, une hypertrophie des cellules de Sertoli et une inflammation interstitielle. Le Hg provoque des perturbations entre les cellules folliculaires et les ovocytes, ce qui peut entraîner un retard dans le développement ovarien des femelles (Zheng et al., 2019).

L'épithélium branchial est le site des échanges gazeux, de l'équilibre acide-base, de l'excrétion des déchets azotés et de la régulation ionique chez les poissons. Donc l'exposition au mercure peut également affecter la morphologie de l'épithélium des branchies, provoquant des changements morphologiques et pathologiques dans les crachats (la nécrose cellulaire, le raccourcissement des lamelles secondaires, l'hyperplasie des filaments branchiaux et un œdème important), entraînant ainsi une altération de la fonction branchiale. Le mercure inorganique et le méthyl mercure peuvent exercer des effets toxiques sur les branchies en interférant avec de multiples voies métaboliques (Zheng et al., 2019).

CHAPITRE III.

**REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE
TAUX DU MERCURE DANS LES
POISSONS D'AFRIQUE.**

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

III.1 INTRODUCTION

Les poissons sont des éléments importants dans l'alimentation humaine au niveau mondial car ils constituent une source de protéines, de minéraux, de vitamines et d'acides gras essentiels insaturés (les oméga-3) (Lake et al., 2018).

Les poissons ont la capacité d'absorber des éléments traces comme le manganèse (Mn), le fer (Fe), le cobalt (Co), le zinc (Zn) et le cuivre (Cu) qui sont nécessaires pour leur métabolisme (cofacteur enzymatique). À côté de cela, les poissons peuvent aussi absorber le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le mercure (Hg), le plomb (Pb) et le nickel (Ni) et qui provoquent des dommages histologiques, sont toxiques à de faibles concentrations et non-biodégradables (Younis et al., 2021).

Le mercure est l'un des polluants les plus courants, persistants et toxiques dans les écosystèmes marins à cause de son affinité pour les adipocytes ce qui conduit à l'amplification biologique dans la chaîne alimentaire (Mezghani-Chaari et al., 2011).

La contamination des systèmes aquatiques par l'Hg est devenue très courante ces dernières années à cause des activités agricoles, minières et de l'élimination des déchets industriels (Noman et al., 2022).

L'objectif de cette revue systématique est de connaître les concentrations du mercure dans les poissons d'Afrique et ainsi évaluer la pollution aquatique de ce continent.

III.2 MATERIELS ET METHODES

III.2.1 RECHERCHE DANS LA LITTERATURE

Cette revue systématique a été réalisée sur des articles publiés pendant la période (2000-2022) dans deux bases de données PubMed et Scopus.

La recherche a été faite en utilisant les termes « Africa », « fish », « mercury » comme mots clés. La recherche incluant un screening du titre et du résumé. Le choix d'études sélectionnées a été expliqué dans l'organigramme (figure 8).

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

III.2.2 CRITERES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION

Les critères inclus pour cette revue systématique sont toute étude qui s'est intéressé à la concentration du mercure dans les poissons marins d'Afrique.

Les critères d'exclusion sont :

- Les études sur les concentrations d'Hg des poissons des lacs ou des rivières.
- Les concentrations du mercure dans les cheveux, sang, cordon ombilical, oiseaux et riz.
- Les études sur effet des mines d'or sur la pollution des poissons par le mercure.
- Les concentrations d'Hg dans les poissons des barrages ou des réservoirs.

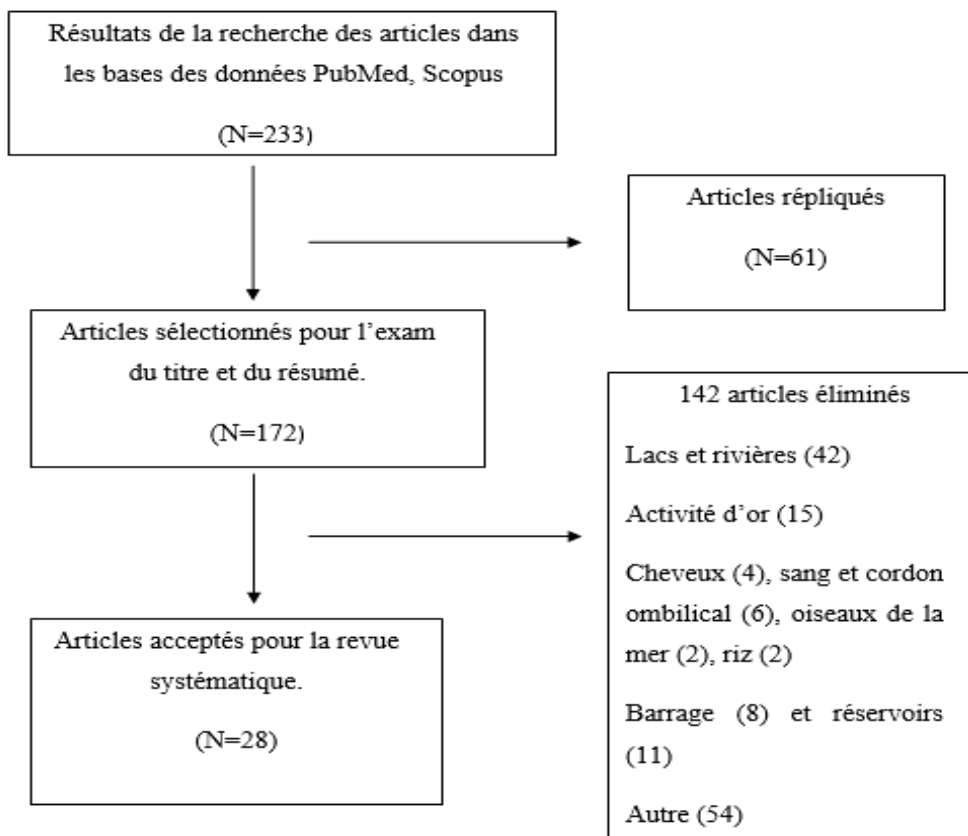


Figure 8. L'explication de choix des articles.

III.3 RESULTATS ET DISCUSSION

III.3.1 CARACTERISTIQUES DE L'ETUDE

Les résultats de la recherche littérature sur les deux moteurs (PubMed, Scopus) a permis d'obtenir 233 articles. 61 articles ont été exclus à cause de la réplication dans les bases des données.

Après l'examen des titres et des résumés de chaque article, 142 articles ont été éliminés car ils ne répondaient pas aux critères d'inclusion [(42) études sur les poissons des lacs et des rivières, ou des barrages et réservoirs (19). Des échantillons autres que les poissons (14). (15) études sur l'effet de pollution mercurielle par l'activité des minières sur les poissons, et (54) ont été hors du cadre de recherche]. En fin de compte, 28 articles ont été inclus dans la revue systématique.

III.3.2 CONCENTRATION DU MERCURE DANS LES POISSONS

Les 28 articles étudiés se sont intéressés aux taux de mercure dans 11 pays africains comme le montre la figure ci-dessous.



Figure 9. Localisation des pays ou les études a été réalisées

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

La pollution mercurielle provoque des problèmes sanitaires dangereux pour l'homme causé par l'ingestion des poissons contaminés. L'analyse des 28 articles sur les concentrations du mercure dans les poissons a été résumée dans le tableau (2).

La concentration la plus élevée du mercure jamais reporté en Afrique a été mentionné dans le prédateur *Isurus oxyrinchus* (Requin mako) $13,43 \pm 1.18$ mg/kg (poids sec) d'Afrique du sud (McKinney et al., 2016). Cette concentration montre le potentiel de bioaccumulation du mercure dans les tissus et le rôle de la position dans la chaîne alimentaire (tableau2).

Tableau 2. Les concentrations du mercure dans différents espaces des poissons marins

Références	Espaces	Région	Méthode de dosage	Concentration de mercure (mg/kg) (poids sec ou humide)
(Mehouel & Fowler, 2022)	<i>Sardina pilchardus</i>	Algérie (Alger, Bejaia, Oran, Jijel, Mostaganem, Ain Temouchet, Tlemcen)	—	0,079 ± 0,040
	<i>Xiphias gladius</i>			0,563 ± 0,494
(Elhamri et al., 2007)	<i>Sardina pilchardus</i>	Martil, Maroc	—	0.137 ± 0.042
	<i>Mugilcephalus</i>			0.096 ± 0.017
	<i>Merlucciusmerluccius</i>			0.101 ± 0.031

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

(Chahid et al., 2014)	<i>Sardina pilchardus</i> <i>Scomber scombrus</i> <i>Plectorhinchus mediterraneus</i> <i>Trachurustrachurus</i> <i>Boops boops</i> <i>Sarda sarda</i> <i>Trisopterus capelanus</i> <i>Conger conger</i>	Ports de pêche du sud du Royaume du Maroc	SAA-CV	$0,082 \pm 0,002$ $0,093 \pm 0,032$ $0,039 \pm 0,027$ $0,032 \pm 0,002$ $0,101 \pm 0,131$ $0,122 \pm 0,082$ $0,058 \pm 0,054$ $0,025 \pm 0,033$
(Mahdi Ahmed et al., 2021)	<i>Carangoides spp</i> <i>Lutjanus spp</i> <i>Mugilidae spp</i> <i>Lethrinus spp</i> <i>Scomberomorus spp</i> <i>Sphyraenidae spp</i> <i>Thunnus spp</i> <i>Serranus spp</i>	Marché locale des poissons. Djibouti	SAA- CV	$0,86 \pm 1,17$

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

(Zrelli et al., 2021)	Groupe 1 (à haut risque)	Ports de pêche (nord, centre et sud) de la Tunisie	SAA-CV	
	<i>Lophius piscatorius</i>			Groupe 1
	<i>Thunnus thynnus</i>			0,39 ± 0,03
	<i>Sarda sarda</i>			
	<i>Dentex dentex</i>			
	<i>Epinephelus marginatus</i>			
	<i>Mustelus canis</i>			
	<i>Dicentrarchus labrax</i>			Groupe 2
	<i>Sparus aurata</i>			0,14 ± 0,01
	<i>Euthynnus alletteratus</i>			
	<i>Squalus acanthias</i>			
	<i>Pagrus pagrus</i>			
	<i>Scorpaenascrofa</i>			
	<i>Pagellus centrodontus</i>			
	<i>Katsuwonus pelamis</i>			
	<i>Zeus faber</i>			
	<i>Xiphias gladius</i>			

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

	<i>Raja clavata</i>			
	Groupe 2			
	<i>Diplodus annularis</i>			
	<i>Scomber scombrus</i>			
	<i>Spicara maena</i>			
	<i>Boops boops</i>			
	<i>Merluccius merluccius</i>			
	<i>Sardina pilchardus</i>			
	<i>Engraulis encrasicolus</i>			
	<i>Liza aurata</i>			
	<i>Spicara smaris</i>			
	<i>Sarpa salpa</i>			
	<i>Trachurus trachurus</i>			
	<i>Solea solea</i>			
	<i>Lithognathus mormyrus</i>			
	<i>Mullusur muletus</i>			

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

(Zrelli et al., 2021)	<i>Thunnus albacares</i>	Maroc et Mauritanie	ICP-MS.	0,50
	<i>Thunnus obesus</i>	Golfe de Guinée	ICP-MS.	0,90
	<i>Thunnus alalunga</i>			0,36
(Bosch et al., 2016b)	<i>Thunnus albacores</i>	La côte Atlantique D'Afrique du Sud	ICP-MS.	0,79 ± 0,10
(Erasmus et al., 2018)	<i>Lophius vomerinus</i>	La côte de la Namibia	SAA-CV.	0,32 ± 0,44
(McKinney et al., 2016)	<i>Carcharhinidae</i>	La côte Est d'Afrique du Sud	SAA-CV.	5,61 ± 1,37 PS
	<i>Sphyrnidae</i>			7,36 ± 7,19
	<i>Triakidae</i>			0,09 ± 0,01
	<i>Alopiidae</i>			3,33
	<i>Lamnidae</i>			11,84 ± 2,24
	<i>Odontaspidae</i>			13,08 ± 1,09
	<i>Rhincodontidae</i>			0,26 ± 0,08
(Hasselberg et al., 2020)	<i>Brachydeuterus auritus</i>	Marche d'Accra, Ghana	ICP-MS.	0.065 ± 0.014
	<i>Engraulis encrasicolus</i>			0.034 ± 0.006
	<i>Selene dorsalis</i>			0.045 ± 0.013

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

	<i>Sardinella aurita</i>			0.034 ± 0.009
(Le Croizier et al., 2019)	<i>Brotulabarbata</i>	La côte Sénégalaise	SAA-CV.	0.09 ± 0.01 PS
	<i>Merluccius senegalensis</i>	(Saint-Louis, Dakar, Saloum et Casamance		0.22 ± 0.11
	<i>Pterothris susbelloci</i>			0.08 ± 0.02
	<i>Trichiurus lepturus</i>			0.06 ± 0.01
	<i>Zeus faber</i>			0.18 ± 0.04
	<i>Boops boops</i>			0.14 ± 0.1
	<i>Caranx rhonchus</i>			0.05 ± 0.01
	<i>Diplodus bellottii</i>			0.34 ± 0.09
	<i>Pseudupeneus prayensis</i>			0.21 ± 0.07
	<i>Scomber japonicus</i>			0.04 ± 0.01
	<i>Trachurus trecae</i>			0.11 ± 0.02
	<i>Chaetodon hoefleri</i>			0.14 ± 0.08
	<i>Chelidonichthy sgabonensis</i>			0.37 ± 0.14
	<i>Dentex canariensis</i>			0.24 ± 0.14

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

	<i>Dicologlossa hexophthalma</i>			0.42 ± 0.28
	<i>Plectorhinchus mediterraneus</i>			0.47 ± 0.17
	<i>Pseudupeneus prayensis</i>			0.43 ± 0.36
	<i>Sphoeroides spengleri</i>			0.14 ± 0.06
	<i>Trachurus trecae</i>			0.09 ± 0.03
	<i>Umbrina canariensis</i>			0.09 ± 0.05
	<i>Brachydeuterus auritus</i>			0.35 ± 0.09
	<i>Caranx rhonchus</i>			0.58 ± 0.34
	<i>Caranx rhonchus</i>			0.1 ± 0.03
	<i>Chloroscombrus chrysurus</i>			0.08 ± 0
	<i>Galeoidesde cadactylus</i>			0.23 ± 0.05
	<i>Selene dorsalis</i>			0.24 ± 0.14
	<i>Sphyraena guachancho</i>			
(Mezghani-Chaari et al., 2011)	<i>Diplodus annularis</i>	La côte de Sfax, Tunisie	SAA-CV	0,85 ± 0,35
	<i>Sarpa salpa</i>	(Sidi Mansour, Kerkennah)		0,06 ± 0,028

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

(Jebara et al., 2021)	<i>Sparus aurata</i>	La côte de Mahdia	SAA-CV	0,872 ± 0,57
	<i>Salpa sarpa</i>	(Mahdia, Rejiche, Salakta, Chebba, Melloulech) Tunisie.		0,602 ± 1,078
(Torres et al., 2014)	<i>Sarpa salpa</i>	La côte de Mahdia et de Sfax Tunisie.	ICP-MS	0,053 ± 0,028
	<i>Balistes caprisus</i>			0,371 ± 0,228
(Nel et al., 2015)	<i>Gilchristella aestuaria</i>	L'estuaire de Swartkops, l'Afrique du sud.	ICP-MS	0.01
	<i>Psammogobius knysnaensis</i>			0.01
	<i>Mugil cephalus</i>			0.01
	<i>Pomadasys commersonii</i>			0.03
	<i>Lichia amia</i>			0.02
(Diop & Amara, 2016)	<i>Solea senegalensis</i>	La côte sénégalaise	SAA-CV	0,045 ± 0,018
	<i>Sardinella aurita</i>	(Saint Louis, Soumbédioune, Hann, Rufisque, Joal)		0,051 ± 0,005
	<i>Mugil cephalus</i>			0,03 ± 0,018

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

	<i>Sarotherodon melanotheron</i>			0,089 ± 0,067
(Bosch et al., 2016a)	<i>Mustelus mustelus</i>	Le lagon de Langebaan, Western Cape, Afrique du Sud.	ICP-MS	0.96 ± 0.69
(Voegborlo et al., 2006)	<i>Auxis thazardthazard</i> <i>Thunnus albacores</i>	Les eaux de la côte atlantique du Ghana dans le golfe de Guinée.	Procédure de flacon ouvert	0,125 ± 0,101 0,063± 0,038
(Ouali et al., 2018)	<i>Mugil cephalus</i>	Le golfe d'Annaba, Algérie	—	0.28 PS
(Bosch et al., 2017)	<i>Thyrsites atun</i> <i>Seriola lalandi</i>	Île de Dassen , la côte Ouest de l'Afrique du Sud, Struisbaa et Port Elizabeth, la côte Sud-Est.	ICP-MS.	0,27 ± 0.121 0,166 ± 0,106

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

(Boldrocchi et al., 2019)	<i>Sphyrna lewini</i> <i>Rhizopriono donacutus</i>	Le golfe de Tadjourah, Djibouti	ICP-MS.	2,51 PS 0,29
(Chouvelon et al., 2017)	<i>Thunnus alalunga</i>	L'île de La Réunion, Les eaux des Seychelles, L'eaux d'Afrique du Sud.	SAA-CV.	1,35 ± 0,37 PS
(Zohra & Habib, 2016)	<i>Diplodus annularis</i> <i>Solea vulgaris</i> <i>Liza aurata</i>	La côte sud de Sfax	SAA.	0.38 ± 0.05 PS 1.840 ± 0.47 0.36 ± 0.05
(Coulibaly et al., 2012)	<i>Sarotherodon melanotheron</i>	Baie de Bie-tri, Lagune Ebrié, Côte d'Ivoire.	SAA-CV.	0,17 ± 0.11
(Voegborlo et al., 2007)	<i>Auxis thazardthazard</i>	Port de pêche à Tema dans la région du Grand Accra.	SAA-CV.	0,108

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

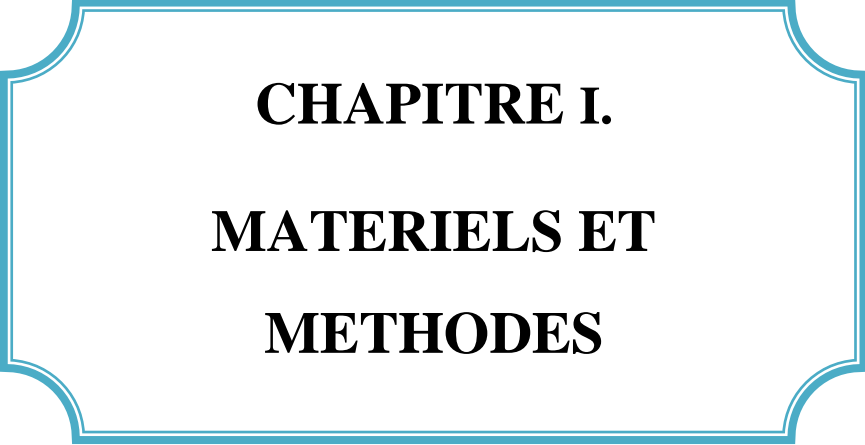
(Voegborlo et al., 2004)	<i>Pseudolithus typus</i>	Les eaux côtières du	SAA-CV.	0,15 ± 0,05
	<i>pseudolithus senegalensis</i>	Ghana		0,03 ± 0,03
	<i>hemiramphus brasiliensis</i>			0,02 ± 0,01
	<i>trachinotus goreensis</i>			0,03 ± 0,02
	<i>caranx crysos</i>			0,03 ± 0,01
	<i>selene dorsalis</i>			0,03 ± 0,03
	<i>sardinella aurita</i>			0,009 ± 0,003
	<i>chloroscombrus chrysurus</i>			0,11 ± 0,02
	<i>cynoglossus cadenati</i>			0,03 ± 0,01
	<i>caranx hippos</i>			0,06 ± 0,01
	<i>sphyraena guachancho</i>			0,02 ± 0,02
	<i>decapterus punctatus</i>			0,009 ± 0,001
	<i>Dentex canariensis</i>			0,09 ± 0,03
	<i>Trachurus trecae</i>			0,09 ± 0,007
	<i>Scomber japonicas</i>			0,04 ± 0,005
	<i>Pseudupeneus prayensis</i>			0,07 ± 0,03
	<i>Pomatomus saltatrix</i>			0,126

CHAPITRE III. REVUE SYSTEMATIQUE SUR LE TAUX DE MERCURE DANS LES POISSONS D'AFRIQUE

	<i>Auxis thazard</i>			0,117
	<i>Galeoides decadactylus</i>			0,04 ± 0,02
	<i>Trichiurus lepturus</i>			0,01 ± 0,005
(O'Neill et al., 2017)	<i>Merluccius capensis</i>	La côte Sud de l'Afrique du Sud.	ICP-MS.	0,63
	<i>Genypterus capensis</i>			0,58
	<i>Lophius vomerinus</i>			0,65
(Uren et al., 2020)	<i>Diplodus sargus capensis</i>	La côte de l'Afrique du Sud.	ICP-MS.	0,19 ± 0.116
	<i>Pachyme toponblochii</i>			0,10 ± 0.070

- ICP-MS : Spectrométrie de masse par plasma à couplage inductif, SAA-CV : spectrométrie d'absorption atomique à vapeur froide,
- SAA : spectrométrie d'absorption atomique. PS : poids sec

PARTIE PRATIQUE



CHAPITRE I.
MATERIELS ET
METHODES

I.1 DETERMINATION DE LA CONCENTRATION DU MERCURE

I.1.1 TYPE D'ETUDE

Il s'agit d'une étude prospective sur quatre espèces de poisson (figure 10) ; la sardine (*Sardina pilchardus*), la dorade (*Sparus aurata*), le merlan (*Merluccius merluccius*), le thon et la bonite (*Auxis rochei*) dans la période novembre 2021 au mars 2022 sur 46 échantillons de la chaire issus de 135 poissons.

Les poissons ont été collectés à partir des poissonneries locales entre le mois d'août et le mois de décembre 2021. Il s'agit de 82 individus de Ouargla sont à l'origine de Mostaganem (64 sardines, 6 dorades ,8 merlans et 4 bonites) et 53 individus de Constantine originaire de Mostaganem, El Kala, Oran, Jijel, Bejaïa, Ain Timouchente et Annaba (41 sardines,6 dorades ,5 merlans et 2 bonites).

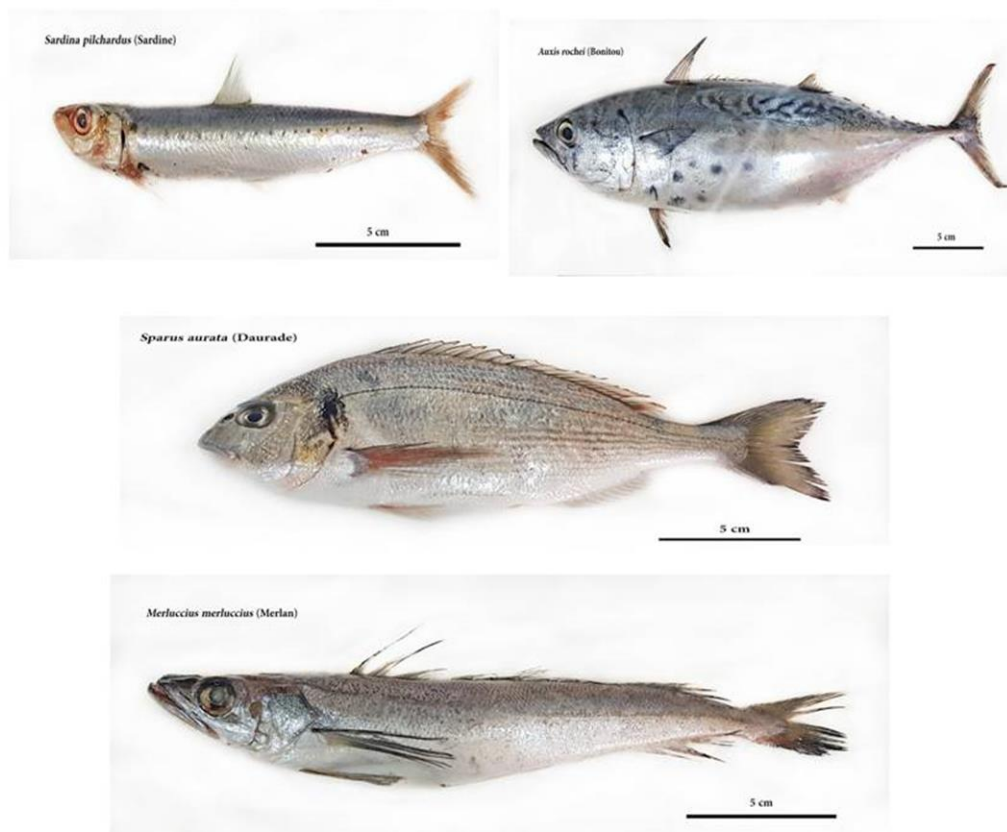


Figure 10. Les espèces étudiées.

Critère inclusion :

- Prélèvement de la chaire.

Critère non inclusion :

- Prélèvement de la tête, la queue, les nageoires et les écailles, foie et branchies.
- Autres types de poissons.

I.1.2 PREPARATION ET CONSERVATION D'ECHANTILLONS**I.1.2.1 Préparation des échantillons**

Au niveau du centre du plateau technique d'analyses physico-chimiques de Ouargla (PTAPC-CRAPC-Ouargla), la chaire des poissons a été coupé en petits morceaux sans élimination de la peau (partie sous nageoire dorsale des flans droite et gauche) montré dans la figure ci-dessus, puis ont été recueillis les échantillons dans des boites en plastique bien étiqueté indiquant le nom d'espèce, le mois et la région.

Le poids d'échantillon requis pour la daurade et le thon est 30grammes et 25grammes pour la sardine et le merlan.



Figure 11. Préparation des échantillons.

I.1.2.2 Conservation

Les échantillons subissent une congélation pendant 6 heures puis une lyophilisation dans une pression 0.001Bar pendant trois jours (dessiccation primaire 48heures et dessiccation secondaire 24heures) pour une meilleure conservation.

a. Principe

Elle repose sur la sublimation à une basse température sous vide et elle consiste trois étapes (figure12), la congélation d'échantillon pour que l'eau qu'ils contiennent soit transformée en glace puis la sublimation (Dessiccation primaire) de la glace sous vide en vapeur et enfin la désorption (Dessiccation secondaire), La température s'élève spontanément entre 20 et 70 °C une fois que toute l'eau a été sublimée qui permet d'amener une humidité résiduelle entre 2 et 8 %.

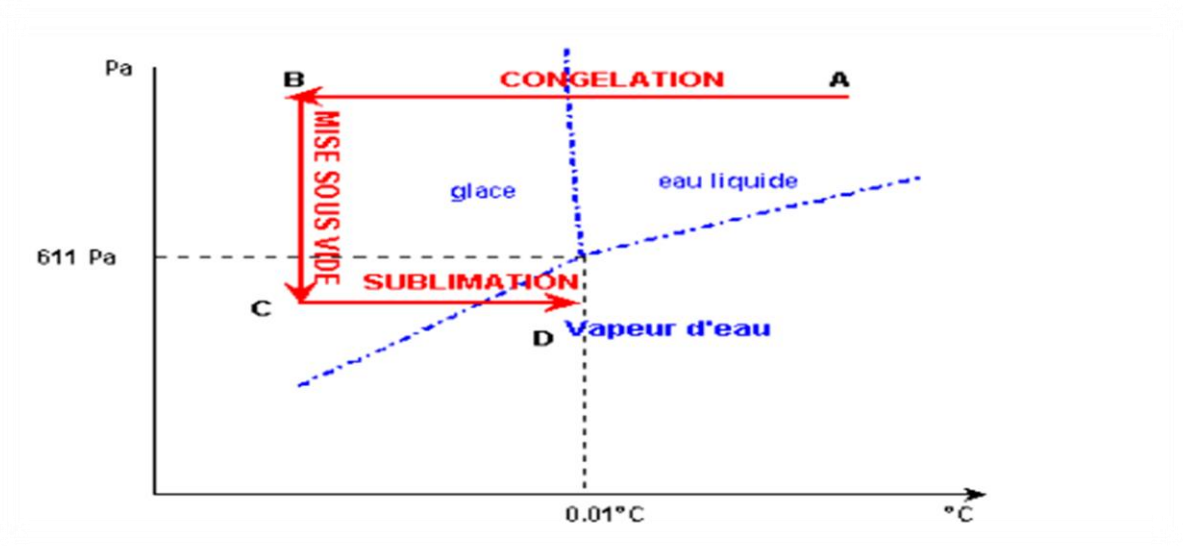


Figure 12. Étape de la lyophilisation.

I.1.3 PROTOCOL ANALYTIQUE

I.1.3.1 Minéralisation

a. Principe

Elle est sur la décomposition oxydative de la matière organique par des réactions chimiques à l'aide des acides forts (HNO_3 , H_2SO_4 , $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) avec haute température et pression qui aboutissent à la transformation des composés organiques complexes en composés minéraux simples, la figure ci-dessus montre le principe la minéralisation.

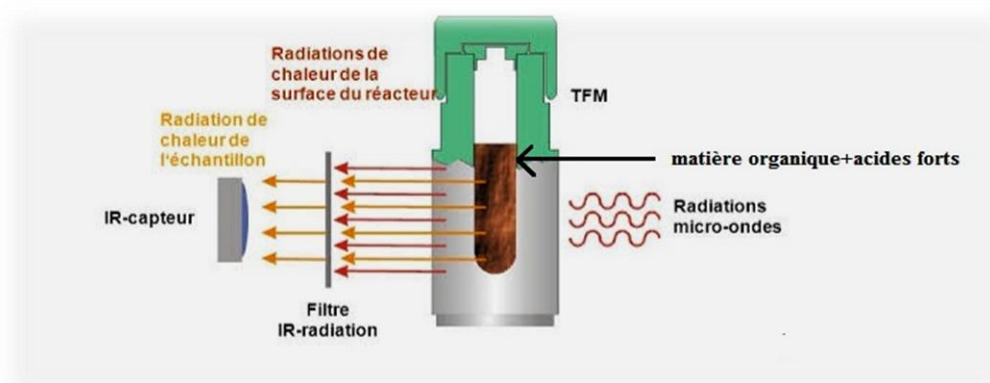


Figure 13. Le principe de minéralisation par le four à micro-onde.

b. Appareillage

La minéralisation des échantillons a été réalisée par top wave analytik Jena.



Figure 14. Four à micro-onde.

Grace à un four microondes « Top wave analytik », 0.5 gramme d'échantillons lyophilisés sont minéralisée par addition 7 ml d'acide nitrique (HNO_3) et 1 ml de l'eau oxygéné (H_2O_2) dans une température 200 et pression 50 Bar utilisant le programme « food hight fat» présent dans le tableau 3.

Tableau 3. Program food hight fat.

	Température	Pression	Ramp	Power
1	170	50	2	90
2	145	50	5	90
3	190	0	2	90
4	50	0	1	0
5	50	0	1	0

c. Matériels requis

- Tube en téflon
- Pipette
- Verre de montre
- Spatule

Equipements

- Balance

d. Les produits

- Acide nitrique (HNO_3)
- Eau oxygénée (H_2O_2)
- Eau ultra pure

Pour évaluer la concentration d'Hg dans les échantillons, les minéralisats doivent être dilués au 200^{ème} avec un volume d'eau ultra pure.

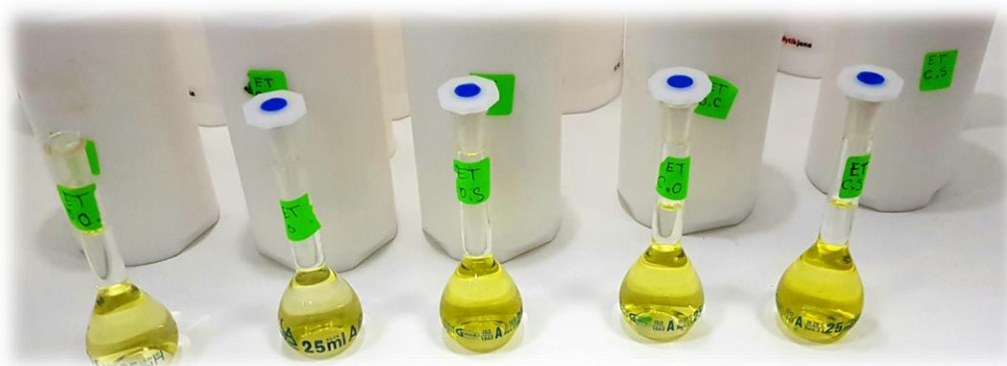


Figure 15. Étape de la dilution.

Après analyse, les résultats obtenus sont multipliés par le facteur de dilution pour obtenir une estimation de la concentration du mercure.

I.1.4 ANALYSE DU MERCURE DANS LES ECHANTILLONS

a. Principe

Le dosage se fait par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) avec générateur de vapeur froide.

Pour l'analyse, les particules collectées sont solubilisées à froid en milieu oxydant acide, le mercure (Hg^{2+}) obtenu est alors réduit en (Hg^0) par une solution de chlorure stanneux dans une boucle de mélange (figure 16). Les vapeurs de mercure formées sont entraînées par un courant gazeux vers une cellule à fenêtres de quartz placée dans le faisceau d'un spectromètre d'absorption atomique.

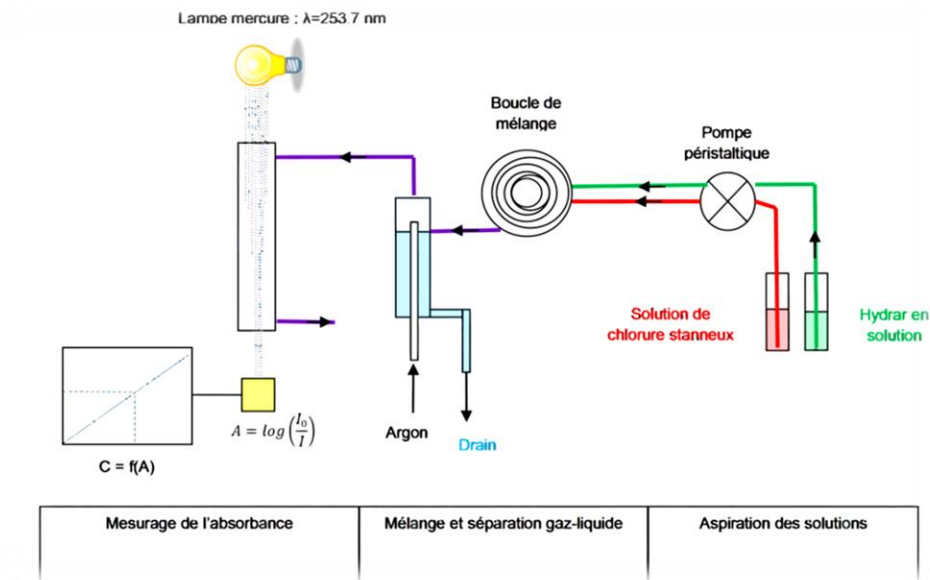


Figure 16. Principe de Fonctionnement de la SAA à vapeur froid.

b. Appareillage

Dosage des minéralisât a été réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) à vapeur froides « mercur analytik Jena » dans une longueur d'onde 253.7 nm après calibration d'appareil.



Figure 17. SAA analytik jena.

c. Matériels requis

- Tube en verre
- Fiole a jugée

d. Produits

- Le chlorure d'étain (SnCl_2) 2.5%
- Gaz : Argon
- Solution d'étalon du mercure 1 $\mu\text{g/l}$

➤ Préparation de chlorure d'étain 2.5 % : Dans une fiole 2.5 g d' SnCl_2 dissous dans 2ml d'HCl extra pure pendant 8 heures puis en replis jusqu'à 100 ml par l'eau ultra pure.

I.1.4.1 Caractéristique de la méthode :**Spécificité**

Cette méthode est spécifique pour le mercure grâce à une pression de vapeur assez importante à température ambiante qui peut être réduit état atomique par un agent de réduction fort qui permet le dosage de cet élément.

Sensibilité

- Excellente limite de détection jusqu'à ng/l.
- Large plage de mesure linéaire.

Limites

- Limite de quantification est trois fois Sd su blanc
- Limite de détection est 10 fois SD du blanc

I.1.4.2 Calibration

Une courbe d'étalonnage de cinq points de calibrations a été effectuée à partir d'une solution mère de 1 $\mu\text{g/l}$ de mercure.

Le tableau ci-dessous représente les points de calibration servant à tracer la courbe d'étalonnage de la calibration.

Tableau 4. Les points de la courbe d'étalonnage

Points	La concentration $\mu\text{g/L}$	Absorbance
1	0.000	0.000875
2	0.500	0.009046
3	1	0.01717
4	1.5	0.02736
5	2	0.03448

La figure 18 montre la courbe d'étalonnage obtenue :

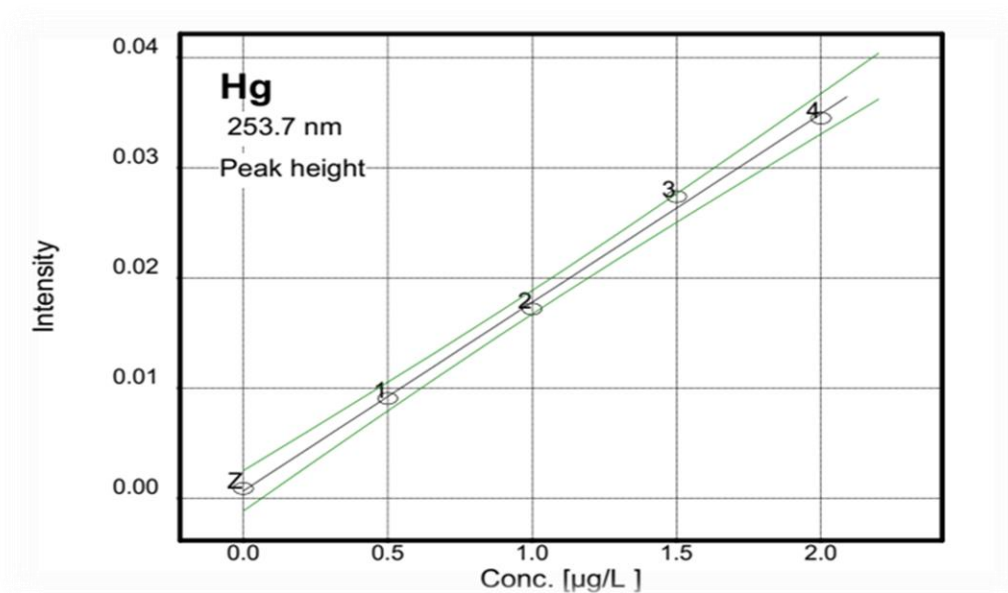


Figure 18. Courbe d'étalonnage du mercure

I.1.5 ANALYSE D'ÉCHANTILLONS :

Les échantillons minéraliser (minéralisât) ont été porter dans tube puis placé dans le support de la SAA, l'injection de minéralisant dans appareil avec la présence de chlorure d'étain permet la réduction du mercure à l'état de métal.

L'Entrainement du mercure naissant par un courant d'argon, à une température ambiante dosage à l'état de vapeur monoatomique par spectrométrie d'absorption atomique à la longueur d'onde de 253.7 nm et le nombre de répétition était de quatre pour chaque échantillon.

I.1.6 LES CRITERES DU JUGMENT

- Analyse statistique

Les données des espèces totale (nombre, poids, concentrations,) et l'Analyse descriptive basée sur la moyenne, l'écart-type et la valeur maximale et minimale a été réalisée par l'intermédiaire du logiciel « Excel 2019 ».

- Analyse de la concentration mercure dans les poissons
 - Se fait par une comparaison entre la concentration du mercure avec la valeur de l'OMS utilisant le teste de Mann-Whitney unilatérale.

I.2 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS DU MERCURE

Les données ont été extraites vers une feuille Excel et analysées statistiquement pour reconnaître les tendances des niveaux de mercure.

La comparaison entre les variables (région, espèces, organes) a été évaluée par le test de kruskalwallis, le test Mann-Whitney bilatérale, les analyses statistiques ont été faite par logiciel R et Excel statistique.

Pour toutes les analyses, le niveau de signification a été déterminé par la valeur $p \leq 0.05$.

- Kruskalwaliss test : est un test non-paramétriques permet de faire la comparaison entre deux espèces indépendantes ou plus.
- Le test Mann-Whitney bilatérale : déterminé si les moyennes des quatre types de poissons sont différentes, ainsi que pour obtenir un intervalle de confiance bilatéral.

I.2.1 CRITERES DU JUGMENTS

- A. Comparaison de concentration du mercure totale des espèces.
- B. Comparaison selon la région
 - La concentration totale du mercure entre les deux villes.
 - La concentration totale dans les espèces des deux régions.
- C. Comparaison selon le mois
 - La concentration totale du mercure entre les cinq mois.
 - La concentration totale du mercure entre les espèces du chaque mois.

I.3 ESTIMATION DU RISQUE SANITAIRE

L'évaluation des risques pour la santé humaine est un processus destiné à estimer le risque pour un organisme, un système, y compris l'identification des incertitudes qui y sont liées, suite à une l'exposition à un agent particulier, en tenant compte des caractéristiques inhérentes à l'agent en question ainsi que les caractéristiques du système cible spécifique.

Le mercure est un élément naturel qui s'est avéré avoir des effets importants sur l'homme à la fois dans les zones à faible et à forte concentration.

Par conséquent, il est essentiel de connaître les risques sanitaires induits par l'ingestion quotidienne des poissons contaminés.

L'évaluation des risques sanitaires associés à l'exposition au mercure par la consommation des poissons a été réalisée en utilisant la méthode de l'US-EPA (United States-Environmental Protection Agency).

Pour l'évaluation du risque sanitaire du mercure, il est d'abord essentiel de calculer l'apport d'une semaine (AWE) de l'ingestion des poissons suivant l'équation générique :

$$EWI = \frac{C \times IR}{BW}$$

EWI: est la dose d'une semaine d'exposition ($\mu\text{g}/\text{Kg}/\text{d}$) ; **IR :** consommation de poissons par semaine ($\text{kg}/\text{semaine}$) ; **BW :** est le poids corporel (Kg) ; **C:** est la concentration du mercure ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

Le HQ est défini comme le rapport entre la dose estimée d'un contaminant par rapport à la dose de référence :

$$HQ = \frac{EWI}{RFD}$$

La dose de référence (DRf) est l'estimation de l'exposition quotidienne qui devrait être sans risque significatif d'effets nocifs.

Le rapport dose-réponse de l'Office des poissons pour mercure a établi une dose de référence estimée à 3.3 µg/kg/semaine pour protéger la population contre intoxication chronique par le mercure.

CHAPITRE II.

RESULTATS

I.1 DETERMINATION DE LA CONCENTRATION TOTALE DU MERCURE DANS LES POISSONS

La concentration moyenne du mercure totale dans toute l'espèce est de $0,18 \pm 0,16$ mg/kg (Figure 19).

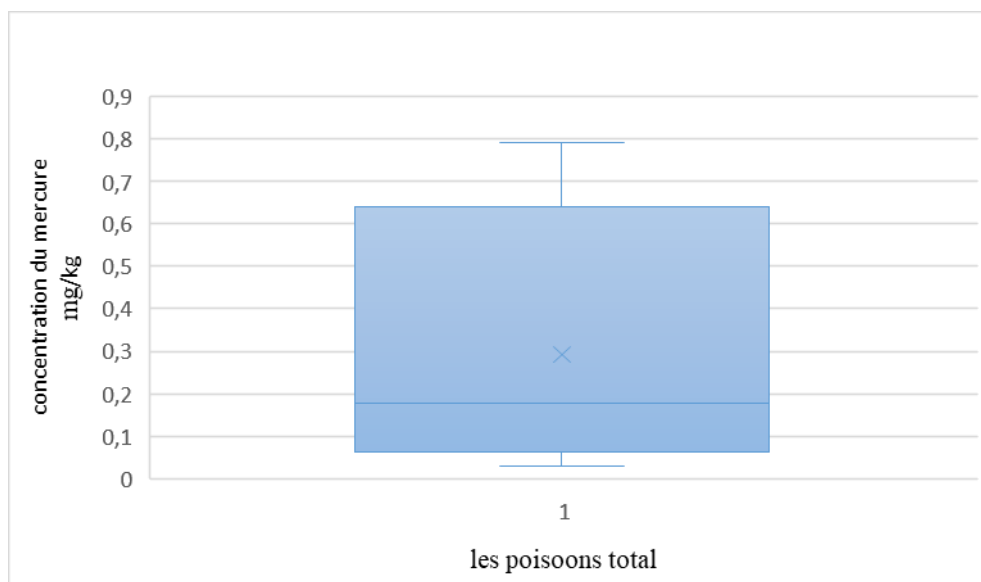


Figure 19. La concentration totale du mercure dans les poissons.

I.2 COMPARAISON DES CONCENTRATION DU MERCURE

II.1.1 SELON L'ESPECES

La figure 20 montre la concentration du mercure moyenne dans les quatre espèces, la sardine $0,17 \pm 0,02$ mg/kg ; le merlan $0,26 \pm 0,21$ mg/kg ; la dorade $0,27 \pm 0,18$ mg/kg et le bonite $0,23 \pm 0,13$ mg/kg (p-value = 0.000009537).

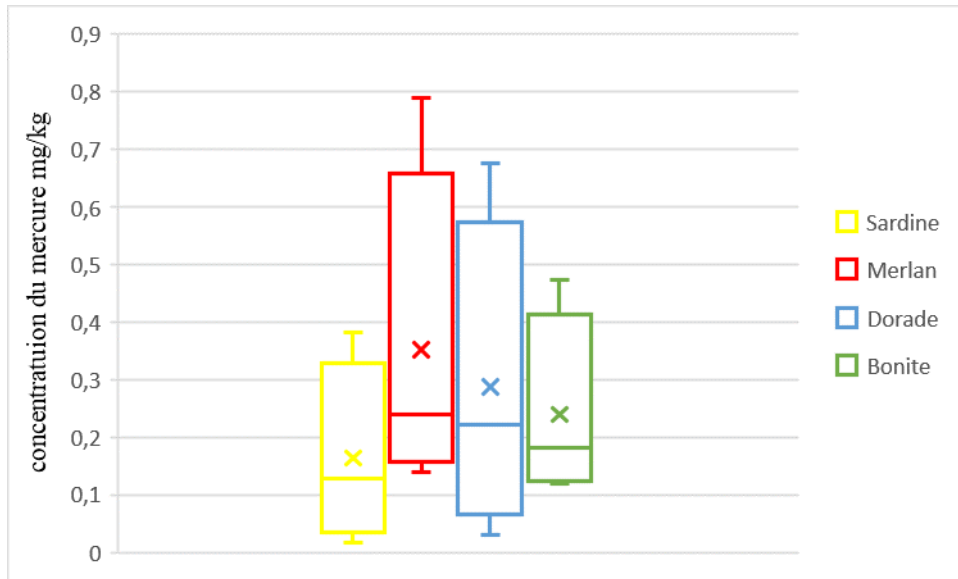


Figure 20. La concentration du mercure dans les quatre espèces.

1.2.1 SELON LA REGION

A. Comparaison de la concentration totale du mercure entre les deux régions

La figure 21 présente la concentration moyenne du mercure des espèces de la ville d’Ouargla $0,20 \pm 0,13 \text{ mg/kg}$ ($p\text{-value} = 4.05$) qui sont élevées aux espèces de Constantine $0,172 \pm 0,0703 \text{ mg/kg}$ ($p\text{-value} = 1.81$).

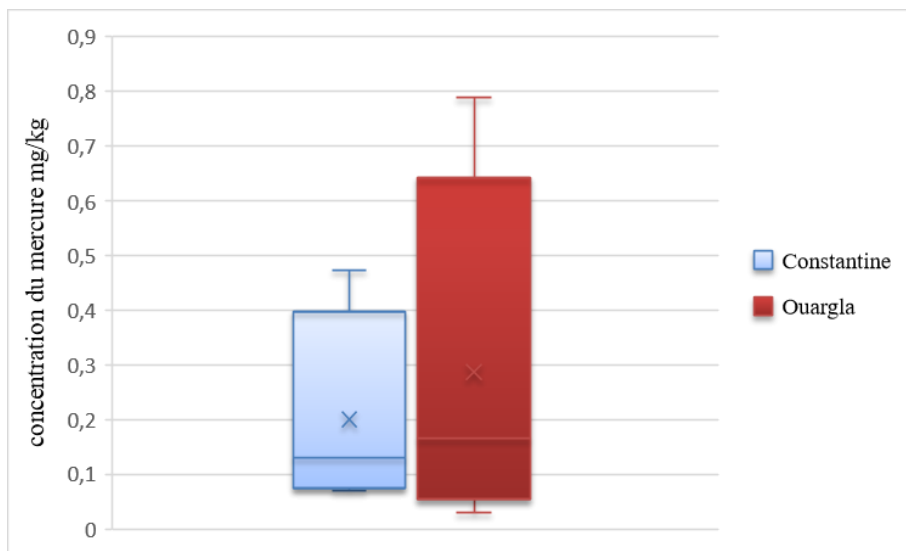


Figure 21. La concentration du mercure dans les poissons totaux d’Ouargla et Constantine.

B. Comparaison de la concentration totale entre les espèces des deux régions :

La figure 22 présente la concentration du mercure moyenne dans des poissons d'Ouargla et de Constantine.

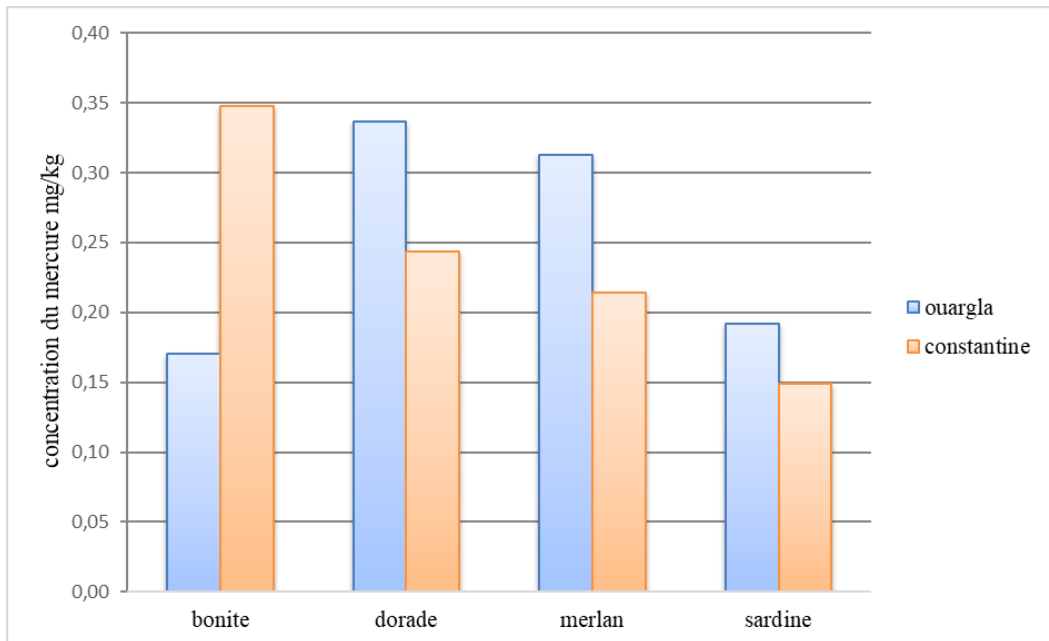


Figure 22. La concentration du mercure dans les espèces d'Ouargla et de Constantine.

I.2.2 SELON LE MOIS

A. Comparaison de concentration du mercure dans les poissons pendant cinq mois (août jusqu'à décembre)

La figure 23 montre que la concentration moyenne du mercure dans tous les poissons augmente durant les cinq mois avec une moyenne maximale dans le mois de novembre de 0.36 ± 0.16 mg/kg. Une différence significative a été retrouvée dans le mois d'août, septembre, octobre, novembre, décembre (p -value < 0.05).

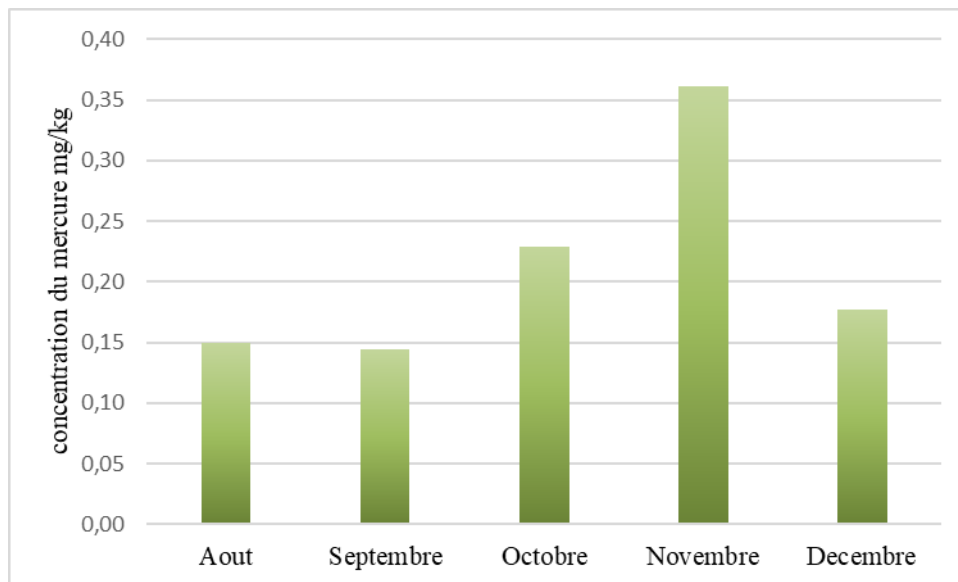


Figure 23. La concentration moyenne du mercure de toutes les espèces pendant cinq mois.

B. La concentration totale du mercure entre les espèces du chaque mois

La figure 24 résume la concentration moyenne de mercure dans les quatre types de poissons pendant cinq mois qui exprime une différence dans chaque mois avec chaque espèce.

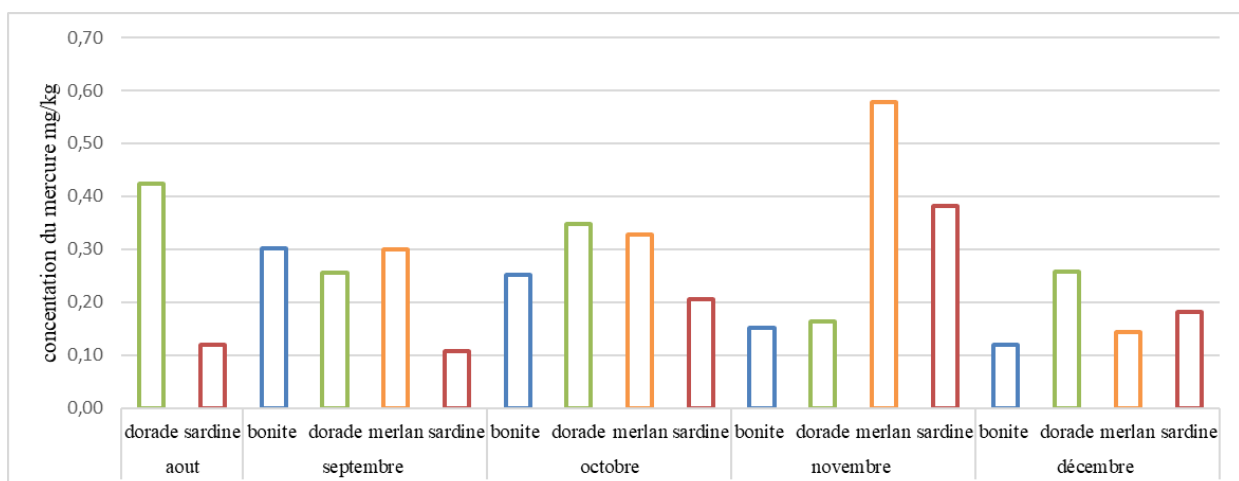


Figure 24. La concentration moyenne du mercure dans les espèces pendant chaque mois.

I.3 ESTIMATION DU RISQUE SANITAIRE :

Estimation du risque sanitaire de consommation des espèces étudié montrant dans le tableau ci-dessous des valeurs EWI et HQ inférieur à la norme

Tableau 5. Estimation du risque sanitaire lié à la consommation des poissons étudiés.

Espèce étudiée	EWI ($\mu\text{g}/\text{Kg}/\text{Semaine}$)				HQ (%)			
	Formule	Moyenne \pm ET	Min	Max	Formule	Moyenne \pm ET	Min	Max
Sardine	EWI = (Concentration x IR)/BW	1,09 \pm 0,11	0,56	2,45	HQ = EWI/RFD	33,0 \pm 3,3	16,9	74,3
Merlan		1,69 \pm 1,37	0,90	5,06		51,3 \pm 41,4	27,2	153,4
Dorade		1,71 \pm 1,13	0,19	4,33		51,8 \pm 34,3	5,8	131,3
Bonite		1,47 \pm 0,86	0,76	3,04		44,6 \pm 26,1	23,1	92,0

IR : 0.38kg/semaine

BW : 60kg

RFD: 3.3 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semaines}$

Le tableau 6 présente estimation le risqué de consommation d'une pièce de poisons qui montre un EWI et HQ élevée pour la bonite par rapport aux autres espèces.

Tableau 6. Estimation du risque sanitaire lié à la consommation d'une pièce de poisson.

Espèce étudiée	Formule	EWI ($\mu\text{g}/\text{Kg}/\text{Semaine}$)				HQ (%)				Nombre de pièces pour dépasser le HQ	Valeur p
		Poids de chaque pièce (Kg)	Moyenne \pm ET	Min	Max	Formule	Moyenne \pm ET	Min	Max		
Sardine	EWI = (Concentration x IR) / BW	0,02	0.06 \pm 0.01	0,03	0,13	HQ = EWI/RfD	1.7 \pm 0.2	0,9	3,9	58,33	< 0.05
Merlan		0,18	0.64 \pm 0.42	0,42	2,37		24.0 \pm 19,4	12,7	71,8	4,16	
Dorade		0,3	0.88 \pm 0.15	0,15	3,38		40.4 \pm 26.7	4,6	102,4	2,48	
Bonite		1,9	4.26 \pm 3.72	3,77	15,00		220 \pm 129	114,2	454,6	0.54	



CHAPITRE III.

DISCUSSION

Limite de l'étude

Notre travail sur la contamination mercurielle des poissons commercialisée en Algérie a montré des limites par certains facteurs :

L'étude a été faite uniquement sur deux villes intérieures. Nous n'avions que des données préliminaires des zones de pêches des poissons et qui ne permet donc pas de détecter la source initiale de la pollution mercurielle. En plus, Les deux villes sont loin de la mer et les poissons peuvent être exposés aux polluants durant le stockage et le transport.

Le travail a été réalisé sur une durée de cinq mois et ne permet pas de réaliser un suivi temporel des concentrations du mercure dans les différentes espèces de poissons.

Un travail sur plusieurs espèces (animales et végétales) en intégrant les endémiques (Spécifiques à la région d'étude) et sédentaires comme les mollusques bivalves filtreurs et la posidonie (*Posidonia oceanica*) dans une longue durée et sur des zones bien déterminées devrait permettre de voir l'évolution des concentrations du mercure dans les poissons au cours de l'année.

III.1 DETERMINATION DE LA CONCENTRATION DU MERCURE DANS LA CHAIR DES POISSONS ETUDIÉS

La concentration moyenne du mercure dans les poissons de notre étude (n=135) est de $0,18 \pm 0,16$ mg/kg avec une valeur minimale de 0.03 mg/kg et une valeur maximale de 0.78 mg/kg. Afin d'évaluer le risque sanitaire pour l'homme, cette valeur a été comparé aux seuils réglementaires nationaux et internationaux.

Tous les poissons analysés sans exception contenaient du mercure dans leur chair, confirmant une pollution mercurielle. En Algérie, les activités anthropiques du fait du développement industriel sont les principales sources de la pollution marine et peuvent provenir de diverses sources telles que la métallurgie, la combustion fossiles et le déversement d'effluents dans la mer. Nos résultats sont en concordance avec les anciennes études effectuées sur les zones côtières de l'Algérie avec quelques différences qui peuvent être expliqué par plusieurs facteurs comme l'espèce du poisson, son âge, son sexe et son alimentation (Zohra & Habib, 2016). Le milieu dans lequel vivent les poissons ainsi que les moyens de transport et de stockage peuvent expliquer la variation avec les autres études.

Cependant, la concentration moyenne du Hg dans nos échantillons était inférieure à la norme de l'OMS (0.5mg/kg), laissant supposer une faible pollution dans les zones de pêches.

Cette supposition est confirmée par le fait que la concentration d'Hg était inférieure au seuil réglementaire pour les poissons analysés. En le comparant aux études précédentes, cette valeur est la plus élevée jamais reporté en Algérie, cependant aucune conclusion ne peut être faite du fait du caractère singulier de ce résultat.

III.2 DETERMINATION DE LA CONCENTRATION DU MERCURE DANS LA CHAIR DE CHAQUE ESPECE

La sardine représente le poisson le plus consommé en Algérie du fait de son faible prix et de sa disponibilité sur les côtes de la méditerranée. Les échantillons de sardine représentent la majorité des échantillons étudiés avec un pourcentage de 77% (n=105). La valeur moyenne du mercure dans ces échantillons était de $0,17 \pm 0,02$ mg/kg [0.09-0.38 mg/kg]. Cette valeur est inférieure à la norme réglementaire internationale.

Le niveau de contamination moyen au Hg était significativement supérieur à celui retrouvé dans d'autres études algériennes et marocaines avec une valeur de $p > 0.05$. (Benguendouz et al., 2017) et (Mehouel & Fowler, 2022) ont rapporté respectivement des valeurs variant 0.02-0.08 mg/kg et 0.08-0.11 mg/kg. Ces résultats mettent en évidence le rôle de la zone de pêche dans la variation de la teneur en Hg des sardines.

La concentration du mercure dans les échantillons de merlan (n=13) indiquent une concentration moyenne $0,26 \pm 0,21$ mg/kg. Sur les 13 échantillons analysés, un seul exprime un taux supérieur à la norme de l'OMS. Le merlan est une espèce prédatrice et représente un maillon élevé de la chaîne trophique. Ce dernier se nourrit essentiellement des petits pélagiques comme la sardine, ce qui peut induire bioaccumulation du mercure (Ahn, 2003). Cette hypothèse confirme avec la différence significative qui existe entre la concentration moyenne du mercure dans la sardine et le merlan ($p < 0.05$).

Notre étude montre des taux élevés par rapport à ce qui a été retrouvé précédemment dans la mer méditerranée. En effet, une étude marocaine a montré que la concentration moyenne de mercure dans le merlan était nettement inférieure avec une valeur de 0.101 ± 0.031 mg/kg (Elhamri et al., 2007).

La concentration moyenne du mercure dans la dorade, qui est une espèce d'élevage était de $0,27 \pm 0,18$ mg/kg. Ce taux même, s'il est inférieur la réglementation actuelle, est préoccupante. Il laisse suggérer une contamination mercurielle des fermes aquatiques, cependant cette hypothèse ne peut se confirmer qu'à travers la mesure du mercure dans la nourriture et l'eau des fermes en question. Nos résultats sont cependant inférieurs à ce qui a été retrouvé en Tunisie récemment avec une valeur de $0,872 \pm 0,57$ mg/kg.

La bonite qui est une espèce prédatrice aussi présentait une concentration moyenne $0,23 \pm 0,13$ mg/kg. Dans notre étude, nous avons été étonnés de la valeur moyenne inférieure du mercure dans la bonite par rapport au merlan et à la dorade. Plusieurs facteurs peuvent être impliqués dans l'explication des différences entre les moyennes de chaque espèce comme la taille du poisson, âge, sexe, cycle de reproduction et l'alimentation.

Le test de Kruskal-Wallis montre des différences significatives entre la concentration du mercure dans la sardine avec la dorade (p-value = 0.041) et avec le merlan (p-value = 0.001) respectivement. Ces résultats peuvent s'expliquer par rapport à la place de la sardine dans la chaîne trophique ; en effet cet animal est un petit poisson et représente la nourriture favorite de poissons plus gros comme le merlan et la dorade. Une autre hypothèse implique le lieu de vie de la sardine ; ce poisson a tendance à vivre dans les eaux de surface évitant ainsi le lieu de stagnation du mercure dans les eaux profondes.

A travers les résultats de notre étude, nous pouvons affirmer de la différence significative du taux de mercure et qui existe entre les différentes espèces de poisson. La sardine contient le moins de mercure suivi de la bonite et enfin du merlan et de la dorade. Cette différence démontre la place de l'espèce animale dans la chaîne alimentaire comme facteur important de l'accumulation du mercure.

III.3 DETERMINATION DE L'INFLUENCE DU LIEU D'ACQUISITION DES POISSONS DANS LA CONCENTRATION DU MERCURE

La concentration moyenne observée dans les échantillons de la ville d'Ouargla (n=82) et de Constantine (n=52) était de $0,20 \pm 0,13$ mg/kg et $0,172 \pm 0,0703$ mg/kg, respectivement. Aucune différence significative n'a été observée dans les échantillons des deux villes malgré les différences des zones de pêches et des conditions de stockage des échantillons.

La comparaison des valeurs moyennes de chaque espèce dans les deux villes n'a montré aucune différence signification a l'exception de la dorade.

Ainsi, le test de Mann Whitney a montré une différence significative du mercure entre la dorade de Ouargla et de Constantine (p-value=0.001). Cette valeur démontre les différents niveaux de pollution entre une ferme et une autre.

A travers les résultats obtenus, nous pouvons affirmer que l'influence de la zone d'achat et par extension, la zone de pêche est négligeable. En effet, la mer méditerranée est une mer presque complètement fermée ; son plein renouvellement prend plus d'un siècle par le détroit de Gibraltar. Les poissons vivants dans cette mer sont soumis pour la majorité, aux mêmes sources de pollution. Ceci explique les taux de mercure quasi similaire entre les poissons vendus à Constantine et Ouargla, et même ceux retrouvé dans la Tunisie et le Maroc.

III.4 DETERMINATION DE L'INFLUENCE DU MOIS DE PECHE DES POISSONS DANS LA CONCENTRATION DU MERCURE

Une augmentation du taux de mercure a été observé tout le long des mois d'aout a novembre puis une diminution été observé le mois de décembre. Le test statistique (kruskalwaliis) exprime une différence significative entre les poissons de mois d'aout et octobre (p-valeur=0.001), entre octobre et novembre (p-value=0.003) et entre octobre et décembre (p-value=0.018).

L'alternance des concentrations de mercure est causée principalement par la disponibilité d'échantillons, la taille et le poids et les phénomènes physico-océaniques comme l'agitation des couches d'eau et qui est influencé par le changement des saisons (modification de la température d'eau).

III.5 ESTIMATION DU RISQUE SANITAIRE

Dans cette étude, nous avons calculé l'apport hebdomadaire estimé (EWI) et quotient du risque (HQ) pour évaluer l'impact sanitaire du mercure associé à la consommation de poisson. Et en comparant les valeurs obtenues par les normes.

Les valeurs de la dose hebdomadaire estimée pour les quatre espèces étudiées sont indiquées dans le tableau 5, la dorade exprime la valeur la plus élevée ($1,71 \pm 1,13 \mu\text{g/kg/semaine}$) par rapport au merlan, bonite et la sardine qui sont situées respectivement au niveau inférieur ($1,69 \pm 1,37$ $1,47 \pm 0,86$ $1,09 \pm 0,11 \mu\text{g/kg/semaine}$). L'analyse des résultats montre que la consommation de ces poissons ne pose pas un risque pour la santé humaine car ils ont des EWI sous la norme de FAO/OMS ($4 \mu\text{g/kg/semaine}$ pour l'Hg).

La variation des EWI entre les quatre espèces est essentiellement due aux certaines concentrations élevées d'Hg pour la dorade, le merlan et la bonite qui dépasse la norme d'OMS ($0,5 \text{ mg/kg}$). Et d'autres facteurs tels que les habitudes alimentaires, la taille des poissons et le taux du mercure dans l'eau.

Les résultats de l'indice HQ dans la dorade ($51,8 \pm 34,3\%$), le merlan ($51,3 \pm 41,4\%$) la bonite ($44,6 \pm 26,1\%$) et la sardine ($33,0 \pm 3,3\%$). Et la comparaison avec la norme mondiale confirme également qu'il n'y a pas du risque potentiel pour la santé des consommateurs.

Le tableau 6 montre les valeurs EWI et HQ pour un poisson, on remarque que l'EWI de la bonite ($4,26 \pm 3,72 \mu\text{g/kg/semaine}$) et l'HQ ($220 \pm 129\%$) sont très élevés qui dépassent les normes et provoquent un risque pour l'homme.

Les doses hebdomadaires estimées de la dorade ($0,88 \pm 0,15 \mu\text{g/kg/semaine}$), le merlan ($0,64 \pm 0,42 \mu\text{g/kg/semaine}$) et la sardine ($0,06 \pm 0,01 \mu\text{g/kg/semaine}$) sont inférieures à la valeur de FAO/OMS qui peut provoquer un danger lors de la consommation. Aussi les valeurs d'HQ sont respectivement $40,4 \pm 26,7$, $24,0 \pm 19,4\%$, $1,7 \pm 0,2\%$ qui ne dépassent pas la norme (100%).

Le test statistique ($p < 0,05$) indique une différence significative entre les espèces due à l'influence de poids des poissons sur l'accumulation du mercure.

Pour le risque due au nombre des poissons ingère (tableau 6) on trouve que la bonite est plus dangereuse par rapport aux autres espèces, ce qui justifie le rôle de poids et le type des poissons (prédateurs et petites pélagiques) sur l'accumulation d'Hg.

D'après l'étude précédente en Tunisie sur *Sparus aurata*, les résultats d'estimation du risque sont supérieurs à nos valeurs. Cette différence est probablement causée par des différents facteurs biologique et écologique (la zone de pêche, la taille...etc.).

CONCLUSION

CONCLUSION

Il s'agit du premier travail sur l'évaluation de la concentration du mercure par la consommation de quatre espèces de poisson en Algérie avec estimation du risque de l'ingestion.

L'étude a été faite sur les poissons vendues dans la ville d'Ouargla et de Constantine et le choix des espèces était basé sur leur position dans la chaîne alimentaire marine.

Les échantillons de poissons collectés dans différentes zones de pêche montrent une variation de la contamination, liée à de nombreuses sources de contamination qu'elles soient naturelles ou surtout anthropiques.

Les résultats de cette étude montrent que les concentrations de mercure dans le tissu musculaire des quatre espèces de poisson étaient inférieures à la limite recommandée par l'OMS, sauf pour le thon qui montre une valeur supérieure à la norme. Ceci est dû à la grande capacité d'accumuler cet élément (un grand prédateur).

Par conséquent, les concentrations dans les espèces ne présentent pas un risque pour la santé des consommateurs. Les valeurs HQ trouvées dans cette étude étaient inférieures à la norme, donc ces résultats ont confirmé l'absence d'un risque sérieux pour la santé.

Cependant, compte tenu des caractéristiques du mercure et des autres polluants qui peuvent nuire à la santé humaine et à l'environnement, d'autres études supplémentaires sont recommandées pour surveiller l'évolution de la concentration de cet élément et d'autres polluants dans les zones de pêches et les fermes d'élevage au futur recherches.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahn, J. (2003). Safety Assessment for Geological Disposal of Radioactive Wastes Set 4-6 Heat Transfer in the Engineered Barriers. *J. Northw. Atl. Fish. Sci*, 33, 23–31.
- Benguendouz, A., Bouderoua, K., Bouterfa, A., Belabes, M., Bekada, A., Sioriki, E., & Zabetakis, I. (2017). Fatty acid profile and assessment of heavy metals content of *Sardina pilchardus* captured in the Algerian coast. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 16(3), 1021–1029.
- Bensefa-Colas, L., Andujar, P., & Descatha, A. (2011). Intoxication par le mercure. In *Revue de Medecine Interne* (Vol. 32, Issue 7, pp. 416–424). <https://doi.org/10.1016/j.revmed.2009.08.024>
- Bernhoft, R. A. (2012). Mercury toxicity and treatment: A review of the literature. *Journal of Environmental and Public Health*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/460508>
- Bjørklund, G., Crisponi, G., Nurchi, V. M., Cappai, R., Djordjevic, A. B., & Aaseth, J. (2019). A review on coordination properties of thiol-containing chelating agents towards mercury, cadmium, and lead. *Molecules*, 24(18), 1–32. <https://doi.org/10.3390/molecules24183247>
- Bjørklund, G., Mutter, J., & Aaseth, J. (2017). Metal chelators and neurotoxicity: lead, mercury, and arsenic. *Archives of Toxicology*, 91(12), 3787–3797. <https://doi.org/10.1007/s00204-017-2100-0>
- Boldrocchi, G., Monticelli, D., Omar, Y. M., & Bettinetti, R. (2019). Trace elements and POPs in two commercial shark species from Djibouti: Implications for human exposure. *Science of the Total Environment*, 669, 637–648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.122>
- Bosch, A. C., O'Neill, B., Kerwath, S. E., Sigge, G. O., & Hoffman, L. C. (2017). Metal concentrations and toxicity in South African snoek (*Thyrsites atun*) and yellowtail (*Seriola lalandi*). *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 360–365. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.074>
- Bosch, A. C., O'Neill, B., Sigge, G. O., Kerwath, S. E., & Hoffman, L. C. (2016a). Heavy metal accumulation and toxicity in smoothhound (*Mustelus mustelus*) shark from Langebaan Lagoon, South Africa. *Food Chemistry*, 190, 871–878.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.034>

- Bosch, A. C., O'Neill, B., Sigge, G. O., Kerwath, S. E., & Hoffman, L. C. (2016b). Mercury accumulation in Yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) with regards to muscle type, muscle position and fish size. *Food Chemistry*, *190*, 351–356. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.109>
- Chahid, A., Hilali, M., Benlhachimi, A., & Bouzid, T. (2014). Contents of cadmium, mercury and lead in fish from the Atlantic sea (Morocco) determined by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, *147*, 357–360. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.008>
- Chauvelon, T., Brach-Papa, C., Auger, D., Bodin, N., Bruzac, S., Crochet, S., Degroote, M., Hollanda, S. J., Hubert, C., Knoery, J., Munsch, C., Puech, A., Rozuel, E., Thomas, B., West, W., Bourjea, J., & Nikolic, N. (2017). Chemical contaminants (trace metals, persistent organic pollutants) in albacore tuna from western Indian and south-eastern Atlantic Oceans: Trophic influence and potential as tracers of populations. *Science of the Total Environment*, *596–597*, 481–495. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.048>
- Cinnirella, S., Bruno, D. E., Pirrone, N., Horvat, M., Živković, I., Evers, D. C., Johnson, S., & Sunderland, E. M. (2019). Mercury concentrations in biota in the Mediterranean Sea, a compilation of 40 years of surveys. *Scientific Data*, *6*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0219-y>
- Coulibaly, S., Atse, B. C., Koffi, K. M., Sylla, S., Konan, K. J., & Kouassi, N. J. (2012). Seasonal accumulations of some heavy metal in water, sediment and tissues of black-chinned tilapia *sarotherodon melanotheron* from biétri bay in ebré lagoon, ivory coast. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *88*(4), 571–576. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0522-1>
- Courteaud, J. (2010). *Etude paléoenvironnementale du cycle du mercure à travers sa composante élémentaire gazeuse Hg⁰: De la réactivité de surface à la reconstruction des atmosphères passées grâce aux archives glaciaires*. 205.
- Diderich, R., Doornaert, B., Lacroix, G., Lefèvre, J. P., Lévêque, S., Magaud, H., Morin, a., Oberson, D., Pépin, G., & Tissot, S. (2003). *Mercurio et ses derivados*. <https://substances.ineris.fr/fr/substance/getDocument/2804>
- Diop, M., & Amara, R. (2016). Mercury concentrations in the coastal marine food web

along the Senegalese coast. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(12), 11975–11984. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6386-x>

- dos Santos, R. L., de Sousa Correia, J. M., & dos Santos, E. M. (2021). Freshwater aquatic reptiles (Testudines and Crocodylia) as biomonitor models in assessing environmental contamination by inorganic elements and the main analytical techniques used: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(8). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09212-w>
- Driscoll, C. T., Mason, R. P., Chan, H. M., Jacob, D. J., & Pirrone, N. (2013). C. Driscoll et al., 2013. *Environmental Science & Technology*, 47(10), 4967–4983.
- Elhamri, H., Idrissi, L., Coquery, M., Azemard, S., El Abidi, A., Benlemlih, M., Saghi, M., & Cubadda, F. (2007). Hair mercury levels in relation to fish consumption in a community of the Moroccan Mediterranean coast. *Food Additives and Contaminants*, 24(11), 1236–1246. <https://doi.org/10.1080/02652030701329611>
- Erasmus, V. N., Hamutenya, S., Iitembu, J. A., & Gamatham, J. C. (2018). Mercury concentrations in muscles and liver tissues of Cape monkfish (*Lophius vomerinus*) from the Northern Benguela, Namibia. *Marine Pollution Bulletin*, 135(August), 1101–1106. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.037>
- Filippini, T., Malavolti, M., Cilloni, S., Wise, L. A., Violi, F., Malagoli, C., Vescovi, L., & Vinceti, M. (2018). Intake of arsenic and mercury from fish and seafood in a Northern Italy community. *Food and Chemical Toxicology*, 116, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.04.010>
- Gray, J. S. (2002). *Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist*. 45, 46–52.
- Hasan, M., Rahman, M., Ahmed, A. al, Islam, M. A., & Rahman, M. (2022). Heavy metal pollution and ecological risk assessment in the surface water from a marine protected area, Swatch of No Ground, north-western part of the Bay of Bengal. *Regional Studies in Marine Science*, 52, 102278. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102278>
- Hasselberg, A. E., Wessels, L., Aakre, I., Reich, F., Atter, A., Steiner-Asiedu, M., Amponsah, S., Pucher, J., & Kjellefold, M. (2020). Composition of nutrients, heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons and microbiological quality in processed small indigenous fish species from Ghana: Implications for food security. *PLoS ONE*, 15(11 November), 1–25.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242086>

- Horvat, M. (1996). Mercury Analysis and Speciation in Environmental Samples. *Global and Regional Mercury Cycles: Sources, Fluxes and Mass Balances*, 1–31. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1780-4_1
- Jebara, A., Turco, V. Lo, Faggio, C., Licata, P., Nava, V., Potortì, A. G., Crupi, R., Mansour, H. Ben, & Bella, G. Di. (2021). Monitoring of environmental hg occurrence in tunisian coastal areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph18105202>
- Jones, D. A., & Winter, M. J. (2008). Human health effects of nanomaterials. *AIChE Annual Meeting, Conference Proceedings, 198*, 18–26. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09646-9>
- Kershaw, J. L., & Hall, A. J. (2019). Mercury in cetaceans: Exposure, bioaccumulation and toxicity. *Science of the Total Environment*, 694, 133683. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133683>
- Kourdali, S., Boudjema, K., Meknachi, A., Bounakous, N., Jaouadi, B., Mechri, S., & Badis, A. (2022). An ecotoxicological approach for assessing marine pollution: Comparative study of multi-responses of marine mussels, *Mytilus galloprovincialis* and *Perna perna*, exposed to pollutant heavy metals (copper and lead). *Regional Studies in Marine Science*, 52, 102334. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102334>
- L. Bensefa-Colas, P. Andujar, A. D. (2004). *Intoxication au mercure*. 16(2), 29.
- Lake, T., Rajeshkumar, S., & Li, X. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay. *Toxicology Reports*, 5(January), 288–295. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.01.007>
- Lauwerys, R. R. (1990). Le mercure. *Toxicologie Industrielle et Intoxications Professionnelles*, 170–191.
- Lavoie, R. A., Jardine, T. D., Chumchal, M. M., Kidd, K. A., & Campbell, L. M. (2013). *Biomagnification of Mercury in Aquatic Food Webs: A Worldwide Meta-Analysis*.
- Le Croizier, G., Schaal, G., Point, D., Le Loc'h, F., Machu, E., Fall, M., Munaron, J. M., Boyé, A., Walter, P., Laë, R., & Tito De Morais, L. (2019). Stable isotope analyses

revealed the influence of foraging habitat on mercury accumulation in tropical coastal marine fish. *Science of the Total Environment*, 650, 2129–2140. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.330>

- López-Berenguer, G., Peñalver, J., & Martínez-López, E. (2020). A critical review about neurotoxic effects in marine mammals of mercury and other trace elements. *Chemosphere*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125688>
- Łuczyńska, J., Paszczyk, B., Nowosad, J., & Łuczyński, M. J. (2017). Mercury, fatty acids content and lipid quality indexes in muscles of freshwater and marine fish on the polish market. Risk assessment of fish consumption. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph14101120>
- Mahdi Ahmed, M., Osman Awaleh, M., Rozmaric, M., Blinova, O., Ibrahim Adan, A. B., Said Ismael, I., & Ali Chirdon, M. (2021). Hg and 210Po in consumed fish of the Tadjoura Gulf (Djibouti): Levels and human health risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 172(August), 112855. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112855>
- Mania, M., Wojciechowska-Mazurek, M., Starska, K., Rebeniak, M., & Postupolski, J. (2012). [Fish and seafood as a source of human exposure to methylmercury]. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 63(3), 257–264.
- McKinney, M. A., Dean, K., Hussey, N. E., Cliff, G., Wintner, S. P., Dudley, S. F. J., Zungu, M. P., & Fisk, A. T. (2016). Global versus local causes and health implications of high mercury concentrations in sharks from the east coast of South Africa. *Science of the Total Environment*, 541, 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.074>
- Mehoul, F., & Fowler, S. W. (2022). Review of the toxic trace elements arsenic, cadmium, lead and mercury in seafood species from Algeria and contiguous waters in the Southwestern Mediterranean Sea. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 3288–3301. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17130-0>
- Mezghani-Chaari, S., Hamza, A., & Hamza-Chaffai, A. (2011). Mercury contamination in human hair and some marine species from Sfax coasts of Tunisia: Levels and risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 180(1–4), 477–487. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1800-1>
- Nel, L., Strydom, N. A., & Bouwman, H. (2015). Preliminary assessment of contaminants in the sediment and organisms of the Swartkops Estuary, South Africa. *Marine*

Pollution Bulletin, 101(2), 878–885. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.015>

- Noman, A., Feng, W., Zhu, G., Hossain, M. B., Chen, Y., Zhang, H., & Sun, J. (2022). Bioaccumulation and potential human health risks of metals in commercially important fishes and shellfishes from Hangzhou. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08471-y>
- O'Neill, B., Bosch, A. C., Kerwath, S. E., Sigge, G. O., & Hoffman, L. C. (2017). Presence, concentration and trends of metals: A baseline study of blacktail (*Diplodus sargus capensis*) and hottentot (*Pachymetopon blochii*) along the South African coastline. *Marine Pollution Bulletin*, 121(1–2), 352–356. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.014>
- Ouali, N., Belabed, B. E., & Chenchouni, H. (2018). Modelling environment contamination with heavy metals in flathead grey mullet *Mugil cephalus* and upper sediments from north African coasts of the Mediterranean Sea. *Science of the Total Environment*, 639, 156–174. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.377>
- Patrick, L. (2002). Mercury toxicity and antioxidants: Part I: Role of glutathione and alpha-lipoic acid in the treatment of mercury toxicity. *Alternative Medicine Review*, 7(6), 456–471.
- Rice, K. M., Walker, E. M., Wu, M., Gillette, C., & Blough, E. R. (2014). Environmental mercury and its toxic effects. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 47(2), 74–83. <https://doi.org/10.3961/jpmph.2014.47.2.74>
- Roulet, M. (1997). *Le mercure : son cycle biogéochimique et sa répartition aux échelles planétaires et amazonienne*.
- Sundseth, K., Pacyna, J. M., Pacyna, E. G., Pirrone, N., & Thorne, R. J. (2017). Global sources and pathways of mercury in the context of human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph14010105>
- Thomassin, J. F., Touzé, S., Baranger, P., & Freyssinet, P. (2003). Le mercure et ses composés. Comportement les sols, les eaux et les boues de sédiments. *Brgm/Rp-51890-Fr*, 119p.
- Torres, J., Kacem, H., Eira, C., Neifar, L., & Miquel, J. (2014). Total mercury and selenium concentrations in *Sarpa salpa* and *Balistes capriscus* and in their respective Digenean endoparasites *Robphildollfusium fractum* and *Neopocreadium chabaudi* from

Tunisia. *Acta Parasitologica*, 59(4), 580–585. <https://doi.org/10.2478/s11686-014-0293-4>

- Uren, R. C., Bothma, F., Van Der Lingen, C. D., & Bouwman, H. (2020). Differences in Metal Compositions and Concentrations of Sympatric Predatory Fish and Squid from the South Atlantic Ocean. *African Zoology*, 55(4), 278–291. <https://doi.org/10.1080/15627020.2020.1810121>
- Voegborlo, R. B., Adimado, A. A., & Ephraim, J. H. (2007). Total mercury distribution in different tissues of frigate tuna (*Auxis thazard thazard*) from the atlantic coastal waters of Ghana, Gulf of Guinea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132(1–3), 503–508. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9552-7>
- Voegborlo, R. B., Baah, D. A., Kwaansa-Ansah, E. E., Adimado, A. A., & Ephraim, J. H. (2004). Mercury concentrations in fish species from the gulf of Guinea, Ghana. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 73(6), 1057–1064. <https://doi.org/10.1007/s00128-004-0532-8>
- Voegborlo, R. B., Matsuyama, A., Akagi, H., Adimado, A. A., & Ephraim, J. H. (2006). Total mercury and methylmercury accumulation in the muscle tissue of frigate (*Auxis thazard thazard*) and yellow fin (*Thunnus albacares*) tuna from the gulf of Guinea, Ghana. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 76(5), 840–847. <https://doi.org/10.1007/s00128-006-0995-x>
- Weichselbaum, E., Coe, S., Buttriss, J., & Stanner, S. (2013). Fish in the diet: A review. *Nutrition Bulletin*, 38(2), 128–177. <https://doi.org/10.1111/nbu.12021>
- Wilschefski, S. C., & Baxter, M. R. (2019). Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: Introduction to Analytical Aspects. *Clinical Biochemist Reviews*, 40(3), 115–133. <https://doi.org/10.33176/AACB-19-00024>
- Younis, E. M., Abdel-warith, A. A., Al-asgah, N. A., Elthebite, S. A., & Rahman, M. (2021). Saudi Journal of Biological Sciences Nutritional value and bioaccumulation of heavy metals in muscle tissues of five commercially important marine fish species from the Red Sea. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(3), 1860–1866. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.038>
- Yu, X., Liu, C., Guo, Y., & Deng, T. (2019). Speciation analysis of trace arsenic, mercury, selenium and antimony in environmental and biological samples based on hyphenated techniques. *Molecules*, 24(5). <https://doi.org/10.3390/molecules24050926>

- Zhang, S., & Zhou, M. (2020). Comparison of DMA-80 and ICP-MS Combined with Closed-Vessel Microwave Digestion for the Determination of Mercury in Coal. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8867653>
- Zheng, N., Wang, S., Dong, W., Hua, X., Li, Y., Song, X., Chu, Q., Hou, S., & Li, Y. (2019). The Toxicological Effects of Mercury Exposure in Marine Fish. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102(5), 714–720. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02593-2>
- Zohra, B. S., & Habib, A. (2016). Assessment of heavy metal contamination levels and toxicity in sediments and fishes from the Mediterranean Sea (southern coast of Sfax, Tunisia). *Environmental Science and Pollution Research*, 23(14), 13954–13963. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6534-3>
- Zrelli, S., Amairia, S., Chaabouni, M., Oueslati, W., Chine, O., Nachi Mkaouar, A., Cheikhsbouii, A., Ghorbel, R., & Zrelli, M. (2021). Contamination of Fishery Products with Mercury, Cadmium, and Lead in Tunisia: Level's Estimation and Human Health Risk Assessment. *Biological Trace Element Research*, 199(2), 721–731. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02179-8>

ANNEXES



RÉSUMÉ

Le mercure est un élément trace métallique particulièrement dangereux dans les écosystèmes aquatiques. Il possède la capacité de s'accumuler dans les poissons et peut ainsi exposer l'être humain qui les consomme à des risques sanitaires importants.

Cette étude a été réalisée dans le but de déterminer la concentration du mercure dans quatre espèces de poissons commercialisés dans les villes de Ouargla et de Constantine (*Sparusaurata*, *Sardina pilchardus*, *Merlucciusmerluccius* et *Auxisrochei*). 135 échantillons ont été minéralisés puis analysés par spectrométrie d'absorption atomique à vapeur froide au niveau du PT-CRAPC de Ouargla.

Les concentrations moyennes pour chaque espèce sont respectivement de $0,27 \pm 0,18$ mg/kg, $0,17 \pm 0,02$ mg/kg, $0,26 \pm 0,21$ mg/kg et $0,23 \pm 0,13$ mg/kg. Ces moyennes sont inférieures à la norme recommandée par l'OMS (0.5 mg/kg), cependant certains échantillons contenaient des niveaux dépassant cette dernière. Le taux du mercure exprimait une différence significative entre les espèces étudiées, la région et les mois de collecte. Les données sur les apports hebdomadaires estimés et le risque d'effet sanitaire suggèrent peu de danger pour un consommateur occasionnel, cependant elles démontrent l'impact de la position de chaque espèce de la chaîne trophique dans l'accumulation du mercure. La consommation de poissons prédateurs est ainsi plus préoccupante pour la santé des consommateurs. Ces données même si elles sont limitées à deux régions du territoire algérien, sont importantes pour informer la population du potentiel toxique de la consommation accrue de ces poissons.

Mots clés : Mercure. Poissons. Algérie. Risques. Consommation

ABSTRACT

Mercury is a particularly dangerous trace metal in aquatic ecosystems. It has the ability to accumulate in fish and can thus expose humans who consume it to significant health risks.

This study was conducted to determine the concentration of mercury in four species of fish traded in the cities of Ouargla and Constantine (*Sparus avarata*, *Sardina pilchardus*, *Merluccius merluccius* and *Auxis rochei*). 135 samples were mineralized and analyzed by cold vapor atomic absorption spectrometry at the PT-CRAPC of Ouargla.

The average concentrations for each species are respectively 0.27 ± 0.18 mg/kg, 0.17 ± 0.02 mg/kg, 0.26 ± 0.21 mg/kg and 0.23 ± 0.13 mg/kg. These averages are below the WHO recommended standard (0.5 mg/kg), however, some samples contained levels above the WHO standard. Mercury levels differed significantly between species, region and months of collection. The data on estimated weekly intakes and health risk assessment suggest little danger to the casual consumer, but demonstrate the impact of the position of each species in the food chain in the accumulation of mercury. Consumption of predatory fish is thus of greater concern for the health of consumers. These data, even if limited to two regions of the Algerian territory, are important to inform the population of the toxic potential of the increased consumption of these fish.

Keywords: Mercury. Fish. Algeria. Health risk assessment. Consumption

ملخص

الزئبق هو معدن ذو أثر خطير بشكل خاص على النظام البيئي المائي لقدرته على التراكم في الأسماك وبالتالي يمكن أن تعرض البشر الذين يستهلكونها لمخاطر صحية كبيرة .

أجريت هذه الدراسة لتحديد تركيز الزئبق في أربعة أنواع من الأسماك المتداولة في مدينتي ورقلة و قسنطينة (القاجوج الملكي، سمك السردين،سمك البياض،بونينو). تم إزالة المادة العضوية ل 135 عينة وتحليلها بواسطة مطياف الامتصاص الذري للبخار البارد في الأرضية التقنية للتحاليل الفيزيائية والكيميائية ورقلة حيث بلغ متوسط التركيزات لكل نوع على التوالي 0.18 ± 0.27 ملغ/كغ و 0.02 ± 0.17 ملغ/كغ، 0.21 ± 0.26 ملغ/كغ، 0.23 ± 0.13 ملغ/كغ.

هذه المتوسطات أقل من المعيار الموصى به من منظمة الصحة العالمية (0.5 ملغ / كغ)، ومع ذلك، تحتوي بعض العينات على مستويات أعلى من معيار منظمة الصحة العالمية. اختلفت مستويات الزئبق اختلافا كبيرا على حسب الأنواع والمنطقة وأشهر الجمع. وتشير البيانات المتعلقة بالمأخذ الأسبوعية المقدره وتقييم المخاطر الصحية إلى وجود خطر ضئيل على المستهلك العادي، ولكنها تبين تراكم الزئبق على حسب موضع كل نوع في السلسلة الغذائية. وبالتالي فإن استهلاك الأسماك المفترسة هو مصدر قلق أكبر لصحة المستهلكين حتى لو اقتصررت هذه البيانات على ولايتين من الجزائر وكما أن هذه الدراسة هي وسيلة مهمة لإعلام الناس بان زيادة استهلاك هذه الأسماك يؤدي إلى التسمم الزئبقي .

كلمات المفتاحية: الزئبق. السمك. الجزائر. تقييم المخاطر الصحية. استهلاك

