

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

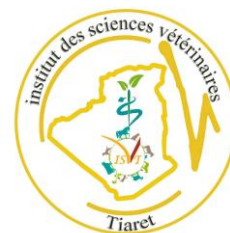
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE IBN KHALDOUN DE TIARET

INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES

Laboratoire de Reproduction des Animaux de la Ferme



Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat

En sciences vétérinaires

SOUS LE THÈME

CONTROLE DE L'INDUSTRIE THONIERE EN ALGERIE

Présentée par : M^{lle} HANIS Fawzia

Jury :

Président :	BENALLOU Bouabdellah	Professeur	Univ. de Tiaret
Directeur de thèse :	ABDELHADI Si Ameer	Professeur	Univ. de Tiaret
Co-Directeur de thèse :	BOUAMRA Mohammed	Professeur	Univ. Ain Témouchent
Examineur :	ZIANE mohammed	Professeur	Univ. Ain Témouchent
Examineur :	SELLES Sidi Mohammed Ammar	Professeur	Univ. de Tiaret
Examineur :	AMMAM Abdelkader	Professeur	Univ. de Saïda

Année 2024-2025

Remerciements

Je remercie tout d'abord le bon Dieu de m'avoir donné la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Mes sincères remerciements à mon promoteur Pr. Abdelhadi Si Ameur, qui m'a guidée et conseillée tout au long de la réalisation de ce travail, pour son encouragement et sa disponibilité sans aucune limitation.

Au Pr. Bouamra Mohamed pour les conseils, encouragements, soutien et orientations qu'il m'a prodigué, merci infiniment

Je voudrais également adresser mes sincères remerciements au Pr. Benallou Bouabdellah, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de mon travail de Doctorat. Qu'il trouve ici l'expression de ma plus profonde gratitude et mes plus vifs remerciements

Et avec un remerciement exceptionnel au Pr. Ziane Mohammed. Pr. Selles Sidi Mohammed Ammar, et Pr Ammam Abdelkader, qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'examiner mon travail.

Qu'ils trouvent ici l'expression de mes vifs remerciements et mes sincères respects

Mes sincères remerciements vont aussi :

À l'Organisation Algérienne pour la protection et l'orientation des consommateurs et de leur environnement.

Je remercie infiniment Dr Fadi Tamim et Dr Moustapha Zebdi, un grand merci

Je tiens spécialement à remercier Dr. Mimi Hadjari de m'avoir aidé dans ce travail.

Et tous les personnels de Ministère de la Pêche et des Productions Halieutique

Un grand remerciement aux personnels du laboratoire de Centre de recherche nucléaire de Birine (Djelfa, Algérie) et le laboratoire de centre de recherche scientifique et technique en analyses physico chimiques (plateau Ouargla, Algérie).

À tous les enseignants du l'Institut des Sciences Vétérinaires sans exception.

Sans oublier de remercier mes collègues et mes amis.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents,

À mes chères sœurs ; Fatima, Salîha et Amel

À mes chers frères ; Abdelkader, Bouabdellah,

À Imad Eddine, Mohamed, Rinad, Amir, Rinad, Assinat et Jouri

Aux maris de mes sœurs ; Elhadj et Djilali,

À toute ma famille,

À mes très chères amies ; Hanane et Hajer

À toute mes amis.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS

DEDICACES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABRÉVIATIONS

RÉSUMÉ

INTRODUCTION.....	1
<i>PARTIE I : PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE</i>	6
1 Généralité sur le Thon (poisson et conserve).....	5
1.1 Le poisson de Thon.....	5
1.2 Les différentes espèces de Thon	6
1.3 La pêche de Thon en Algérie.....	7
1.4 Qualité nutritionnelle des poissons.....	7
1.5 Le conserve de Thon.....	10
1.5.1 Historique et définition des conserves	10
1.5.2 Les espèces utilisées en conserverie Thonière et les différentes méthodes de capture	11
1.5.3 Fabrication des conserves.....	11
2 Généralités sur les éléments traces métalliques	12
2.1 Définition des ETM.....	12
2.2 Classification des métaux lourds	13
2.2.1 Les métaux essentiels	13
2.2.2 Les métaux toxiques.....	13
2.3 Origine des métaux lourds.....	14
2.4 Bioaccumulation des métaux lourds.....	14
2.4.1 La bioaccumulation par l'individu : la bioconcentration	14
2.4.2 La bioaccumulation entre individus : la bioamplification.....	15
2.4.3 Mécanismes de bioaccumulation des métaux-traces chez les organismes aquatiques	15
2.4.4 Pénétration et devenir des métaux chez le poisson	16
2.5 Devenir des métaux dans le milieu aquatique, Spéciation et biodisponibilité	17
2.6 Effets des métaux sur la vie aquatique et la santé humaine.....	18
3. Caractéristiques générales des éléments traces étudiés dans les conserves de Thon	19

3.1.	Le mercure (Hg).....	19
3.2.	L'arsenic (As)	22
3.3.	Le cadmium (Cd)	23
3.4.	Le plomb (Pb)	25
3.5.	Le Zinc (Zn).....	26
3.6.	Le Fer (Fe)	28
3.7.	Le manganèse (Mn)	29
3.8.	Le Chrome (Cr).....	30
3.9.	Le cuivre (Cu).....	31
3.10.	Le nickel (Ni)	33
3.11.	Molybdène (Mo)	34
3.12.	Calcium (Ca)	36
3.13.	Magnésium (Mg).....	37
4.	Les méthodes d'analyses des éléments traces métalliques	39
4.1.	La spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES).....	39
4.1.1.	Principe de l'ICP-OES	40
4.1.2.	Application.....	41
4.1.3.	Entretien et maintenance de l'ICP-OES.....	41
4.1.4.	Avantage et inconvénient de l'ICP-OES.....	41
4.2.	Spectrophotométrie d'absorption Atomique (SAA).....	42
4.2.1.	Instrumentation de la SAA.....	42
4.2.2.	Principes de la SAA	43
4.2.3.	Domaines d'application.....	44
4.2.4.	Avantage de la Spectrophotométrie d'absorption Atomique (SAA)	44
4.2.5.	Inconvénient de la Spectrophotométrie d'absorption Atomique (SAA).....	44
4.3.	Spectrométrie d'absorption atomique à vapeur froide (CV-AAS).....	45
	<i>PARTIE II : PARTIE EXPERIMENTALE</i>	30
5.	Chapitre II : Aperçu du secteur de production et transformation de Thon et évaluation de consommation de conserve de Thon en Algérie	46
5.1.	Matériels et méthodes	46
5.1.1.	Aperçu du secteur de production et transformation de Thon en Algérie	46
5.1.2.	Évaluation de la consommation des conserves de Thon en Algérie	46
5.1.3.	Description de la zone d'étude	47
5.1.4.	Échantillonnage	48

5.1.5.	Description de questionnaire	48
5.2.	Analyse statistique.....	48
5.3.	Résultats.....	49
5.3.1.	Aperçu du secteur de production et transformation de Thon en Algérie	49
5.3.1.1.	Importations et exportations Algérienne des Thonidés par types et espèces de Thon (tonnes) durant les années 2023/2024	49
5.3.1.2.	Importations et exportations Algérienne des Thonidés par pays (tonnes) pour les années 2023/2024	50
5.3.1.3.	Évolution de nombre des conserveries de Thon en boîte en Algérie durant la période 2023/2025	50
5.3.1.4.	Distribution des conserveries de Thon en conserve et autres unités de transformation des produits halieutiques en Algérie pour l'année 2025	51
5.3.1.5.	Provenance de la matière première pour la production de Thon en conserve en Algérie	52
5.3.1.7.	Exportation des produits de Thon en conserve en Algérie	53
5.3.2.	Évaluation de la consommation des conserves de Thon en Algérie	53
5.3.2.1.	Répartition des individus de l'échantillon selon le sexe.....	53
5.3.2.2.	Répartition des individus de l'échantillon selon l'âge.....	54
5.3.2.3.	Répartition des individus de l'échantillon selon la catégorie sociale professionnelle	54
5.3.2.4.	Répartition des individus de l'échantillon selon la région	55
5.3.2.5.	Répartition de la consommation de Thon en conserve chez les individus participant à l'étude.....	55
5.3.2.6.	Répartition de la consommation de Thon en conserve chez les femmes enceintes	56
5.3.2.7.	Répartition de la consommation de Thon en conserve chez les femmes qui allaitent	56
5.3.2.8.	Répartition de la consommation de Thon en conserve selon la tranche l'âge	56
5.3.2.9.	Répartition de la consommation de Thon en conserve selon la catégorie sociale professionnelle	57
5.3.2.10.	Répartition de la consommation de Thon en conserve selon la région.....	58
5.3.2.11.	Répartition de la consommation de Thon en conserves au sein des familles	58
5.3.2.12.	Fréquence de consommation de Thon en conserves.....	59
5.3.2.13.	Raison de consommation de Thon en conserve.....	59

5.3.2.14.	Proportion de consommation de Thon en conserve selon leur type	60
5.3.2.15.	Critère d'achat de Thon en conserve pour le consommateur Algérien.....	60
5.3.2.16.	Préférence de l'achat d'une marque spécifique de Thon en conserve	61
5.3.2.17.	Méthode de conservation de Thon en conserve acheter par les participants au questionnaire.....	62
5.3.2.18.	Proportion de la satisfaction sur la présentation de conserve de Thon en Algérie	62
5.3.2.19.	Proportion de la satisfaction sur le prix de conserve de Thon vendu en Algérie	63
5.3.2.20.	Avis de citoyen Algérien sur le Thon en conserve vendu sur le marché Algérien	63
5.4.	Discussions	65
5.4.1.	Aperçu du secteur de production et transformation de Thon en Algérie	65
5.4.2.	Évaluation de la consommation des conserves de Thon en Algérie	68
6.	Chapitre 3 : Détermination des teneurs des éléments traces métalliques au niveau des conserves de Thon vendu en Algérie	74
6.1.	Matériels et méthodes.....	74
6.1.1.	Échantillonnage, préparation et analyses chimiques.....	74
6.1.2.	Vérification de la qualité / assurance qualité (QC/QA)	80
6.2.	Analyse statistique.....	80
6.3.	Résultats.....	81
6.3.1.	Résultats de la contamination de Thon en conserve par les éléments trace métalliques	81
6.3.2.	Effet des variables sur la composition élémentaire du Thon en conserve	84
6.3.2.1.	Répartition de la contamination par les éléments traces détecté dans les conserves de Thon selon le type de liquide d'enrobage.....	84
6.3.2.2.	Répartition de la contamination par les éléments traces détecté dans les conserves de Thon selon la structure de Thon entier et miettes.....	85
6.3.2.3.	Répartition de la contamination par les éléments traces détecté dans les conserves de Thon selon les marques produit dans chaque région	86
6.4.	Discussion.....	88
6.4.1.	Contamination de Thon en conserve par les éléments trace métalliques et comparaison avec la littérature	88
6.4.2.	Effet des variables sur les teneurs des éléments trace métalliques dans les échantillons de Thon en conserve	102

7. Chapitre 4 : Santé humaine et prévention des risques alimentaires (évaluation du risque)	106
7.1. Introduction	106
7.2. Évaluation du risque sanitaire des éléments métalliques.....	106
7.3. Identification des dangers	107
7.4. Évaluation de la toxicité	107
7.5. Estimation des expositions	107
7.6. Évaluation du risque sanitaire.....	107
7.7. Caractérisation des risques	108
7.8. Résultats et discussion.	110
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	108
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Importations et exportations Algérienne des Thonidés par types et espèces de Thon (tonne)	49
Tableau 2: Importations et exportations Algérienne des Thonidés par pays (tonnes) pour les années 2023/2024	50
Tableau 3: Évolution de nombre des conserveries de Thon en conserve en Algérie durant la période 2023/2025	50
Tableau 4: Distribution des conserveries de Thon en conserve et autres unités de transformation des produits halieutiques en Algérie pour l'année 2025	51
Tableau 5: Les limites de détections (ppm)	81
Tableau 6: Teneurs des éléments traces dans les conserves de Thon vendu en Algérie (mg.kg-1).....	81
Tableau 7: Comparaison des valeurs certifiées et calculées du CRM IPE 189 et IPE 172.....	83
Tableau 8: Variation des teneurs des éléments traces dans les conserves de Thon vendu en Algérie selon le type de liquide d'enrobage (mg.kg-1).....	84
Tableau 9: Variation des teneurs des éléments traces dans les conserves de Thon vendu en Algérie selon la structure de Thon (mg.kg-1)	85
Tableau 10: Variation des teneurs des éléments traces dans les conserves de Thon vendu en Algérie selon les marques produit dans chaque région (mg.kg-1).....	87
Tableau 11: Comparaison les valeurs moyennes obtenues des éléments traces métalliques dans le Thon en conserves consommé en Algérie avec les résultats de la littérature	91
Tableau 12: Valeurs de dose de référence (RFD) pour l'équation (2).....	109
Tableau 13: Comparaison entre les apports alimentaires en éléments chimiques des échantillons de Thon en conserve d'Algérie et la dose journalière tolérable	112
Tableau 14: Valeurs du quotient de risque cible (THQ) des éléments destinés à la consommation pour différentes marques de conserves de Thon.....	113
Tableau 15: Évaluation des risques sanitaires totaux liés à la consommation de différentes marques de conserves de Thon.....	114

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Les muscles de Thon (Goujon et Majkowski, 2025)	5
Figure 02: Contamination de l'homme par le biais de la chaîne alimentaire.....	17
Figure 03: La composition d'un spectromètre ICP-OES (Corneillat, 2007).....	41
Figure 04:Schéma de base d'un appareil de spectrométrie d'absorption atomique (Chahid, 2016).....	43
Figure 05: Carte géographique d'Algérie.....	47
Figure 6: Unités de transformation de Thon en conserve, région Est de l'Algérie.....	51
Figure 7: Unité de transformation de Thon en conserve, Oran (Algérie) (A).....	52
Figure 8: Unité de transformation de Thon en conserve, Oran (Algérie) (B).....	52
Figure 9: Pourcentage des individus de l'échantillon selon le sexe	53
Figure 10: Tranche d'âge des individus de l'échantillon	54
Figure 11: Pourcentage des individus de l'échantillon selon la catégorie sociale professionnelle	54
Figure 12: Pourcentage de répartition des individus de l'échantillon selon la région	55
Figure 13: Proportion de la consommation de Thon en conserve chez les individus participant à l'étude	55
Figure 14: Proportion de la consommation de Thon en conserve chez les femmes enceintes	56
Figure 15: Proportion de la consommation de Thon en conserve par les femmes allaitantes	56
Figure 16: Proportion de la consommation de Thon en conserve selon l'âge	57
Figure 17: proportion de consommation de Thon en conserve selon la catégorie sociale professionnelle	57
Figure 18: proportion de consommation de Thon en conserve selon la région	58
Figure 19: Répartition de la consommation de Thon en conserve au sein des familles	58
Figure 20: Fréquence de consommation de Thon en conserve	59
Figure 21: Raison de consommation de Thon en conserve.....	60
Figure 22: Pourcentage de consommation de Thon en conserve selon leur type	60
Figure 23: Critère d'achat de Thon en conserve pour le consommateur Algérien	61
Figure 24: Préférence de l'achat d'une marque spécifique de Thon en conserve.....	61
Figure 25: Méthode de conservation de Thon en conserve acheter	62
Figure 26: Proportion de la satisfaction sur la présentation de conserve de Thon en Algérie	62
Figure 27: Échantillons de Thon en conserve retenues dans l'étude	74
Figure 28: Calibration standards (Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn, As)	76
Figure 29: Les paramètres de SAA	77
Figure 30: Calibration standards Hg	78
Figure 32-40: Les étapes de la minéralisation de Thon en conserve	79
Figure 41-42: La détermination des éléments traces dans les échantillons de Thon en conserve par ICP-OES et CV-AAS	79

LISTE DES ABRÉVIATIONS

As : Arsenic

ATP : Adénosine triphosphate

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry

Ca : Calcium

Cd : Cadmium

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

Cr : Chrome

Cu : Cuivre

CV-AAS : Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry

DHA : Acide docosahexaénoïque

DHE : Dose Hebdomadaire Estimée

DJE : Dose Journalière Estimée

DJE : Dose journalière d'exposition

EPA : Acide eicosapentaénoïque

ETM : Élément Trace Métallique

FAO : Food and Agriculture Organization

Fe : Fer

HCl : Acide chlorhydrique

Hg : Mercure

HI : indice de danger

HNO₃ : Acide nitrique

ICCAT : Commission Internationale pour la Conservation des Thonidés de l'Atlantique

ICM : intervalle de confiance de la moyenne

ICP-OES : Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry

Ifremer : Institut français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

JORDP : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire

LOD : la limite de détection,

L'UL : Underwriters Laboratories

Mg : Magnésium

Mn : Manganèse

Mo : Molybdène

Ni : Nickel

Pb : Plomb

RfD : Reference Doses

THQ : Quotient de danger « Target hasard quotient »

TC : Thon en conserve

UE : Union Européenne

VTR : Valeur Toxicologique de Reference

WHO (OMS) : World Health Organisation (Organisation mondiale de Santé)

Zn : Zinc

Résumé

Le thon en conserve est l'un des aliments les plus appréciés pour son goût délicieux et sa richesse en protéines, acides gras polyinsaturés oméga 3 et vitamine D. La sécurité alimentaire est aujourd'hui une préoccupation universelle. Les métaux lourds se distinguent comme les polluants les plus cruciaux pour les êtres marins, en raison de leur caractère toxique et de leur capacité à s'accumuler. Il est primordial de contrôler constamment la qualité du thon en conserve lorsqu'il s'agit des traces de métaux.

Cette étude visait à fournir une vue d'ensemble du secteur de production et de transformation du thon en conserve, à évaluer sa consommation en élaborant d'un questionnaire, et à examiner les niveaux de métaux toxiques et essentiels dans 11 marques populaires de conserves de thon en sauce tomate et huile vendu en Algérie.

Dans cette recherche, nous mettons en avant les résultats concernant la concentration en éléments présents dans le thon en conserve, obtenus grâce à la spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP OES) pour les éléments tels que Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, As et Zn. Nous avons également utilisé la spectrophotométrie d'absorption atomique à vapeur froide (CV-AAS) pour l'Hg. De plus, l'étude porte sur les variations des concentrations d'éléments traces dans différents types de thon en conserve et l'analyse des risques sanitaires liés aux métaux toxiques dus à la consommation de thon en conserve.

Durant cette étude, nous avons démontré que le secteur de la transformation des produits de la mer joue un rôle crucial dans la valorisation des ressources maritimes, contribuant ainsi à l'économie et à la sécurité alimentaire. L'analyse des données issues de l'étude de la consommation de thon en conserve en Algérie a révélé une forte consommation de ce produit, y compris parmi les enfants, les femmes enceintes et les femmes qui allaitent. Une connaissance moyenne à faible des consommateurs en termes de fréquence de consommation, critères d'achat et méthode de conservation du thon en conserve. Plus de la moitié des participants sondés ont manifesté leur satisfaction quant à la présentation de conserve de thon en Algérie, alors que 55,43% d'entre eux ont déclaré que le coût du Thon en conserve était élevé.

Les résultats ont montré que la concentration des métaux lourds dans les échantillons étudiés variait de 0,0186 à 0,0991 mg.kg⁻¹ pour le (Hg), 49,1099 à 298,8025 mg.kg⁻¹ le (Ca),

0,1285 à 2,1246 mg.kg⁻¹ pour le (Cr), 8,5561 à 55,9432 mg.kg⁻¹ pour le (Fe), 121,2711 à 379,1778 mg.kg⁻¹ pour le (Mg), 0,0767 à 1,2928 mg.kg⁻¹ pour le (Mn), 2,1054 à 3,9532 mg.kg⁻¹ pour le (Mo) et 2,8604 à 35,9042 mg.kg⁻¹ pour le (Zn), tandis que Cu, Pb, Cu, Ni et As, étaient en dessous de la limite de détection (LOD). La majorité des éléments minéraux avaient des concentrations se rapprochant du seuil recommandé par la FAO, excepté, pour le molybdène et le chrome qui étaient un peu au-dessus de la norme. Le cadmium dans certaines marques de conserves de thon (0,2598 mg.kg⁻¹) présente des teneurs plus élevées aux seuils fixé à 0.10 mg.kg⁻¹.

De plus, les conclusions de cette recherche ont indiqué qu'il y avait des différences notables dans les niveaux d'éléments présents dans le Thon en conserve consommé en Algérie, selon la texture du Thon (entier ou en miettes), les deux types de liquides d'enrobage (tomate et huile), ainsi que les différentes marques disponibles dans chaque région.

Le (TTHQ) relevé était inférieure du seuil 1. Cela met en évidence qu'il n'y a aucun risque associé à la consommation de Thon en conserve en Algérie.

Notre étude révèle que les industries agroalimentaires marines nécessitent un contrôle plus sévère et plus strict de la part des entités en charge de la santé publique. De plus, la protection de l'environnement marin face à la pollution est une responsabilité qui demande la vigilance constante des organismes et autorités concernés.

Mots clés : Thon en conserve, production, consommation, éléments traces métal, risque pour la santé, Algérie, la sécurité alimentaire

Abstract

Canned tuna is one of the most popular foods for its delicious taste and richness in protein, omega-3 polyunsaturated fatty acids, and vitamin D. Food safety is a universal concern today. Heavy metals stand out as the most critical pollutants for marine life, due to their toxic nature and ability to accumulate. It is essential to constantly monitor the quality of canned tuna when it comes to trace metals.

This study aimed to provide an overview of the canned tuna production and processing sector, to assess its consumption by developing a questionnaire, and to examine the levels of toxic and essential metals in 11 popular brands of canned tuna in tomato sauce and oil sold in Algeria. In this research, we highlight the results regarding the concentration of elements present in canned tuna, obtained using inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP OES) for elements such as Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, As and Zn. We also used cold vapor atomic absorption spectrophotometry (CV-AAS) for Hg. In addition, the study focuses on variations in trace element concentrations in different types of canned tuna and analyzes the health risks associated with toxic metals due to canned tuna consumption.

During this study, we demonstrated that the seafood processing sector plays a crucial role in the development of marine resources, thus contributing to the economy and food security. Analysis of data from the study on canned tuna consumption in Algeria revealed a high consumption of this product, including among children, pregnant women, and breastfeeding women. Average to low consumer knowledge in terms of consumption frequency, purchasing criteria and storage method for canned tuna. More than half of the participants surveyed expressed satisfaction with the presentation of canned tuna in Algeria, while 55.43% of them stated that the cost of canned tuna was high. The results showed that the concentration of heavy metals in the studied samples ranged from 0.0186 to 0.0991 mg.kg⁻¹ for (Hg), 49.1099 to 298.8025 mg.kg⁻¹ for (Ca), 0.1285 to 2.1246 mg.kg⁻¹ for (Cr), 8.5561 to 55.9432 mg.kg⁻¹ for (Fe), 121.2711 to 379.1778 mg.kg⁻¹ for (Mg), 0.0767 to 1.2928 mg.kg⁻¹ for (Mn), 2.1054 to 3.9532 mg.kg⁻¹ for (Mo) and 2.8604 to 35.9042 mg.kg⁻¹ for (Zn), while Cu, Pb, Cu, Ni, and As, were below the limit of detection (LOD). The majority of mineral elements had concentrations approaching the threshold recommended by the FAO, except for molybdenum and chromium, which were slightly above the standard.

Cadmium in some brands of canned tuna ($0.2598 \text{ mg.kg}^{-1}$) has higher levels than the thresholds set at 0.10 mg.kg^{-1} .

Furthermore, the findings of this research indicated that there were notable differences in the levels of elements present in canned tuna consumed in Algeria, depending on the texture of the tuna (whole or flakes), the two types of coating liquids (tomato and oil), as well as the different brands available in each region. The (TTHQ) recorded was below threshold 1. This highlights that there is no risk associated with the consumption of canned tuna in Algeria.

Our study reveals that marine agri-food industries require stricter and more stringent controls from public health authorities. Furthermore, protecting the marine environment from pollution is a responsibility that requires constant vigilance from the relevant organizations and authorities.

Keywords : canned tuna, production, consumption, trace metals, health risks, Algeria, food safety

ملخص

يعد سمك التونة الأطعمة أحد الاطعمة الأكثر شعبية بسبب مذاقه اللذيذ وثرائه بالبروتين والاحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة اوميجا 3 وفيتامين د. وتعتبر سلامة الغذاء مصدر قلق عالمي اليوم. تعتبر المعادن الثقيلة من أكثر الملوثات خطورة على الكائنات البحرية، وذلك بسبب طبيعتها السامة وقدرتها على التراكم. من الضروري مراقبة جودة التونة المعلبة باستمرار عندما يتعلق الامر بآثار المعادن. هدفت هذه الدراسة إلى تقديم نظرة عامة على قطاع إنتاج وتجهيز التونة المعلبة، وتقييم استهلاكها من خلال تطوير استبيان، وفحص مستويات المعادن السامة والضرورية في 11 علامة تجارية شائعة من التونة المعلبة في صلصة الطماطم والزيت التي تباع في الجزائر. في هذا البحث، نسلط الضوء على النتائج المتعلقة بتركيز العناصر الموجودة في التونة المعلبة، والتي تم الحصول عليها من خلال مطيافية الانبعاث البصري البلازمي المقترن بالحث (ICP OES) لعناصر مثل Ca و Cd و Cr و Cu و Fe و Mg و Mn و Mo و Ni و Pb و As و Zn. لقد استخدمنا أيضاً مطيافية الامتصاص الذري للبخار البارد (CV-AAS) للزئبق. بالإضافة إلى ذلك، تبحث الدراسة في الاختلافات في تركيزات العناصر النزرة في أنواع مختلفة من التونة المعلبة وتحليل المخاطر الصحية المرتبطة بالمعادن السامة الناجمة عن استهلاك التونة المعلبة.

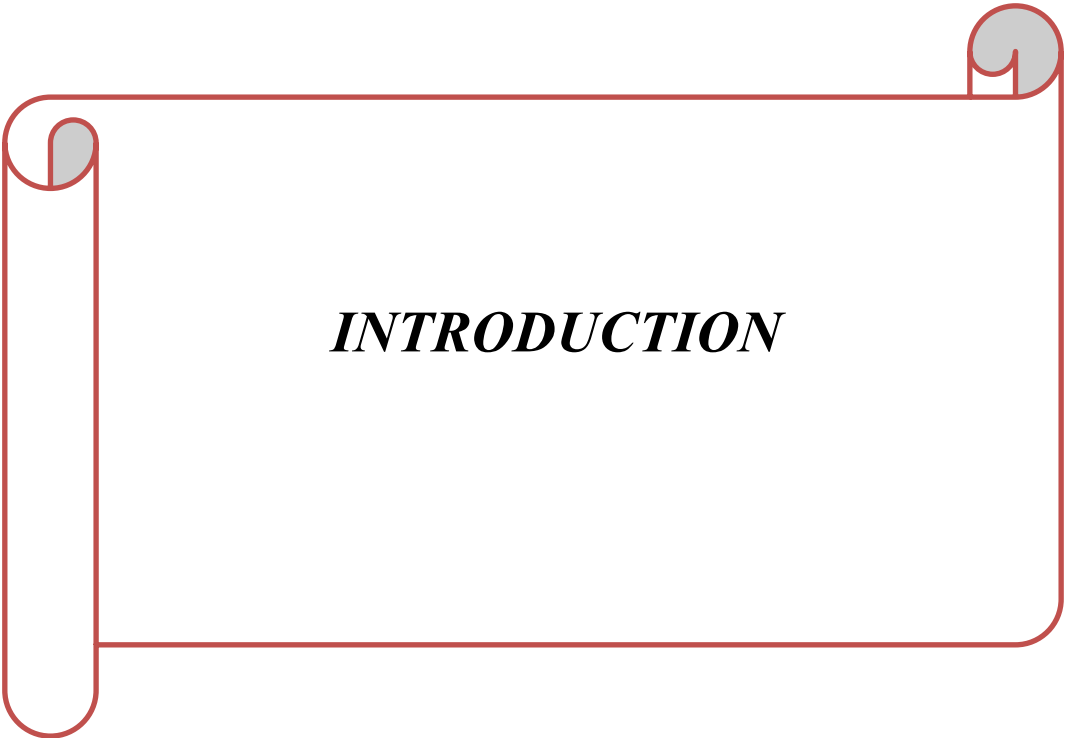
من خلال هذه الدراسة، أثبتنا أن قطاع معالجة المأكولات البحرية يلعب دوراً حاسماً في تنمية الموارد البحرية، وبالتالي المساهمة في الاقتصاد والأمن الغذائي. وأظهر تحليل البيانات المستمدة من دراسة استهلاك التونة المعلبة في الجزائر ارتفاع استهلاك هذا المنتج، بما في ذلك بين الأطفال والنساء الحوامل والمرضعات. معرفة المستهلك من متوسطة إلى منخفضة فيما يتعلق بمعدل الاستهلاك ومعايير الشراء وطريقة تخزين التونة المعلبة. أعرب أكثر من نصف المشاركين في الاستطلاع عن رضاهم عن عرض التونة المعلبة في الجزائر، فيما صرح 55.43% منهم بأن سعر التونة المعلبة مرتفع.

أظهرت النتائج أن تركيز المعادن الثقيلة في العينات المدروسة تراوح بين 0.0186 إلى 0.0991 ملغ كغ⁻¹ للزئبق (Hg) ، 49.1099 إلى 298.8025 ملغ كغ⁻¹ للكالسيوم (Ca) ، 0.128 إلى 2.1246 ملغ كغ⁻¹ للكروم (Cr) ، 8.556 إلى 55.9432 ملغ كغ⁻¹ للحديد (Fe) ، 121.2711 إلى 379.1778 ملغ كغ⁻¹ للمغنيسيوم (Mg) ، 0.0767 إلى 1.2928 ملغ كغ⁻¹ للمنغنيز (Mn) ، 2.1054 إلى 3.9532 ملغ كغ⁻¹ للموليبدينوم (Mo) و 2.8604 إلى 35.9042 ملغ كغ⁻¹ للزنك (Zn) ، في حين كانت مستويات النحاس (Cu) والرصاص (Pb) أقل من حد الكشف. النحاس والنيكل والزرنيخ أقل من حد الكشف (LOD).

كانت تركيزات معظم العناصر المعدنية تقترب من العتبة الموصى بها من قبل منظمة الأغذية والزراعة، باستثناء الموليبدينوم والكروم، اللذين كانا أعلى قليلاً من المعيار. تحتوي بعض ماركات التونة المعلبة على مستويات من الكاديوم (0.2598 ملغ/كغ -1) أعلى من الحد الأقصى المسموح به عند 0.10 ملغ/كغ -1. علاوة على ذلك، أشارت نتائج هذا البحث إلى وجود اختلافات ملحوظة في مستويات العناصر الموجودة في التونة المعلبة المستهلكة في الجزائر، اعتماداً على قوام التونة (كاملة أو شرائح)، ونوعين من السوائل الطلاء (الطماطم والزيت)، بالإضافة إلى العلامات التجارية المختلفة المتاحة في كل منطقة. كان (TTHQ) المسجل أقل من العتبة 1. هذا يبرز أنه لا يوجد خطر مرتبط باستهلاك التونة المعلبة في الجزائر.

تظهر دراستنا أن الصناعات الغذائية البحرية تحتاج إلى رقابة أكثر صرامة وتشددًا من السلطات الصحية العامة. علاوة على ذلك، فإن حماية البيئة البحرية من التلوث هي مسؤولية تتطلب يقظة دائمة من المنظمات والسلطات المعنية.

الكلمات المفتاحية: التونة المعلبة، الإنتاج، الاستهلاك، المعادن الثقيلة، المخاطر الصحية، الجزائر، سلامة الغذاء



INTRODUCTION

INTRODUCTION

La consommation de poisson est recommandée dans le monde entier comme source nutritionnelle de macro et microéléments, minéraux, de vitamines B12 et D (**Fernandes *et al.*, 2012 ; Chen *et al.*, 2022**), protéines et l'Oméga 3 acides gras polyinsaturés, qui peuvent améliorer les bienfaits pour la santé humaine (**Mei *et al.*, 2019 ; Machate *et al.*, 2020**). La quantité annuelle consommée des produits de mer par habitant dans le monde varie d'un pays à l'autre. La moyenne pour 2019 est estimée à 20,5 kg, suivie d'une légère augmentation en 2021. L'Afrique a une variété d'habitudes alimentaires en ce qui concerne les aliments aquatiques. Bien que la consommation moyenne des aliments aquatique en Afrique soit inférieure à la moyenne (**FAO, 2022**).

Le Thon figure parmi les produits marins les plus populaires à l'échelle mondiale. La forme la plus courante de leur consommation est en conserve (**Chemerinski, 2013 ; Guillotreau *et al.*, 2016**). Selon **Kawamoto (2022)**, la consommation mondiale de Thon en conserve s'élève à environ 1,2 kg par habitant. L'Algérie, a souligné des objectifs importants accordée au développement de secteur de la pêche à l'horizon 2025, pour améliorer la consommation nationale par habitant et par an, à 6,5 kg en produits de pêche et d'aquaculture (**ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques Algérie, 2008**).

De nombreuses études ont montré les bénéfices potentiels de la consommation de poissons dans la prévention des maladies cardiovasculaires et des maladies coronaires (**Kris-Etherton *et al.*, 2002 ; Chen *et al.*, 2022**). Des accidents vasculaires cérébraux et des maladies neurodégénératives (**He *et al.*, 2004 ; Huang *et al.*, 2005**), de certaines tumeurs malignes (**Hirose *et al.*, 2003 ; Norat *et al.*, 2005**). Et de la dépression (**Timonen *et al.*, 2004 ; Astorg *et al.*, 2008**). Cependant, la révolution industrielle et technologique du 19ème siècle s'est accompagnée d'une augmentation notable de rejets des substances naturels ou synthétiques, dans l'environnement par les humains, qui ont des effets directs ou indirects sur leur santé et sur l'environnement (**Chahid, 2016**).

En effet, le poisson joue un rôle important dans l'exposition à certains contaminants environnementales (**Llobet *et al.*, 2003 ; Usero *et al.*, 2003**). Le Thon, qui se trouve au sommet de la chaîne alimentaire, est notable pour sa longévité. Cela le rend plus vulnérable à l'accumulation de polluants et de métaux nocifs (**Ikem et Egiebor, 2005 ; Özyurt *et al.*, 2025**).

Les éléments traces métalliques (ETM), tels que le mercure, le cadmium le plomb et les polluants organiques persistants, sont une classe des substances toxiques qui s'accumulent dans les tissus des poissons et se remontent la chaîne alimentaire jusqu'à l'homme (**Storelli, 2008**). Les principaux organes humains touchés par la toxicité du Pb, du Cd et du mercure sont le foie, les reins et le cerveau. En particulier, l'exposition des femmes enceintes au méthylmercure a un impact irréversible sur le développement du système nerveux du fœtus (**Counter et Buchanan, 2004 ; Kim *et al.*, 2006**). Ils ont également des effets durables sur divers tissus, notamment la mutagénicité (**Müller *et al.*, 2000**) ; **Garcia-Leston *et al.*, 2010**, la cancérogénicité (**Beyersmann et Hartwig, 2008 ; Buzard et Kasprzak, 2000**), la tératogénèse (**Semczuk et Semczuk-Sikora, 2001**), l'immunotoxicité et les perturbations endocrinologiques (**Kortenkamp, 2011 ; Lehmann *et al.*, 2011**).

Le Mn et le Zn sont des substances biologiquement fonctionnelles et structurales essentiels (**Narin *et al.*, 2000 ; Ghaedi *et al.*, 2008**). Souvent une concentration élevée de Zn peut induire une néphrite, une anurie et des lésions étendues aux reins (**Iwegbue *et al.*, 2009**). De plus, l'insuffisance cardiaque, des problèmes de peau, des problèmes neurologiques et hépatologiques, ainsi que la mort, peuvent tous résulter d'une exposition à l'arsenic (**ATSDR, 2007**). La génération de radicaux libres liés au stress oxydatif, et des troubles de l'humeur et à d'autres maladies peut être provoquée par une quantité excessive de fer (**Wessling-Resnick, 2017**).

L'évaluation des niveaux de métaux nocifs dans les écosystèmes d'eau douce et marins a été largement étudiée durant la dernière décennie, notamment l'analyse de la pollution des produits alimentaires, en particulier le poisson et leurs dérivés en conserve, dans le but de garantir la salubrité des aliments (**Emami Khansari *et al.*, 2005 ; Tuzen et Soylak, 2007**). En **2012**, **Russo** et ses collaborateurs ont mesuré les concentrations de métaux toxique (Hg, Pb et Cd) dans le Thon emballé sous différentes formes (boîtes ou verre) dans plusieurs pays, dont l'Italie. Ils ont indiqué que les niveaux de Cd et de Hg étaient conformes aux normes établies par le règlement (CE) n° 1831/2003 de la Commission européenne, tandis que les niveaux de Pb excédaient les seuils européens.

Dans une autre recherche menée par **Sadighara *et al* (2022)** visant à mesurer la teneur en métaux lourds dans les conserves de Thon disponibles sur le marché iranien, il a été démontré que la concentration moyenne de chaque métal lourd dans différentes villes était conforme aux limites fixées par l'organisation nationale iranienne de normalisation (INSO)

ainsi qu'aux normes internationales (Codex). Avec des variations notables en termes de concentrations entre les villes.

Selon **Özyurt *et al* (2025)**, qui ont étudié le contenu en métaux nutritifs et nocifs du Thon en conserve vendu en Turquie, ils ont souligné l'importance de ce dernier comme source d'éléments indispensables tels que le calcium, le magnésium et le potassium. Ils n'ont cependant pas ignoré de mentionner la présence de quelques métaux toxiques, notamment le mercure avec une concentration de 0.81mg/kg. D'où la nécessité d'évaluer la teneur en métaux lourds, de nombreuses études ayant démontré une concentration plus importante dans les produits de la mer en conserve (**Kowalska *et al.*, 2020 ; Djedjibegovic *et al.*, 2020**).

Dans le but de préserver la santé humaine et réduire l'exposition alimentaire aux métaux toxiques, des entités telles que l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) délivrent des recommandations concernant la consommation d'oligo-éléments par les êtres humains (**OMS/FAO, 1995**). Le comité mixte FAO/OMS d'experts a recommandé des doses hebdomadaires tolérables provisoires (DHPT) et des doses journalières acceptables pour évaluer la quantité par unité de poids corporel qu'un contaminant pourrait être ingéré au cours d'une vie sans danger pour la santé, en tenant compte de l'additifs alimentaires et certains contaminants présents dans les aliments (**FAO/OMS, 2010**).

En Algérie, les données relatives aux valeurs des éléments traces métalliques présents dans le Thon en conserve commercialisé à l'échelle nationale sont rares voir absente. Néanmoins, les fruits de mer sont considérés comme l'aliment le plus apprécié par le peuple Algérien. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude. De ce fait, les objectifs spécifiques assignés à cette étude étaient :

- 1) Mettre en lumière le secteur de production et de transformation du thon en Algérie
- 2) Évaluer la consommation de conserves de Thon chez les Algériens
- 3) Déterminer les teneurs en éléments traces dans le Thon en conserve commercialisé sur le marché Algérien et vérifier leur conformité relativement aux normes réglementaires.
- 4) Comparer les résultats obtenus avec les niveaux admissibles de la FAO/OMS, et évaluer le risque pour la santé des consommateurs lié à la consommation de Thon en conserve.

Ce travail est divisé sur quatre chapitres :

Le chapitre I : Dans cette première partie, nous allons faire un petit rappelle sur les conserves de Thon, une mise au point des connaissances actuelles sur les métaux lourds et leur toxicité, et les différentes méthodes analytiques des éléments traces métalliques.

Le chapitre II : Présente un aperçu du secteur de production et transformation de Thon et l'étude de la consommation des conserves de Thon en conserve en Algérie avec les résultats et la discussion.

Le chapitre III : Présente les analyses expérimentales pour la mise en œuvre des éléments traces métalliques au niveau des conserves de Thon, l'ensemble des résultats, suivi de la discussion.

Le chapitre IV : Est consacré à l'évaluation des risques sanitaires liés à la consommation des conserves, suivies à la fin par la conclusion et les recommandations.

A decorative orange border shaped like a scroll, with a vertical section on the left and a horizontal section on the right, framing the title. The scroll has a light gray shadow on its inner edge.

PAPARTIE I : PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

1 Généralité sur le Thon (poisson et conserve)

1.1 Le poisson de Thon

Les Thons sont des espèces marines carnivores qui habitent dans les zones pélagiques, Ils appartiennent à la famille des *Scombridae*, (tribu *Thunnini*), et soutiennent l'une des plus importantes pêcheries du monde en termes de débarquements et de valeur économique (Westberry *et al.*, 2008). Les différentes appellations européennes (Thon en français, *atún* en espagnol, *tonno* en italien, ...) proviennent du nom latin *thunnus* lui-même dérivé du nom grec θύννος, (*thýnnos*) dérivé du verbe « *thynno* » qui indique « se précipiter » (Goujon et Majkowski, 2025).

On les trouve dans tous les océans du monde en fonction de la quantité de lumière, de l'oxygène dissous, de température, de pression, de salinité et de nutriment disponibles (NOAA, 2024). Il n'y a pas de groupe homogène de Thons, il y a des différences notables entre les espèces dans leurs caractéristiques physiologiques, leurs tolérances et leurs capacités, ce qui permet à certaines de réaliser des mouvements verticaux importants (Schaefer *et al.*, 2009 ; Shiels *et al.*, 2015). Ces poissons sont très actifs et peuvent déplacer sur de longues distances pendant la journée afin d'exploiter les espèces micro-crustacés migrantes pour leur fournir régulièrement de la nourriture (Bertrand *et al.*, 2002). Les muscles des scombridés se distinguent par leur couleur blanche et rouge. Pendant les courtes périodes d'activité, les muscles blancs sont actifs, tandis que les muscles rouges, avec un poids très importante, permettent au poisson de nager à haute vitesse (jusqu'à 45 km/h) pendant de longue durée sans épuisement (Joseph *et al.*, 1988 ; Bushnell et Holland, 1997).

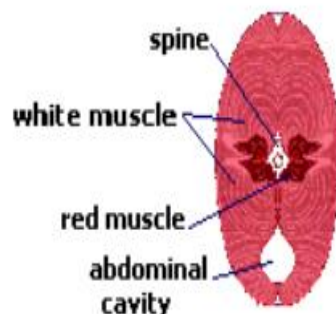


Figure 01 : Les muscles de Thon (Goujon et Majkowski, 2025)

Les scombridés sont très rapidement développés et atteignent leur taille adulte pendant une ou deux années. L'âge, l'espèce et l'emplacement influencent les taux de croissance moyens. Les Thons les plus grands atteignent généralement entre 40 et 55 cm la première année. Les Thons présentent une grande diversité de poids, les plus petits, atteignent un poids maximal d'environ 1 à 2 kg. En revanche, le Thon rouge de l'Atlantique est le plus grand et le plus lourd, pouvant dépasser 600 kg (**Goujon et Majkowski, 2025**). La durée de vie des Thons varie de quelques années à 12 - 15 ans pour les petits Thons. Le record de longévité pour les plus gros « le Thon rouge de l'Atlantique » est d'environ 20 ans (**Cort, 1990**). La maturité sexuelle des Thons se situe généralement entre 2 et 5 ans (**Goujon et Majkowski, 2025**).

1.2 Les différentes espèces de Thon

Il existe Cinq espèces de Thon dans le monde, les principaux de ces poissons sont :

- ✓ **Thon jaune (*Thunnus albacares*)** : elle vit dans les océans tropicaux et subtropicaux, ce poisson peut peser jusqu'à 200 kg et mesurer 2,50 m à l'âge adulte. C'est la deuxième espèce de Thonidés la plus capturée avec 31% des pêches mondiale. Il est largement utilisé dans les conserveries en Europe en raison de sa saveur et de sa texture onctueuse. (**MSC, 2024 ; Ethic Ocean, 2023**).
- ✓ **Le Thon rouge (*Thunnus thynnus*)** : c'est un grand migrateur qui se trouve dans quatre régions : Atlantique Ouest, Atlantique Est et Méditerranée, Pacifique et Sud. Le Thon rouge représente 1 % des prises mondiales. Étant donné sa grande taille, il s'agit d'une espèce de Thon très appréciée pour sa valeur commerciale, et très utilisé dans les sashimis. Le Thon rouge est en majorité commercialisé surtout au Japon, et en France (**MSC, 2024 ; Ethic Ocean, 2023**). Les Thons rouges attrapés par les senneurs en Méditerranée sont chargés dans des cages de transport, puis remorqués vers des fermes d'engraissement au large de l'Espagne, Croatie, l'Italie, Malte, Turquie et de Tunisie. Ils sont nourris afin d'obtenir une chair de qualité conforme aux normes du marché, puis abattus, congelés et principalement exportés vers le Japon. Les poissons sont nourris par des petits poissons pélagiques (entre 2 et 5 kg de poisson sauvage par kg de Thon rouge produit) (**MSC, 2024 ; Ethic Ocean, 2023**).
- ✓ **Le Thon patudo (*Thunnus obesus*)** : Le Thon obèse est l'une des plus grandes espèces de Thonidés à croissance lente, il peut atteindre une taille de 2,30 m et un poids de 210 kg. Il se rencontre dans les mers Indien, Pacifique et Atlantique, et constitue 8 %

des réserves mondiales de Thon. Comme ce type de Thon vit habituellement à des profondeurs plus élevées, elle possède un fort dépôt de graisse, ce qui en fait un excellent choix pour les sashimis (MSC, 2024 ; Ethic Ocean, 2023).

- ✓ **Thon blanc ou Germon (*Thunnus alalunga*)** : C'est l'une des espèces de Thonidés les plus petites. À l'âge adulte, il peut peser 40 kg et mesurer 1,30 m, sa couleur est claire, il se distingue des autres Thons par la taille de ses nageoires pectorales et l'absence de rayures. Il constitue 4 % des prises mondiales, principalement dans l'océan Pacifique (61 %), puis dans l'océan Atlantique (21 %) et l'océan Indien (16 %). En Méditerranée, les captures sont très limitées (2%). Le Japon occupe la première place mondiale dans la pêche du Thon Germon. Il est souvent utilisé en conserve ou frais (MSC, 2024 ; Ethic Ocean, 2023).
- ✓ **Thon listao (*Katsuwonus pelamis*)** : Aussi appelée « bonite à ventre rayé », c'est l'espèce de Thon la plus pêchée avec 56 % des captures mondiales. Très fréquent dans les océans Pacifique, Indien, et Atlantique. L'Indonésie occupe la première place en tant que pays pêcheur. Le *Thon listao* mesure jusqu'à 80 cm et peser 12 kg à l'âge adulte, il est employé dans les boîtes des conserves (MSC, 2024 ; Ethic Ocean, 2023).

1.3 La pêche de Thon en Algérie

L'Algérie l'un des pays côtiers qui possède une riche tradition maritime, s'est reconnue comme un acteur majeur dans la consommation et la pêche du Thon. Pendant longtemps, La pêche du Thon rouge en Algérie a été pratiqué par des palangriers japonais, avec une période annuelle de 45 jours, du 15 avril au 31 mai. Cependant, en 2010, toutes les activités ont été suspendues en raison de la décision de la Commission Internationale pour la Conservation des Thonidés de l'Atlantique « ICCAT » (Neghli et Nouar, 2014).

Durant l'année 2023, L'ICCAT a augmenté la quantité de *Thon rouge* allouée à 368 tonnes par rapport à 2022. L'opération comprend 32 navires portant le pavillon national, dont « 03 bateaux fabriqués localement », contre 29 l'année dernière (APS, 2023).

1.4 Qualité nutritionnelle des poissons

Le poisson est connu pour son apport en nutriments, notamment sa qualité nutritionnelle est liée à la composition de sa chair en macro et micronutriments. Les macronutriments comprennent des protéines, des matières grasses et une faible quantité de

glucides, et les micronutriments comprennent des vitamines et des minéraux qui sont des constituants essentiels (**Balami et al., 2019**) (**Kumar et al., 2020**).

Les poissons ont une composition chimique différente selon l'espèce. Effectivement, la chair de poisson contient entre 70 et 80 % d'eau, une proportion de 6 à 28 % de protéines de qualité supérieure, une teneur très variable en lipides de 0,1 à 67 %, ainsi que des quantités minimales de glucides et de minéraux (phosphore, iode, sélénium, cuivre, fer et calcium) (**Diop, 2008 ; Médale, 2004**). Le muscle blanc est riche en protéines par rapport au muscle rouge, mais il est moins riche en lipides et en glycogène (**Médale, 2008**). De plus, la digestion du muscle du poisson est plus facile que celle des autres protéines animales, car il contient une faible quantité de tissu conjonctif (**Ventakaraman et Chezhian., 2015**). La protéine est présente dans toutes les parties du poisson, elle se divise en trois types principaux : les protéines structurelles, les protéines du tissu conjonctif et les protéines sarcoplasmiques (**Ghaly et al., 2013**). Ces protéines ont une grande valeur biologique, Elles sont facilement digérées et jouent un rôle essentiel dans la croissance et le développement de l'organisme, l'entretien et la réparation des tissus usés, ainsi que la synthèse d'hormones et d'enzymes nécessaires à de nombreux processus corporels (**Tacon et al., 2020**).

Le taux de lipides dans les poissons varie de (0,5 % à 15 %). Ils sont classés en trois catégories : les poissons maigres (0,5 % à 5 %), les poissons demi-gras (5 % à 10 %) et les poissons gras (> 10 %). Ces niveaux diffèrent en fonction de l'espèce considérée, de la taille, du statut physiologique (les conditions d'élevage, maturité des gonades, cycle sexuel et l'âge), la saison de pêche et de la composition énergétique de leur nourriture (**Dehaut, 2014 ; Médale, 2008 ; Zarski et al., 2012 ; Fontagné et Médale, 2010**). On retrouve dans la chair des poissons des acides gras polyinsaturés (AGPI) et mono-insaturés (AGMI). Les principaux acides gras dans la chair du poisson sont les acides gras polyinsaturés à longue chaîne (AGPI-LC) de la série n-3, l'acide eicosapentaénoïque (C20 :5 n-3, EPA) et l'acide docosahexaénoïque (C22 :6 n-3, DHA) actuellement considérés comme les acides gras essentiels en raison des capacités limitées de modification de leur précurseur, l'acide α -linoléique. L'EPA et la DHA fournissent des avantages positifs pour la santé des individus (**Fontagné et Médale, 2010 ; Lefèvre et Bugeon, 2015 ; Dauchy, 2016**). Elle représente 25 % des lipides de la chair des poissons carnivores, tandis que chez les animaux terrestres, elle ne représente que 0,5 à 3 %. (**Médale, 2008**). Elles sont bénéfiques pour prévenir maladies

cardio-vasculaires, maintenir la tension artérielle et favoriser le développement optimal du système nerveux central. **(Iavialle et Layé, 2010 ; Mishra, 2020).**

L'apport en AGPI-LC varie en fonction de la quantité de lipides musculaires et de la composition des acides gras présents dans l'alimentation du poisson **(Lefèvre et Bugeon, 2015)**. Plus la chair de poisson est grasse, plus elle contient davantage d'EPA et de DHA **(Dergal, 2015)**. En outre, pour une même quantité de lipides, la concentration en EPA et en DHA peut varier considérablement d'une espèce à l'autre et au sein d'une même espèce, en fonction de l'alimentation des animaux (du phytoplancton et des algues pour les poissons sauvages, de l'huile pour la nourriture des poissons élevés) **(Girardet, 2012)**. De nos jours, la principale caractéristique nutritionnelle de la chair de poisson est sa teneur en acides gras long polyinsaturés (AGLPI) de la famille n-3 (EPA et DHA) **(Rieu, 2012)**.

Les poissons contiennent une quantité adéquate de toutes les vitamines essentielles à la santé de l'homme, y compris les vitamines hydrosolubles, telles que B6 et B12, ainsi que les vitamines liposolubles, A, E et D. Le Thon, la sardine ou le hareng sont des poissons gras riches en vitamine D et A, qui jouent un rôle crucial dans la croissance et le développement des enfants. Le poisson blanc offre une excellente concentration de vitamines B. La vitamine A occupe un rôle essentiel dans le développement normal, la construction cellulaire, la formation des dents et des os, elle prévient les problèmes de vision et contribue au traitement de nombreuses affections oculaires. La présence de vitamine D favorise une utilisation adéquate du phosphore et du calcium, indispensables à la résistance des os et des dents. En combinaison avec les vitamines A et C, elle contribue à éviter le rhume. La vitamine B joue un rôle primordial dans le bon fonctionnement des enzymes qui favorisent les réactions chimiques dans le corps **(Rieu, 2012 ; Anon, 2017)**. Néanmoins, la teneur en vitamines présentes dans la chair des poissons varie en fonction de l'espèce, de la saison et de la zone géographique où ils vivent, Cependant, l'apport alimentaire est le principal facteur de variation **(Médale, 2008)**.

Les poissons renferment une grande quantité de sels minéraux tels que le chlore, le phosphore, le potassium, le calcium et le soufre. Ils sont la principale source alimentaire d'iode. Les poissons marins contiennent plus d'iode que les poissons d'eau douce. Le fer varie selon les espèces (le maquereau et le Thon se distinguent par leur richesse) **(Girardet, 2012)**. La teneur en sodium est plus élevée chez les poissons marins que chez les poissons d'eau douce, en raison de son pouvoir d'absorption d'eau marine pour compenser la variation de

pression osmotique entre leur environnement intérieur, hypotonique, et leur environnement aquatique, riche en sels. En général, la concentration en sels minéraux dépend de l'alimentation (Rieu, 2012 ; ANSES, 2010 ; Fontagné-Dicharry, 2010).

1.5 Le conserve de Thon

1.5.1 Historique et définition des conserves

L'industrie de la fabrication de conserves alimentaires a été créée en 1795. Nicolas Appert, né le 17 novembre 1749 à Châlons-en-Champagne, était alors confiseur à Paris, découvre qu'il était possible de conserver des aliments à peu près indéfiniment en les faisant chauffer à 100°C dans des récipients en verre hermétiquement serrés en un temps donné. En effet, le scorbut, fléau qui décimait jusque-là les marins privés de vitamine C, a alors disparu. Son invention n'a pas été brevetée par Nicolas Appert. Cependant, il reçoit une bourse du gouvernement impérial pour son procédé universel de conservation à la condition qu'il publie les résultats de ses recherches. Il publia son livre intitulé : *L'art de conserver* pendant plusieurs années toutes les substances animales et végétales (Appert, 1810) en Allemagne, en Angleterre, en Belgique et aux États-Unis. L'appertisation, découverte en France, s'est rapidement propagée et a été utilisée à travers le monde au XIXe siècle. Un Français émigré au Royaume-Uni, Pierre Durand, considéra le verre comme trop fragile et lourd, et recommanda donc l'utilisation d'emballages en fer étamé, connu aujourd'hui sous le nom de fer-blanc. Les contenants en verre ont rapidement été remplacés par la boîte en métal. Dès lors, les aliments appertisés ont pu être conservés pratiquement à l'infini et être transportés sans risque de détérioration. L'appertisation associée à la boîte de métal devient à cette époque la solution d'avenir pour l'essor de la conserverie. De nos jours, par décret français (**Décret, n°55-241.1955**), on identifie autant que conserves « les denrées alimentaires, qu'elles soient animales ou végétales, qui peuvent être conservées en les conditionnant dans un récipient étanche aux liquides, aux gaz et aux microorganismes, à une température inférieure à 55°C, et en les traitant à la chaleur. Ce traitement doit avoir pour objectif de détruire ou d'inhiber les enzymes, les micro-organismes et leurs toxines, qui pourraient altérer la denrée considérée ou la rendre impropre à consommation humaine, tout en maintenant le produit à température ambiante tout en préservant ses qualités nutritionnelles ». Les méthodes de production ont évolué afin de garantir une sécurité accrue et une productivité améliorée, tandis que de nouveaux matériaux ont émergé, permettant ainsi à la boîte de conserve de continuer à se développer. De cette manière, l'aluminium et l'acier sans étain ont été introduits

dans les années 1970-1980, ce qui a permis l'évolution de nouvelles formes de boîtes et la création d'ouvertures simples (Durand, 2014 ; Appert, 1810).

1.5.2 Les espèces utilisées en conserverie Thonière et les différentes méthodes de capture

La conserve est principalement effectuée avec *le Listao*, *l'Albacore*, moins important, *le Germon* (Oceanic Development, Poseidon Aquatic Resource Management Ltd et MegaPesca Lda, 2005). Ces espèces sont principalement capturées par des senneurs (67% des prises à l'échelle internationale) et plus rarement à l'aide des canneurs (10% des prises à l'échelle internationale) (Justel-Rubio *et al.*, 2015). Les Etats-Unis, la Corée du Sud, l'Equateur, l'Espagne, la Papouasie Nouvelle-Guinée (PNG) et Taiwan sont les principaux pays qui possèdent une flotte de senneurs. En 2014, 47% des captures mondiales de senneurs ont été réalisées à partir de ces flottes (Guitton *et al.* 2016). La part des canneurs dans les captures est plus faible et reflète une pêche en baisse en raison de l'augmentation de leurs frais d'exploitation. Aujourd'hui, une partie de leurs captures est utilisée dans le secteur de la conserve écolabellisée (Gillett, 2016). Après leur débarquement, les captures de senneurs destinées aux conserveries sont commercialisées sur les marchés internationaux ou à des sociétés de négoce (Campling, 2012).

1.5.3 Fabrication des conserves

La récolte mondiale de Thon est d'environ 4,9 millions de tonnes métriques (t) Selon Hamilton *et al* (2011), McCluney *et al* (2019) ainsi que l'ISSF (2019). L'industrie de la conserve de Thon exploite 2,5 millions de tonnes de Thon brut, ce qui représente approximativement 50 % du total des captures, pêchées au large mer (Hamilton *et al.*, 2011).

Il existe deux sortes de muscles striés chez le Thon : rouge et blanc ou clair. On considère que la chair de couleur blanche ou claire est propre à la consommation. Cependant la viande rouge est souvent employée comme composant dans les nourritures pour animaux de compagnie (Debeer *et al.*, 2021). On peut trouver deux types de matières première dans les conserveries : le Thon entier congelé (connu sous le nom de Thon brut) ou les longes. Ces deux types de Thon sont utilisés dans diverses conserveries pour leur fabrication (Miyake *et al.*, 2010).

Une fois la matière première, le Thon, réceptionnée, elle est étêtée, éviscérée et filetée. Ensuite, les filets de poisson sont précuit ou bouilli pendant une heure à 100 °C dans une grande marmite afin d'améliorer le processus de nettoyage et permettre aux personnes chargées de l'emballage de disposer d'un peu plus de temps durant leur manipulation (Faire bouillir le poisson interrompt la production d'histamine). Puis séchés et refroidis à température ambiante (14-18 °C) pendant 4 heures. Les étapes ultérieures impliquent la mise en conserve et conditionnement dans des boîtes en métal ou des pots en verre. L'incorporation d'huile, d'eau, de sauce tomate ou de bouillons de légumes à base de haricots, céleri, carottes et oignons. Le sertissage et la stérilisation, suivi de l'étiquetage, le stockage et finalement la distribution (Selmi *et al.*, 2008 ; Debeer *et al.*, 2021).

La Thaïlande, l'Espagne et l'Equateur sont les trois pays les plus importants producteurs de conserves (Guillotreau *et al.*, 2016).

2 Généralités sur les éléments traces métalliques

2.1 Définition des ETM

Les traces métalliques sont des éléments naturels présents dans les roches et dans les gisements minéraux. De plus, ces éléments se retrouvent sous forme de traces dans tous les compartiments de l'environnement (Alloway et Ayres, 1997). Dans les sols, l'eau et l'air, ils ne se dégradent pas et pénètrent dans l'environnement de différentes manières. L'extraction minière, l'utilisation de combustibles fossiles tels que la combustion de déchets, le charbon, les feux de forêt et la fumée de cigarettes (CIRC, 2006).

Ils font partie des substances dangereuses pour l'environnement aquatique en raison de leur persistance et de leur capacité à s'accumuler dans les organismes marins (Harte *et al.*, 1991 ; Schuurmann et Markert, 1998). Comme pour les plantes et les animaux aquatiques, le surplus d'une quantité spécifique dans ces organismes entraîne leur accumulation et leur passage à travers la chaîne trophique. Ils peuvent s'accumuler à des niveaux qui perturbent la survie de certaines espèces naturelles (Benguedda-rahhal, 2012).

Les métaux lourds désignent les substances métalliques naturelles ayant une masse volumique supérieure 5g/cm³ et un numéro atomique élevé. Ils se trouvent dans toutes les parties de l'environnement, mais généralement en petites quantités et ne sont pas biodégradables. Les métaux sont présents en « quantités traces » car ils représentent 0,6 % (en

masse) des composants totaux de la croûte terrestre et sont également considérés comme « la trace » du passé géologique et de l'activité humaine (**Blum, 1990**).

Le mot métal lourd est désormais exclusivement utilisé dans les médias et n'a aucune valeur scientifique (**Picot, 2002**). On applique parfois ce mot par erreur à des éléments en raison de leur toxicité. Effectivement, il existe des métaux toxiques qui sont considérés comme des métaux lourds alors qu'ils sont des métalloïdes (par exemple : l'arsenic). En outre, il y a des métaux lourds essentiels pour les organismes vivants et qui ne sont pas particulièrement lourds (par exemple, le zinc). Pour diverses raisons, la majorité des chercheurs préfèrent utiliser l'expression « éléments traces métalliques » (ETM) ou par extension « éléments traces » (**Miquel, 2001**).

2.2 Classification des métaux lourds

2.2.1 Les métaux essentiels

Sont des éléments qui jouent un rôle crucial à l'état de trace pour de nombreux mécanismes cellulaires (**Miquel, 2001**). Néanmoins, de nombreux d'entre eux peuvent présenter des dangers à des quantités élevées dans l'organisme, tels que le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le fer (Fe). Par exemple, le zinc (Zn), à une concentration de milli molaire, est un oligo-élément qui contribue à de multiples réactions enzymatiques (déshydrogénases, peptidase, protéinase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides (**Kabata-pendias et Pendias, 2001**).

2.2.2 Les métaux toxiques

Sont des substances polluantes qui ont des conséquences néfastes sur les organismes vivants, même à une concentration faible. Aucun rôle positif n'est connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd) (**Behanzin et al., 2014**). Plusieurs caractéristiques rendent ces éléments très toxiques tel que la persistante au cours du temps et la non-biodégradabilité aussi la possibilité de la bioaccumulation et la bioconcentration dans les organismes vivants avec haute toxicité une fois au-delà des limites de tolérances (**Aksas, 2013 ; Uzoekwe et Aigberua, 2019**).

2.3 Origine des métaux lourds

Les métaux présents dans l'environnement ont plusieurs sources. On les retrouve naturellement dans la biosphère, d'une part, ils sont issus, de l'érosion chimique et mécanique des roches et du lessivage des sols, des feux de forêts, de l'activité volcanique et d'altération des continents (**Biney *et al.*, 1995**). D'autre part, anthropiques telles que les émissions des industries chimiques et agro-alimentaires et urbaines, les traitements de déchets radioactifs, l'activité minière et l'irrigation par les eaux usées, utilisation d'engrais et de pesticides dans l'agriculture, ont participé à l'augmentation des concentrations des métaux lourds dans l'environnement aquatique (**Sodango *et al.*, 2018 ; Belanger, 2009 ; Jica *et al.*, 2008**). Ces traces sont donc couramment employées dans les nouvelles technologies (métallurgiques et électroniques). Par exemple, les additifs de plomb sont présents dans les carburants, les batteries d'accumulateurs, les tuyaux, les soudures et les peintures anti-corrosion. Le cadmium ou le nickel est employé dans les batteries d'accumulateurs. Le cuivre et le zinc sont employés dans le domaine de l'électronique et pour la galvanisation de l'acier, ainsi que dans l'automobile. Le mercure (Hg) a de nombreuses applications, notamment dans les alliages dentaires et les piles (**Casas, 2005 ; El Azzi, 2012**).

2.4 Bioaccumulation des métaux lourds

La bioaccumulation fait référence à la capacité des êtres vivants à absorber et à stocker dans l'ensemble ou une partie de leur organisme certaines substances chimiques, qui peuvent être rares dans l'environnement. La bioaccumulation correspond à l'absorption d'une substance par un organisme vivant à une vitesse supérieure à celle avec laquelle il l'excrète ou la métabolise. Il s'agit donc de la totalité des absorptions directes et alimentaires d'un élément par les espèces animales aquatiques ou terrestres. Ces contaminants seront absorbés par les organismes et les composés les plus hydrophobes seront conservés dans des tissus riches en lipides où ils seront susceptibles de s'accumuler en raison de leur durabilité. En cas de métabolisation lente des contaminants, ils pourraient également s'accumuler à chaque étape du transfert entre la proie et le prédateur. (**Casas, 2005 ; Pichard, 2003**).

2.4.1 La bioaccumulation par l'individu : la bioconcentration

Elle désigne le phénomène d'augmentation de la concentration d'un élément (oligo élément, polluant...) en raison de la capacité d'un organisme vivant ou d'une association d'êtres vivants à capter cet élément à partir du milieu et à le conserver. La bioconcentration

permet la bio magnification. Tout d'abord, elle dépend de la persistance plus ou moins élevée de la molécule concernée, ensuite du rapport absorption/excrétion, de la métabolisation, ainsi que de la perte de matière lors de la reproduction, et du taux de croissance de l'organisme en question (Gunnar *et al.*, 2007).

2.4.2 La bioaccumulation entre individus : la bioamplification

La bioaccumulation se produit grâce à l'alimentation des organismes et à travers tout le réseau trophique. Bien sûr, plus la chaîne trophique est longue, plus l'accumulation est significative et plus les conséquences néfastes sont prononcées. Ce type de contamination est particulièrement sensé aux prédateurs, situés dans la partie terminale des chaînes alimentaires (Picot, 2002).

Les plantes, les animaux et les humains accumulent des substances qui sont toxiques, tératogènes ou cancérigènes, ou encore responsables de la mort, de la stérilité et de malformations. L'accumulation de substances toxiques dans le corps peut entraîner des catastrophes, comme dans le cas de la maladie de Minamata qui a affecté près de deux millions d'individus, soit morts, voire gravement empoisonnés par du mercure méthylé par des bactéries, puis concentré par les poissons évoluant en aval des effluents pollués par une usine (l'usine pétrochimique de Minamata, au sud-ouest du Japon, qui utilisait comme catalyseur HgO) (Pichard, 2003 ; Pichard, 2005).

2.4.3 Mécanismes de bioaccumulation des métaux-traces chez les organismes aquatiques

Durant tous les échanges physiologiques avec l'environnement, les molécules externes entrent via les barrières biologiques qui séparent l'environnement interne de l'organisme du milieu externe. Lorsque la contamination se produit, ces barrières (cutanées et respiratoires pour la contamination directe, et intestinales pour la contamination trophique) présentent des caractéristiques biologiques liées à leur structure et aux conditions physico-chimiques de l'environnement (température, électrolytes, pH). Le principal composant impliqué dans ces mécanismes est la membrane plasmique. Les organismes aquatiques capturent les métaux traces par deux voies principales : l'eau (voie directe) et la nourriture (voie trophique). Les métaux traces doivent donc traverser des structures biologiques spécifiques, telles que le revêtement externe et en particulier l'épithélium branchial pour les substances contaminantes présentes dans l'eau, et l'ensemble du système digestif pour les métaux liés aux particules ou

présents dans les proies ingérées. Il est possible de suivre toutes ces voies pour un métal unique et leur importance relative varie en fonction de la forme chimique dans laquelle le métal se trouve dans l'environnement. La complexité de la notion de biodisponibilité réside dans la coexistence de ces mécanismes et dans la dynamique de la spéciation. L'interface Environnement-Organisme a des caractéristiques qui ont un impact significatif sur la forme métallique accumulée. La membrane de cette interface est constituée de lipides, non polaires, et contient des molécules qui jouent un rôle dans le transport des substances polaires essentielles à travers cela (**Bodin, 2005 ; Danis *et al.*, 2005**).

2.4.4 Pénétration et devenir des métaux chez le poisson

Deux voies principales permettent l'entrée des micropolluants dans l'organisme du poisson : une voie respiratoire (par les branchies, la peau ou l'absorption directe au niveau de la muqueuse intestinale) et une voie digestive ou tropique par l'ingestion de proies contaminées. Les poisons, entrant dans les branchies, se propagent immédiatement dans tout le corps et peuvent provoquer des empoisonnements rapides. Les reins jouent un rôle dans l'élimination des substances toxiques dans le sang. Néanmoins, les substances polluantes peuvent être conservées dans l'organisme, principalement dans le foie (**Karine, 1996 ; Kaimoussi *et al.*, 1998**).

Le processus d'excrétion se déroule par défécation, perte par la surface perméable, désorption passive et granules d'expulsion (**Phillips et Rainbow, 1994**).

La présence de concentrations élevées de métaux dans le poisson peut entraîner la production de métallothioneine, qui assure la protection des cellules jusqu'à ce que les métaux soient éliminés des tissus. L'association de la métallothioneine avec le cadmium, le cuivre et le zinc est la plus fréquente. Le foie contient une grande quantité de cette substance, ce qui permet au poisson de supporter des quantités élevées de métaux toxiques (**Miquel, 2001 ; Payen, 2007**).

Selon les recherches sur les processus d'accumulation et d'élimination des éléments traces chez les poissons, il a été prouvé que les éléments traces essentiels tels que le Cu et le Zn sont éliminés plus rapidement des organismes que le Cd et le Hg, ce qui explique leur grande toxicité. En raison de l'absence de régulation du mercure, le flux d'entrée n'est pas

compensé par le flux de sortie, ce qui entraîne l'accumulation de cet élément dans les corps (Lauren et Mc Donald, 1987 ; Duquesne, 1992).

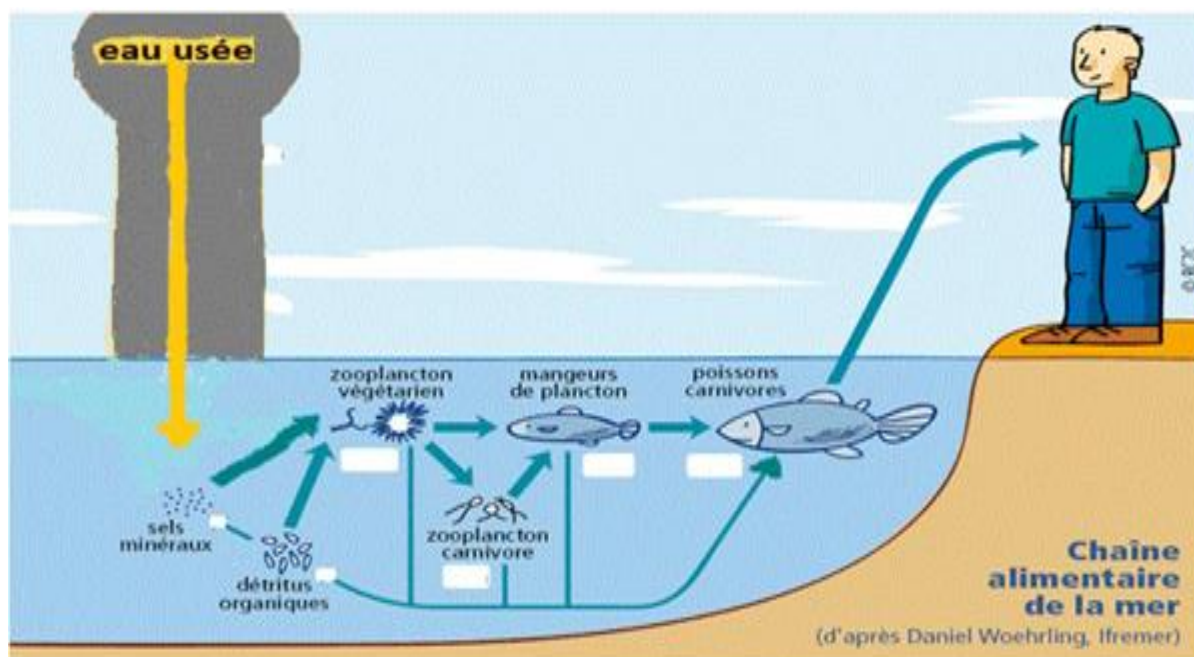


Figure 02: Contamination de l'homme par le biais de la chaîne alimentaire
(Ifremer, 2001)

2.5 Devenir des métaux dans le milieu aquatique, Spéciation et biodisponibilité

La pollution de la mer se concentre principalement sur la zone côtière où les déversements d'usines et d'égouts s'écoulent. Les micropolluants minéraux, qui ne se rassemblent pas dans l'eau elle-même, sont rapidement transportés vers les sédiments, qui constituent la principale source de métaux lourds dans l'environnement aquatique. Là, ils sont en partie métabolisés par les organismes vivants et se propagent à travers la chaîne alimentaire, où leurs toxicités se manifestent. La pollution irréversible est particulièrement inquiétante car il est presque impossible de récupérer facilement ces métaux une fois qu'ils sont dans la nature ; leur rémanence entraîne une accumulation difficilement maîtrisable (Pempkowiak *et al.*, 1999 ; Hossain *et al.*, 2019).

La spéciation est l'ensemble des réactions de complexation entre l'élément chimique et tous les ligands présents dans le milieu. La spéciation du métal a un impact sur sa toxicité et son assimilation par les organismes marins, ainsi que sur sa disponibilité dans la nature (McGeer *et al.*, 2003). La spéciation du métal (la forme chimique) est responsable de

l'absorption du contaminant par les organismes marins à partir de l'eau ou de la nourriture ingérée, Néanmoins, cette fraction assimilée ne constitue qu'une partie du total présent dans le milieu, c'est pourquoi elle est désignée comme fraction disponible, La biodisponibilité est donc définie comme la capacité à s'intégrer au vivant. Elle diffère en fonction des différentes formes chimiques d'un métal et est également influencée par les caractéristiques chimiques de l'eau telles que la salinité, la température et le pH (Casas, 2005). Ainsi, les principaux facteurs qui représentent un risque pour l'environnement et la santé humaine sont la spéciation, la biodisponibilité et la mobilité (Qasim, 2015).

2.6 Effets des métaux sur la vie aquatique et la santé humaine

Les éléments métalliques ont contribué à l'évolution des êtres vivants. Certains métaux ont une fonction essentielle dans les activités biologiques. Les métaux ont la capacité de s'adhérer aux protéines, ce qui entraîne des changements dans la structure moléculaire et le mode d'action de ces dernières. Ces changements de structure peuvent jouer un rôle crucial dans le bon fonctionnement de certaines protéines (comme les enzymes et les pigments respiratoires), ou au contraire entraîner un effet toxique en les désactivant. Les organismes sont capables, dans une certaine mesure d'utiliser et de réguler les concentrations en métaux qui leur sont essentiels. Des effets toxiques apparaissent lorsque cette régulation ne peut plus avoir lieu (Förstner et Wittman, 1983).

Certaines substances telles que le fer, le zinc le cuivre, et le manganèse jouent un rôle significatif dans la croissance et le bien-être des êtres vivants, y compris l'homme. Simultanément, des conséquences néfastes peuvent se produire lorsque ces organismes sont exposés à des concentrations supérieures à celles qu'ils nécessitent habituellement. Le plomb et le cadmium, par exemple, ne sont pas nécessaires aux processus métaboliques et présentent des propriétés toxiques. La présence de métaux lourds dans l'environnement aquatique peut entraîner des répercussions néfastes aiguës ou chroniques sur la vie aquatique, comme le Hg, le Cd, le l'As, Pb, et le Cu, qui entravent la photosynthèse et la croissance du phytoplancton. Il est possible d'absorber les métaux de manière inorganique ou organique (Crichton *et al.*, 2002 ; Mohamed *et al.*, 2013).

L'exposition au cadmium a été associée à une réduction de la durée de la grossesse, de la masse corporelle du nouveau-né et, plus récemment, à des troubles du système endocrinien et /ou immunitaire chez l'enfant. À plusieurs reprises, l'exposition au plomb a été associée à

un retard dans le développement neurocomportemental, totalement identique au méthylmercure, qui a des effets néfastes sur le neurodéveloppement et peut entraîner la mort du fœtus et un retard dans le développement cognitif (Clarkson et Magos., 2006).

3. Caractéristiques générales des éléments traces étudiés dans les conserves de Thon

Treize éléments traces tels Hg, As, Cd, Pb, Zn, Fe, Mn, Mg, Cr, Cu, Ni, Mo, Ca ont été étudiés pour leur propriétés physico-chimiques, biologiques, sources naturelles et anthropiques, utilisations dans le domaine de l'industrie et toxicité.

Ces éléments traces fait l'objet de plusieurs travaux de recherches comme Sadighara *et al* (2022) sur la détermination des concentrations de métaux lourds dans les conserves de Thon et évaluation probabiliste des risques sanitaires en Iran, et (Kowalska *et al* (2020) sur la détermination du niveau d'éléments sélectionnés dans les poissons en conserve et évaluation des risques pour la santé des consommateurs en Pologne.

3.1. Le mercure (Hg)

Le mercure est un métal argenté blanc, brillant, sans odeur, très mobile, dense et insoluble dans l'eau, tout comme dans les solvants organiques. Il s'agit du seuls métal liquide à température normale, mais il s'évapore facilement. Il a un coefficient de dilatation thermique élevé, ce qui le rend très utilisé dans les thermomètres (INRS, 2014).

Il possède la formule chimique Hg, un numéro atomique de 80, et une masse atomique de 200,6 g.mol⁻¹ (Elizalde, 2017). A température ambiante et à sec l'air et l'oxygène ne provoquent pas d'oxydation du mercure, Ce métal se combine aisément avec le soufre et les halogènes (INRS, 2014 ; Picot, 2002).

Environ 30% des émissions de Hg proviennent de sources naturelles telles que, les activités géothermiques, les éruptions volcaniques ou l'érosion des sols ou minéraux contenant naturellement du mercure, principalement sous forme de cinabre (HgS), les incendies de forêt, le dégazage de la croûte terrestre et des eaux de surface (Xu *et al.*, 2015 ; Elizalde, 2017). L'incinération des déchets, la fabrication de ciment et de chlore alcali, l'industrie métallique, la combustion du charbon, sont autant de sources d'émission anthropogéniques de mercure. (Xu *et al.*, 2015 ; Assad, 2017).

Le minerai rouge de cinabre, constitué de sulfure de mercure (HgS), est utilisé pour extraire l'or, produire des colorants, ainsi, le mercure est employé pour fabriquer des thermomètres, des baromètres, des amalgames dentaires, et de certains vaccins ou antiseptiques. On le retrouve encore dans le traitement de la syphilis, il est inclus dans les produits cosmétiques en tant que conservateur et pour éclaircir la peau, ou en médecine traditionnelle chinoise. Il est utilisé dans certains pesticides et fongicides, ainsi que dans l'industrie électrique, comme composant de piles, de lampes et de tubes fluorescents (**Assad, 2017 ; Fishman *et al.*, 2014 ; Angot, 2016**).

Le mercure peut être trouvé dans la nature à l'état métallique élémentaire. Il accèdera principalement dans l'organisme sous forme de vapeurs, par la voie respiratoire. On peut également trouver du mercure sous forme ionisée, principalement sous forme de cation divalent mercurique (Hg^{++}), comme dans les oxydes (HgO), les sulfures (HgS) ou les sels hydrosolubles tels que le nitrate $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$. Toutes ces substances peuvent être trouvées dans les minerais du sol ou dans les procédés de métallurgie du mercure. La forme organométallique est le cation méthylmercurique ($\text{CH}_3 - \text{Hg}^+$) qui est la forme où le mercure est principalement présent dans les animaux marins contaminés tels que les poissons gras (Thons, requins, espadons), les moules, les huîtres et les crustacés (**Picot, 2002**).

Chez l'être humain, la majorité de l'apport de mercure par l'alimentation se présente sous forme de cation méthylmercurique ($\text{CH}_3\text{-Hg}^+$), principalement obtenu par la consommation de produits marins. Les organismes vivants assimilent directement cette forme toxique et la bioaccumulent tout au long de la chaîne trophique. (**Picot, 2002 ; Dutra Maia, 2008**).

➤ Toxicité

Le mercure a trois formes : le mercure élémentaire (Hg^0), le cation mercurieux (Hg^+) et le cation mercurique (Hg^{++}). Le mercure élémentaire a la capacité de se transformer en gaz, ainsi, à l'état de vapeur, le mercure va accéder en grande partie dans l'organisme par les voies respiratoires. La légère liposolubilité du mercure lui permettra de passer aisément dans les alvéoles pulmonaires et de pénétrer dans le sang, où il se répartira dans tout l'organisme. La lipophilie va également lui permettre de franchir la barrière hématoencéphalique, qui protège le système nerveux central, et de perturber le développement de l'embryon chez une femme

enceinte, ce qui peut entraîner soit une fausse couche, soit l'apparition de malformations chez le futur bébé (**Picot, 2002**).

Pendant la période 1953-1956, à Minamata au Japon, les mères exposées pendant leur grossesse et sans aucun symptôme ont donné naissance à des enfants présentant des malformations et des retards staturo-pondéraux (**Abdelouahab, 2010**). On peut aussi constater des troubles psychomoteurs. Tels qu'un retard dans l'apprentissage, la marche, le déficit d'attention et l'autisme, les troubles du langage et de la mémoire, (**Rees, 2010**).

Les composés mercureux ou mercuriques sont peu absorbés par voie digestive, en majorité intestinale (moins de 5 % seront assimilés, le reste étant excrété dans les selles). Il y a des douleurs abdominales, des vomissements sanguins, voire des perforations digestives, une stomatite, une gastroentérite et une colite ulcéro-hémorragique. Le décès peut être causé par un choc hémodynamique, une défaillance cardiovasculaire ou une insuffisance rénale aiguë d'origine d'une nécrose tubulaire. En raison de sa liposolubilité, le cation méthylmercurique va facilement pénétrer dans l'organisme par la voie intestinale (95 à 100 %), puis se dispersera dans le sang et se diffusera rapidement dans le système nerveux central et périphérique. Sa toxicité neurogène provoquera des encéphalites et des polynévrites (**Colas et al., 2011 ; Picot, 2002**).

Le méthylmercure (MeHg) peut entraver la réponse immunitaire aux infections, ce qui peut entraîner l'apparition ou l'aggravation de maladies auto-immunes (**Nyland et al., 2011**). Des conséquences néfastes sur le cœur qui peuvent causer l'athérosclérose, l'infarctus, l'arythmie cardiaque, du myocarde et l'hypertension (**Budnik et Casteleyn, 2019**). Des maladies telles que l'Alzheimer et la Parkinson, le syndrome de Down, la dengue et les cancers peuvent également être causées. (**Rees, 2010 ; Colas et al., 2011, Aaseth et al., 2018 ; Sakamoto et al., 2018**).

La solubilité du mercure métallique (Hg⁰) dans les lipides lui permettra de se fixer dans le système nerveux, en particulier dans le cerveau, provoquant des lésions de type encéphalite. En tant que la forme hydrosoluble du sel mercurique (Hg⁺⁺), la principale cible sera les reins, où l'atteinte entraînera une néphrite mortelle (**Picot, 2002**).

3.2. L'arsenic (As)

L'arsenic a des caractéristiques intermédiaires avec celles des métaux et des métalloïdes. Sa masse atomique est de 74,90 g/mol et son numéro atomique est 33. Il a une température de fusion de 817°C, une température de sublimation de 613°C et une tension de vapeur de 1mm Hg à 372°C. Il se retrouve dans les trois zones de l'environnement (hydrosphère, pédosphère et atmosphère). **(Bentahar., 2016 ; Qasim, 2015).**

Naturellement, l'arsenic est assez présent dans la croûte terrestre, le sol, l'eau, l'air et dans de nombreux minéraux. Il est principalement produit par l'érosion des roches, le lessivage des sols, les émissions volcaniques et les incendies de forêts. La présence d'arsenic dans les sols et l'eau potable est due à la dissolution de dépôts minéraux ou de roches contenant de l'arsenic inorganique (arsénopyrite [FeAsS], souvent lié à l'or). Les principales origines anthropiques sont associées à la production d'arsenic à 97 % sous forme de trioxyde d'arsenic (As₂O₃) également connu sous le nom d'arsenic blanc, ainsi qu'à la consommation de combustibles fossiles (le charbon). Les différentes applications industrielles et agricoles comprennent la fabrication de ciment, d'insecticides, de raticides, d'herbicides, de fongicides, de bactéricides. Les industries de colorants et de métallurgie, d'adjuvants pour l'alimentation animale, d'inhibiteurs de corrosion, de médicaments vétérinaires, d'agents de protection du bois, et a même été utilisé comme premier médicament pour traiter la Syphilis, épiler les peaux en tannerie et mégisserie **(INERIS, 2006 ; La Rocca *et al.*, 2010 ; Saley, 2017 ; Ahoulé, 2016 ; Manahan, 2006).**

❖ Toxicité

Toutefois, l'arsenic constitue un composé toxique et cancérigène, il n'a aucune fonction biologique essentiel dans le corps humain **(Gao *et al.*, 2019 ; Özcan, 2016)**. Il s'agit d'un poison puissant dont la toxicité varie en fonction de l'état d'oxydation : les arsénites (III) présentent une toxicité plus élevée et une mobilité accrue dans les sols que les arsénates (V). Cependant, l'arsenic organique présente une toxicité très faible car il est vite excrété par voie urinaire **(Bur, 2008 ; Qasim, 2015).**

L'arsenic est majoritairement absorbé à travers le système digestif (80 %). L'arsenic, une fois absorbé, s'attache aux protéines plasmatiques et aux hématies. Il est transporté jusqu'au foie, puis distribué aux divers organes et tissus **(INERIS, 2006 ; Norodom, 2016)**. Son élimination se fait principalement par voie urinaire sous forme mono- et diméthylées ou

inchangées. Les signes aigus de l'intoxication par ingestion d'arsenic sont la fièvre, l'anorexie, vomissements, des nausées, douleurs abdominales, diarrhées sévères, et des arythmies cardiaques. Cette manifestation digestive est connue sous le nom de « choléra arsenical » et peut parfois entraîner des hémorragies potentiellement fatale (Uede et Furukawa, 2003 ; Salomon *et al.*, 2012 ; Goullé et Guerbet, 2016).

Les conséquences chroniques comprennent des lésions cutanées (dermites et plaies) ainsi que des tumeurs bénignes ou malignes, une diminution de la force musculaire, une augmentation du nombre d'aberrations chromosomiques, des cancers du poumon et de la peau chez les individus exposés à l'arsenic (Tchounwou *et al.*, 2003 ; Guo *et al.*, 2004 ; INERIS, 2006).

3.3. Le cadmium (Cd)

Le cadmium est un métal de couleur blanc argenté (un peu bleuté), extrêmement malléable (résistance à l'aplatissement) et ductile (résistance à l'étirement). Il possède un numéro atomique 48, une densité de 8,65 g/cm³, un point de fusion de 321°C, avec et une masse atomique d'environ 112,4 g/mol. En tant que solution, il s'agit principalement d'un cation, à l'état d'oxydation +II. Le rayon de cet ion et sa structure électronique sont très similaires à ceux du calcium (Andujar *et al.*, 2010 ; Tricot, 1999 ; Bur, 2008). Il se trouve naturellement dans l'écorce terrestre avec des concentrations moyennes allant de 0,1 à 1 µg. g⁻¹. En revanche, il existe également en raison des Activités humaines comme l'agriculture (production d'engrais phosphatés contenant du Cd), les émissions industrielles, urbaines générales, l'incinération des déchets solides municipaux, l'industrie d'extraction et de raffinage et les fonderies (Mc -Laughlin et Singh, 1999 ; Bliefert et Perraud, 2008). La galvanoplastie, les alliages, les accumulateurs alcalins et l'industrie nucléaire sont les principaux secteurs d'utilisation du cadmium (Martin-Garin et Simon, 2004).

❖ Toxicité

Le cadmium n'est pas impliqué dans le fonctionnement cellulaire des organismes. D'autre part, ses caractéristiques physiques et chimiques, similaires à celles du calcium, lui permettent de franchir les barrières biologiques et de s'accumuler dans les tissus (Miquel, 2001 ; Martin-Garin et Simon, 2004). Chez l'animal, après exposition orale, le cadmium est principalement présent dans les reins (40-50 µg. g⁻¹ poids sec) et le foie (1-2 µg. g⁻¹ poids sec). C'est le cas après une exposition cutanée : on observe une accumulation plus importante

dans le foie après une semaine d'exposition et dans les reins après 3 semaines d'exposition (ATSDR, 2012 ; INRS, 2022).

Il semble que le cadmium soit en majorité absorbé par voie respiratoire (fumée, poussières) et de manière plus faible par voie digestive. La fumée de cigarette joue un rôle crucial dans la contamination de la population dans son ensemble. Les peintures, les PVC et incinérés peuvent également libérer du cadmium (Miquel, 2001).

Le cadmium a une durée de vie biologique estimée à 20 ans dans l'organisme humain. Les reins et le foie sont les principales Endroits d'accumulation et de toxicité (UNEP, 2010 ; Walker *et al.*, 1996 ; Martin-Garin et Simon, 2004). Selon le moyen d'exposition, la toxicité aiguë du cadmium se manifeste par une douleur digestive importante (avec des complications hépatiques et rénales) ou par des problèmes respiratoires (oedème pulmonaire, toux). L'exposition à long terme entraîne, des problèmes osseux (ostéomalacie), des problèmes respiratoires (emphysème), des problèmes rénaux (tubulopathie chronique avec protéinurie), ainsi que des problèmes dentaires et cardio-vasculaires (hypertension) (INRS, 2022).

Depuis 1950, on connaît une forme d'intoxication aiguë au cadmium appelée « syndrome d'Itaï-Itaï », qui se caractérise par l'association d'une défaillance rénale avec des ostéoporoses (déminéralisation et fragilisation des os) et des ostéomalacies (déminéralisation et déformation des os) accompagnées de douleurs osseuses intenses. Il tire son nom des hurlements des malades, dans le bassin de la rivière Jintsu au Japon, qui étaient intoxiqués par l'eau de boisson et la consommation de riz contaminés par les rejets d'une usine de métaux non ferreux (Casas, 2005 ; Bliefert et Perraud, 2008 ; Ouro-Sama, 2019).

En 1993, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé le cadmium en cancérogène catégorie 1 « cancérogène avéré pour l'homme ». Il est probable de considérer que l'exposition professionnelle au cadmium est à l'origine d'une augmentation importante du cancer du poumon et des ostéomalacies (ramollissement généralisé des os par résorption diffuse des sels calcaires de la substance osseuse). Les fumées d'oxyde de cadmium sont des substances très irritantes pour les poumons (Pilliere, 2007).

3.4. Le plomb (Pb)

Le plomb est un matériau de couleur grise Bleuâtre, dense et flexible (**Bur, 2008**). Il est abondant dans la croûte terrestre où il est généralement présent à une concentration moyenne de 10 à 20 µg. g⁻¹. Le plomb est fréquemment lié au zinc et à l'argent dans le minerai (**Aakame, 2015**). Il possède un numéro atomique 82, une masse atomique de 207,2 g, une densité de 11,3 g/cm³ et un point de fusion de 328 °C environ. Il se distingue par son aspect ductile, sa faible conductivité électrique, sa capacité à interagir avec des substances chimiques organiques et sa résistance à la corrosion. Il se manifeste sous diverses formes, telles que métallique, inorganique et organique (**Walker, 2013 ; The Diagram Group, 2009 ; ANSES, 2013**).

Cet élément est émis naturellement par les activités volcaniques, l'altération des roches, l'érosion et la dégradation minière (**Fillion *et al.*, 2014 ; Desrochers-Couture, 2017**).

Les activités humaines sont largement impliquées dans la pollution de l'environnement, avec 80% des émissions de Pb provenant de l'industrie minière, de la sidérurgie et de la métallurgie, ainsi que du traitement des eaux usées et de la production d'engrais (**Fillion *et al.*, 2014 ; Chaouali *et al.*, 2017 ; Bouchereau, 1992**).

Le plomb est utilisé dans la production de batteries d'accumulateurs (**Goyer, 2001**). Il est également présent dans des pigments, des munitions, des alliages, des revêtements de câbles, des radiateurs d'automobiles, de la soudure, des peintures, de la céramique, des réservoirs, des tuyaux, des cosmétiques et des médicaments (**Amara *et al.*, 2016 ; Cilliers et Retief, 2014**).

❖ Toxicité

Le plomb ne joue aucun rôle biologique. Il s'agit d'un poison puissant, cumulatif et toxique pour les organismes vivants (**Bliefert et Perraud, 2008**).

Il existe trois voies possibles pour l'intoxication : l'oral, les poumons et la peau (**Miquel, 2001**). 75 % du plomb absorbé est éliminé par voie urinaire (**Nriagu, 1978**). Les symptômes de l'intoxication aiguë comprennent des troubles digestifs (vomissements, coliques, diarrhées et douleurs abdominales), des complications rénales et neurologiques, ainsi que des irritations et des maux de tête. Les premiers signes chez l'enfant peuvent inclure

une fatigue prolongée, de l'irritabilité, de l'anémie, une perte d'appétit, des maux d'estomac, des convulsions, des hallucinations et de la paralysie. L'exposition longue peut causer un retard de développement, des problèmes de comportement, ainsi qu'une altération de la fonction auditive (Lee *et al.*, 2000 ; Carocci *et al.*, 2016 ; OMS, 2017).

Le saturnisme chronique, provoque des problèmes hématologiques comme l'anémie hypochrome de type microcytaire, des troubles nerveux de type encéphalopathie et neuropathie, une insuffisance rénale irréversible avec l'apparition de la goutte, une néphropathie interstitielle chronique et une atrophie glomérulaire et tubulaire, une insuffisance cardiaques, des lésions vasculaires avec l'hypertension et immunotoxicité qui induit la résistance aux microbes pathogènes grâce à une immunosuppression, ce qui entraîne une augmentation des maladies auto-immunes (INRS, 2018). Certains effets cancérigènes, tels que les cancers de l'estomac, des poumons et des reins, des impacts sur la fertilité en raison de l'oligospermie chez les hommes, des retards dans le développement sexuel et fœtal, ainsi que des risques d'avortement chez les femmes (Hu *et al.*, 2002 ; Wigle et Lanphear, 2005 ; Amara *et al.*, 2016 ; INRS, 2018).

3.5. Le Zinc (Zn)

Le zinc est un métal blanc bleuté, brillant lorsqu'il est poli, Il possède un numéro atomique de 30 dans le tableau de classification périodique des éléments et une densité de 7,14 g/cm³, sa température de fusion est de 419,5°C et celle d'ébullition de 906°C, il se ternit rapidement lorsqu'il est exposé à l'air humide en se recouvrant d'une couche d'oxyde qui le protège d'une attaque plus profonde, il brûle dans l'air lorsqu'il est porté au rouge, il présente une réduction assez importante (INRS, 2020 ; Ndiaye, 2010 ; Schlekat *et al.*, 2001). Il est très abondant et représente environ 0,004% de la croûte terrestre. La sphalérite (ZnS) est la forme minérale la plus courante du zinc, souvent associée aux sulfures de certains autres métalliques comme le cuivre, le plomb, le fer et le cadmium. La présence de zinc dans l'environnement est due aux activités humaines liées aux minières industrielles (traitement minerais, piles électriques, galvanisation du fer, gouttières de toitures, raffinages, pigmentation des matières plastiques, caoutchouc), aux épandages agricoles et aux activités urbaines (trafic routier, incinération des déchets) (Deslous-Paoli, 1982). Il est introduit dans les ports à la suite de la dissolution des masses de zinc pur qui sont fixées sur les parties immergées des navires, afin de les protéger contre la corrosion. En outre, il existe des concentrations significatives d'oxyde de zinc utilisé comme adjuvant anticorrosion dans

certaines peintures antisalissure (**Nakib, 2001**). Le zinc est encore employé dans les secteurs de la chimie et pharmaceutique, la construction immobilière, les équipements pour l'automobile et les chemins de fer, il est utilisé comme un enduit pour protéger les revêtements d'acier contre la corrosion. Et fait partie des alliages métalliques tels que le laiton, le bronze et l'aluminium. Le zinc joue un rôle crucial dans le bon fonctionnement de l'ensemble des organismes vivants. Il est important pour le métabolisme des oligo-éléments tels que les coenzymes. Il occupe une place primordiale dans diverses fonctions ou processus physiologiques tels que la croissance et la multiplication des cellules, le métabolisme osseux, la reproduction et la fertilité, la cicatrisation des blessures, l'immunité et la gestation, le fonctionnement du cerveau et la protection contre les radicaux libres (**Dione, 2022 ; Nakib, 2001 ; Benguedda-rahah, 2012 ; Solitoke, 2019**). Le nanisme est causé par son carence (**Chiffolleau, 2001**).

Les voies respiratoires et digestives absorbent le zinc et ses composés dans des quantités très différentes. Celle-ci est assimilée principalement au sein du tractus intestinal. Le zinc est utilisé in situ dans les cellules intestinales, le reste est fixé sur les métallothioneines et passe ensuite dans le sang. Le zinc est distribué dans tous les tissus, mais les concentrations les plus grandes sont absorbées par le foie, les muscles, la prostate, les os, et les dents. Celui-ci est principalement éliminé dans les fèces, avec l'urine étant peu excrétée (**Dione, 2022 ; Ndiaye, 2010 ; INRS, 2020**).

❖ Toxicité

L'exposition chronique présente peu de répercussions, la dose toxique étant supérieure à 1000 ppm chez la plupart des animaux. Les principales conséquences d'un excès de zinc dans le corps sont causées par les interférences de ce dernier avec les métabolismes du fer et du cuivre, ce qui entraîne des symptômes d'anémie (**Le Roux et Shotyk, 2005**).

Les produits de zinc sont responsables des problèmes digestifs, des altérations du système hématologique et des dommages au foie, aux reins et au pancréas. La présence de concentrations élevées entraîne une pneumonie chronique et peut engendrer la mort due à une détresse respiratoire, une insuffisance rénale, ainsi qu'une acidose respiratoire et métabolique (**INRS, 2020 ; Teck, 2018**).

En dépit de ces conséquences néfastes sur la santé, le zinc demeure moins nocif et les carences sont plus courantes et plus sévères que celles liées à la toxicité. La présence de risques cancérigènes, tératogènes et mutagènes est presque inexistante chez l'être humain (Bisson *et al.*, 2005).

De plus, le zinc peut présenter des propriétés de protection par rapport à d'autres métaux. De cette manière, le zinc protégerait contre les effets du cadmium en favorisant la production de métallothionnéines. De la même façon, le zinc restreint les effets inhibiteurs du plomb sur l'enzyme de déshydrogénase de l'alanine des hématies (Le Roux et Shotyk, 2005).

3.6. Le Fer (Fe)

Le fer (Fe) est un métal ductile, malléable de couleur blanche argentée, qui constitue environ 5% de la croûte terrestre, ce qui en fait le quatrième métal le plus répandu. Cela relève des éléments de transitions. Il est assez soluble dans l'eau et renferme des caractéristiques uniques de magnétisme. Son numéro atomique est 26 et sa température de fusion est de 1538°C et sa température d'ébullition atteint 2831°C. Le fer, dans sa forme élémentaire, se trouve assez rarement dans l'environnement. Il s'agit d'un élément hautement réactif qui se transforme rapidement en oxyde magnétique, en oxyde ferreux et en oxyde ferrique (INRS, 2008 ; Dione, 2022).

Le fer présent dans l'air est généralement minime, issu le plus souvent de la corrosion des tuyaux d'approvisionnement ou de l'utilisation de sels de fer lors des processus de coagulation-floculation, surtout en cas de gestion défaillante des procédures. Les sources artificielles comprennent les cuvelages de puits, les pompes, les conduites, les réservoirs et d'autres éléments fabriqués en fonte ou en acier qui peuvent entrer en contact avec l'eau. Il peut être extrait du lessivage des sols, des roches, des rejets industriels ou de l'élimination de médicaments contenant du fer (Dione, 2022).

Le fer et ses dérivés occupent une importance majeure dans divers secteurs, notamment la chimie lourde (ammoniac, lubrifiants, essence, minerais), l'industrie du bâtiment et des peintures, des transports, de l'industrie du textile, des cosmétiques, dans l'agriculture (insecticide) et même d'imagerie médicale (Badassan, 2021).

Le fer est fondamental dans tous les organismes biologiques (Martin et Russell, 2003). Chez l'homme, le fer s'intègre aux protéines en tant qu'élément de l'hème (comme

l'hémoglobine, la myoglobine, les protéines du cytochrome), dans des associations de fer et de soufre (tels que les complexes respiratoires I-III, le coenzyme Q10, l'ADN) ou d'autres groupements fonctionnels (Evstatiev et Gasche, 2012).

Il est généralement absorbé par les voies digestives et les voies respiratoires (Badassan, 2021).

❖ Toxicité

Le fer présente un potentiel de nuisibilité du fait que son cycle rédox en présence d'oxygène et de peroxyde d'hydrogène favorise la génération de radicaux libres susceptibles de nuire à l'ADN, les lipides et les protéines. Les symptômes aigus se caractérisent par des sensations d'irritation oculaire et une hyperémie de la conjonctive. Une surabondance de fer pourrait engendrer un dérèglement immunitaire et affecter divers organes internes, comme le foie (cirrhose, carcinome hépatocellulaire) ou les reins (ischémie) (Jomova et Valko, 2011 ; Dev et Babitt, 2017).

Dans l'eau potable, le fer ne présente pas de danger pour la santé aux niveaux ordinairement présents. Des effets nocifs associés à la quantité de fer alimentaire consommée peuvent se manifester au-delà de 20 mg/kg de poids corporel. On estime qu'une dose mortelle pour l'homme serait de 250 mg/kg. Par conséquent, l'absorption excessive de fer entraîne une hémochromatose ; dans cette maladie, les processus normaux de contrôle ne fonctionnent plus correctement et cela engendre des dommages aux tissus en raison de l'accumulation de fer. Cependant, dans quelques cas d'alcoolisme, des dommages aux tissus ont été remarqués, liés à des apports excessifs de fer provenant de la consommation d'alcool (Bury et Grosell, 2003 ; Pariselle, 1956). De plus, l'ingestion accidentelle de suppléments de fer destinés aux adultes par des enfants peut entraîner une intoxication (Gravel *et al.*, 1967).

3.7. Le manganèse (Mn)

Le manganèse constitue approximativement 0,1% de la croûte terrestre. Il s'agit d'un métal de couleur blanc-gris, portant le numéro atomique 25 et ayant une densité variante entre 7,26 et 7,47 g/cm³. Il s'agit d'un composant employé dans plusieurs alliages (qui représentent 90% de la production). L'origine naturelle du manganèse est liée à l'altération des roches et au lessivage des sols. Les principales sources d'émissions d'origine anthropique proviennent de l'industrie. Le lessivage des décharges et la combustion des énergies fossiles (Bisson *et al.*,

2012). Le manganèse est un élément indispensable pour les êtres vivants. Il se focalise en grande partie dans les tissus ayant une forte concentration en mitochondries. Il s'agit d'un élément constitutif des enzymes mitochondriales (Wedler, 1993). C'est un composant crucial dans la production d'enzymes majeures pour combattre le stress oxydatif. Il sert de cofacteur pour plusieurs enzymes qui facilitent une douzaine de différents processus métaboliques. La production de la vitamine B1 et de la vitamine E implique également l'utilisation de ce métal. (Clozel *et al.*, 2008).

❖ Toxicité

Le foie, le pancréas et les reins sont les organes où l'on observe les plus fortes concentrations. Ce métal est essentiellement expulsé par les selles (Sumino *et al.*, 1975 ; Bisson *et al.*, 2012). Chez l'être humain, une exposition aiguë au manganèse peut entraîner différents syndromes pulmonaires comme : la fièvre des métaux et la pneumonie due au manganèse. Chez les animaux, les composés du manganèse présentent une toxicité réduite. Toutefois, l'introduction d'oxydes de manganèse par voie intra-trachéenne chez de jeunes rats a provoqué une congestion, un œdème pulmonaire et des modifications histologiques au niveau de leurs poumons (Stokinger, 1981). Dans les cas d'expositions prolongées au manganèse, on observe principalement des dommages au niveau du système nerveux central, une maladie connue sous le nom de manganisme. Les symptômes englobent à la fois des désordres psychiatriques et des lésions strictement neurologiques (Calne *et al.*, 1994 ; Ouro-Sama, 2019). L'Union Européenne ne classe pas le manganèse comme cancérigène, reprotoxique ou génotoxique (Bisson *et al.*, 2012).

3.8. Le Chrome (Cr)

Le chrome, un métal de couleur grise, possède une masse molaire de 52 g.mol⁻¹ et un numéro atomique de 24. On le rencontre sous différentes formes, mais c'est particulièrement le trivalent (Cr³⁺) et l'hexavalent (Cr⁶⁺) qui sont couramment rencontrés (Gómez et Callao, 2006 ; Bur, 2008).

Le chrome, naturellement existe en concentrations infimes dans les roches et les sols sous forme solide de Cr³⁺ relativement inerte, se retrouve également dans les résidus de feux et les débris végétaux. Il est dispersé dans l'environnement aquatique en petites quantités grâce à la décomposition et l'érosion de ces substances (Diagne, 2012). Les sources d'émissions d'origine humaine comprennent les infrastructures de combustion des énergies

fossiles, les usines de production de métaux ferreux, les raffineries de pétrole et de gaz, la poussière routière et les cimenteries. Le chrome est employé dans le domaine de la métallurgie, l'élaboration de l'acier, la technologie réfractaire pour le traitement des métaux, de l'eau, du bois. Il sert également en tannage, verrerie, teinture, céramique et photographie (Bisson *et al.*, 2005 ; Bur, 2008 ; Ouro-Sama, 2019 ; Canadian Environmental Protection, 2007).

Le chrome, un élément indispensable à l'homme, est requis pour de multiples réactions biochimiques. Il joue un rôle dans le métabolisme des lipides et des glucides (Mertz, 1974).

Selon le conseil de l'alimentation et de la nutrition (1980), il est nécessaire de consommer entre 0,05 et 0,2 mg/jour de chrome pour préserver une bonne santé physique (U.S. Food and Nutrition Board, 1980).

❖ Toxicité

Plus de 80 % du chrome expulsé est éliminé par l'urine, le surplus étant évacué par les fèces (Armstrong *et al.*, 1981). Il peut s'accumuler dans les poumons à des niveaux hauts. Le chrome (+VI) s'introduit dans les cellules et est converti en chrome (+III), ce qui le transforme en un agent génotoxique (Ineris, 2010).

Sur le court terme, le chrome peut entraîner une lésion rénale (tubulonéphrite), tandis que sur le long terme, il peut causer des dommages cutanés, des atteintes aux muqueuses et des inflammations respiratoires. Une exposition répétée au chrome est susceptible d'engendrer des cancers broncho-pulmonaires et des nécroses du foie, une ulcération de la muqueuse gastro-intestinale, et occasionnellement une encéphalite ainsi qu'un grossissement du foie. Une seule dose orale de 10 mg/kg de poids corporel de chrome hexavalent entraîne la mort chez l'homme (Goodale *et al.*, 2008 ; Barnabas et Mbofung, 2009).

3.9. Le cuivre (Cu)

Le cuivre est un métal de couleur rouge-brun, flexible et malléable, qui présente une grande résistance à la corrosion. Il fait partie des éléments de transition, avec une masse molaire de 63,55 g/mol⁻¹, un numéro atomique de 29 et une densité de 8,95 g/cm³. Il constitue un excellent conducteur thermique et électrique, est faiblement soluble, n'interagit pas avec l'eau et reste inchangé dans l'oxygène gazeux. Cependant, il interagit avec l'oxygène présent

dans l'air pour créer une couche d'oxyde de cuivre qui prévient la corrosion. À haute température, le cuivre est peu affecté par l'acide sulfure d'hydrogène et l'acide chlorhydrique (Vinot, 2004 ; Lenoir, 2011 ; INRS, 2013). Il est naturellement prédominant dans l'environnement, que ce soit dans les particules de poussière et les aérosols provenant des éruptions volcaniques, des embruns maritimes ou de la décomposition de la matière organique (les incendies de forêt) (Lenoir, 2011). Les sources anthropiques sont issues des activités humaines telles que l'utilisation de fongicides cupriques, l'exploitation minière, les déchets et l'agriculture (Brun *et al.*, 2001). Le cuivre, en raison à sa conductivité métallique, est couramment utilisé dans le secteur de la métallurgie pour la production de divers alliages tels que le bronze avec l'étain, le monel avec le nickel et le laiton avec le zinc et le constantan, ainsi que. On l'emploie également dans la fabrication de matériels électriques tels que les câbles et les enroulements de moteurs, les dynamos et les transformateurs. Par ailleurs, il est utilisé dans des applications liées à la chaudronnerie, aux équipements industriels, au secteur automobile et à la plomberie (Gady, 2000 ; Bisson *et al.*, 2005).

Les êtres vivants ont un besoin fondamental de cuivre. Il joue un rôle crucial dans diverses voies métaboliques, y compris la synthèse de l'hémoglobine, le développement des polynucléaires neutrophiles, ainsi que dans les fonctions immunitaires et la lutte contre le stress oxydant. Il sert de cofacteur spécifique pour diverses enzymes et métalloprotéines qui sont intégrées dans le métabolisme oxydatif, la respiration au niveau cellulaire ainsi que la pigmentation (OMS/IPCS, 1998 ; Kozic *et al.*, 2003 ; Solitoke, 2019). Le cuivre possède également des caractéristiques intrinsèques pour éliminer et éradiquer les bactéries. Sa déficience peut entraîner des anémies, des malformations osseuses et des atteintes cardiovasculaires chez l'homme et les animaux (Schoenemann *et al.*, 1990 ; Rucker *et al.*, 1969).

❖ Toxicité

Bien que crucial, il devient nocif dès que sa concentration excède un certain niveau (Miquel, 2001). L'absorption du cuivre peut se faire par différentes voies, mais elle a lieu principalement par voie orale et gastro-intestinale (Gady, 2000 ; Bisson *et al.*, 2005). Le principal organe affecté est le foie (Barceloux, 1999). La bile, qui élimine 80 % du cuivre hépatique, constitue la voie principale d'excrétion de ce dernier, avec une évacuation de 72 % par les selles (Bush *et al.*, 1995 ; Bisson *et al.*, 2005). Les intoxications aiguës par ingestion sont peu fréquentes. Chez l'homme, les effets toxiques notés incluent des vomissements, une

insomnie excessive, une anémie sévère due à une hémolyse intravasculaire et une rhabdomyolyse (**Bisson *et al.*, 2005**). En ce qui concerne la toxicité chronique, elle est principalement associée à la maladie de Wilson, un trouble génétique entraînant une accumulation de cuivre dans le foie et les noyaux gris centraux en raison d'une sécrétion biliaire du cuivre insuffisante. Elle se traduit par des congestions et érosions nasales, une conjonctivite, de l'eczéma, des perturbations du système nerveux périphérique, de fibrose pulmonaire, de l'hypertension portale et des cirrhoses hépatiques (**Ala *et al.*, 2007**).

3.10. Le nickel (Ni)

Le nickel peut exister sous une forme massive de métal brillant de couleur blanc-bleuâtre, ductile et malléable, ou sous forme de poudre grise connue comme le « nickel chimique ». Il possède un numéro atomique de 28 et une densité de 8,9 g/cm³, il est ferromagnétique et partage plusieurs caractéristiques avec le fer. Il a également la capacité de fixer les gaz, en particulier l'hydrogène. On le trouve généralement dans l'environnement à un état d'oxydation II (**INRS, 2021 ; Bur, 2008**). Le nickel se trouve naturellement dans les granites, les grès et les calcaires à des variations de quantité de 5 à 20 mg/kg. Il est libéré dans les eaux superficielles, les sédiments et les sols grâce à l'altération et l'érosion des roches. Parmi les sources naturelles de nickel atmosphérique, on trouve la poussière terrestre, le sel marin, l'activité volcanique, les feux de forêt, les particules émises par la végétation et les embruns marins (**CCME, 2015**).

Les principales sources d'origine humaine comprennent la combustion de charbon ou de fuel, la destruction des déchets, l'épandage des boues de traitement, l'extraction et la production de nickel, la production d'acier, le processus de nickelage ainsi que les fonderies de plomb (**Bisson *et al.*, 2006**). Le nickel est utilisé pour ses diverses propriétés, électriques, thermiques et magnétiques, ainsi que d'autres avantages dans le domaine industriel, en raison de sa capacité à préserver la robustesse et la résistance des alliages face à la corrosion (**INRS, 2021 ; Bur, 2008**). Le nickel est un oligo-élément crucial, mais en quantités extrêmement réduites (**Miquel, 2001 ; Bur, 2008**). L'absorption du nickel et de ses oxydes est minime. Un complexe ternaire albumine-nickel-histidine permet leur acheminement à travers l'organisme. Le nickel assimilé est principalement éliminé par l'urine. Si ingéré, la majeure partie du nickel est expulsée par les selles (**INRS, 2021**).

❖ Toxicité

L'ingestion alimentaire de nickel comporte peu de dangers, l'organisme humain étant en mesure de le rejeter rapidement. (OMS, 1991). Par conséquent, le nickel et ses oxydes (NiO, NiO₂ et Ni₂O₃) présentent une toxicité aiguë légère. Les effets se limitent à une simple irritation des yeux et de la peau. Les symptômes chroniques se caractérisent par une réaction inflammatoire au niveau des muqueuses nasales et des bronches, Toutefois, ils accroissent le risque de cancers du nez et des poumons (INRS, 2021).

Il est possible que le nickel et ses dérivés soient cancérogènes et nocifs pour la reproduction. Une recherche menée sur des rats a démontré que l'administration orale de fortes quantités de nickel conduit à des mort-nés ou à des décès peu après la naissance (Bisson *et al.*, 2006 ; Ouro-Sama, 2019).

3.11. Molybdène (Mo)

Le molybdène est un métal de couleur argentée blanche, ayant une densité de 10,22. un numéro atomique 42 et une masse atomique 95,94. Il est inclus dans le groupe VIa du tableau périodique des éléments chimiques aux côtés du chrome et du tungstène. Il a la caractéristique de maintenir une excellente résistance mécanique et une dureté élevée à des températures hautes. Également, il est utilisé l'enrobage des combustibles enrichit dans le secteur du nucléaire (Maratray, 1992).

Le molybdène est un oligo-élément. Son processus métabolique est associé à celui du cuivre et du soufre. C'est un composant des trois métalloenzymes suivantes : la sulfite oxydase, l'aldéhyde oxydase et la xanthine oxydase (Duhamel *et al.*, 1988 ; Friberg *et al.*, 1979). Le molybdène est un métal peu répandu (0,001 % de la croûte terrestre). Les majeurs minerais comprennent la molybdénite (MoS₂), la powellite Ca (MoW)O₄, la molybdite (MoO₃, H₂O), la wulfénite (PbMoO₄), ainsi que d'autres qui n'ont pas d'importance économique. À l'heure actuelle, seule la molybdénite est en cours d'exploitation. (Maratray, 1992). En ce qui concerne les sources synthétiques du MO, il s'agit des isotopes radioactifs du molybdène issus de la fission ou de l'activation par neutron. Elles continuent de se libérer dans l'environnement par le biais des centrales nucléaires et des installations de retraitement des combustibles nucléaires épuisés (Calmon et Métivier, 2003).

En solution, le molybdène forme rapidement divers composés polymolybdate complexes. Il est employé essentiellement dans des applications métallurgiques (comme l'acier inoxydable et les alliages de fonte). Le tétrathiomolybdate d'ammonium est un agent chélatant en phase de test pour le traitement de la maladie de Wilson. Le principal apport de molybdène provient de l'alimentation et les niveaux dans l'eau et l'air sont généralement minimales. La consommation journalière moyenne en Mo est d'environ 0,1 à 0,5 mg (**Barceloux et Barceloux, 1999**). Le molybdène (Mo) est majoritairement présent dans le foie, les reins, le tissu graisseux et le sang. Toutefois, il est principalement stocké dans le foie (1,1 µg/g de poids humide) et dans les reins (0,37 µg/g de poids humide) (**Schroeder et al., 1970**). Également, la fonction physiologique du Mo chez les animaux est le développement du tissu osseux et la dentition (**Favier et Maljournal, 1980**).

❖ Toxicité

Le molybdène est un élément indispensable ayant une toxicité assez basse. Les réactions métaboliques fondamentales dans les cycles du carbone, du soufre et de l'azote sont catalysées par des enzymes contenant du molybdène. Le molybdène est généralement entièrement éliminé par les reins en certaines journées. Le molybdène peut s'avérer hautement toxique pour quelques espèces animales, notamment les bovins et les ovins. Du fait d'une consommation intensive de molybdène chez ces animaux peut entraîner une déficience secondaire en cuivre. Il existe peu d'informations concernant la toxicité du molybdène pour l'homme. En Arménie, ils ont observé que des apports quotidiens de 10 à 15 mg de molybdène, compte tenu de sa concentration exceptionnellement élevée dans le sol, sont liés à des symptômes ressemblant à la goutte, des douleurs articulaires, une augmentation du taux de molybdène dans le sang et une hyperuricosurie. Un cas de toxicité aiguë a été signalé dans une recherche où des compléments de molybdène ont été consommés à raison de 300 à 800 µg/j pendant 18 jours, provoquant des hallucinations et des crises convulsives (**Novotny, 2011 ; Barceloux et Barceloux, 1999**).

Des tests de toxicité ont été effectués sur des rongeurs. Dans ces études, des apports excessifs ont engendré un retard de croissance, des malformations osseuses, des altérations histologiques au niveau rénal et hépatique, une défaillance rénale, des troubles de reproduction ainsi qu'une anémie. D'après ces résultats de toxicité, le conseil de l'alimentation et la nutrition de l'Institut de Médecine de l'Académie nationale des sciences a déterminé que le niveau d'apport maximal tolérable est de 2 mg/jour (**Food and Nutrition Board, 2001**).

3.12. Calcium (Ca)

L'appellation calcium trouve son origine dans le terme latin 'calas', qui désigne chaux. Il était déjà connu dès les premiers siècles, lorsque les Romains antiques produisaient la chaux, également nommée CaO (Pravina *et al.*, 2013).

Le calcium porte le numéro atomique 20 dans le tableau périodique, avec un symbole chimique Ca. Il s'agit d'un métal de la famille des alcalino-terreux, argenté ou grisâtre, qui présente un éclat brillant lorsqu'il est fraîchement taillé. Le calcium en vrac est un métal cristallin tendre et malléable qui se prête à l'extrusion par chauffage à une température de 420 à 4600C° (Planas, 2021 ; Brown *et al.*, 2017).

Après le fer et à l'aluminium, le calcium se classe comme le troisième élément le plus présent dans notre environnement. Du fait de sa grande réactivité, on ne le trouve qu'en tant que composés carbonates et sulfates. Il se manifeste sous forme de carbonates tels que le calcaire, la craie, la dolomite, la calcite, le marbre, le spath d'Islande, ainsi que les stalactites et les stalagmites. Il se manifeste sous forme de sulfate comme le gypse et l'anhydride. Le calcium se trouve aussi sous forme de phosphate dans la roche phosphorite. CaSiO₃ se trouve dans un grand nombre des roches complexes, le fluorure sous forme de spath fluor (CaF₂) (Pravina *et al.*, 2013 ; Welz et Sperling, 1999).

Le calcium est employé en raison de ses caractéristiques métallurgiques et mécaniques. Il se présente sous diverses formes allotropiques et interagit aisément avec l'eau et l'air. Moins cher, ce dernier sert de dégazeur, d'agent réducteur et de source de calcium pour les alliages, et peut également être employé en clinique comme supplément alimentaire (Holick *et al.*, 2011 ; Pravina *et al.*, 2013).

Le calcium possède un rôle crucial dans la contraction des muscles et le maintien de l'équilibre des fluides au sein des unités cellulaires, à la constitution d'os et de dents fortes, à la coagulation sanguine, à l'activation des ovocytes, à la Transfert de l'influx nerveux et à la gestion du rythme cardiaque. Pendant la période de croissance, comme l'enfance, la période de grossesse et d'allaitement, les besoins sont à leur sommet. Une déficience en calcium sur une longue durée peut mener à l'ostéoporose. Cela se manifeste par une dégradation osseuse et une élévation des fractures. Un régime alimentaire équilibré peut apporter tous les nutriments requis et contribuer à éviter une insuffisance en calcium (Pravina *et al.*, 2013).

❖ Toxicité

Le calcium est éliminé par l'organisme par le biais des reins (dans l'urine) et des intestins (dans les selles), également par la desquamation, la chute des cheveux et celle des ongles (FAO et OMS, 2002).

Pour les adolescents et les adultes, la recommandation quotidienne en calcium se situe entre 2500 et 3000 mg, pour les enfants c'est 2500 mg et entre 1000-1550 mg concernant les bébés (Del Valle *et al.*, 2011).

Dépasser ces seuils pourrait induire des conséquences néfastes, telles que l'hypercalcémie, l'hypercalciurie, la calcification des tissus mous et vasculaires, la génération de calcul rénaux, les interférences avec l'assimilation du zinc et du fer, sans négliger la constipation (Weaver et Munro, 2019). L'hypercalcémie peut se manifester par divers symptômes tels que l'anorexie, les nausées, la constipation, les vomissements, les douleurs abdominales, la confusion, la léthargie, la dépression, une fréquence urinaire accrue (polyurie), un besoin excessif de boire (polydipsie) et des douleurs corporelles généralisées (Pravina *et al.*, 2013).

3.13. Magnésium (Mg)

L'appellation « magnésium » trouve son origine dans la cité grecque de Magnesia, qui abritait d'importants gisements de carbonate de magnésium à proximité. Le magnésium est un métal alcalino-terreux de couleur blanc argentée, qui se présente sous forme solide et légère. Le magnésium se classe comme le douzième élément dans la table périodique, Il fait partie du groupe II de la troisième période, une famille qui comprend également le calcium et le zinc, des éléments avec lesquels le magnésium partage certaines similitudes. Il devient liquide aux alentours de 650 °C et débute son ébullition vers 1100 °C. Sa densité est mesurée à 1,74, sa masse atomique relative est de 24,305 Da et son poids moléculaire s'établit à 24. L'instabilité de ce dernier, ainsi que sa propension à s'oxyder en perdant deux électrons, explique sa présence constante sous forme d'ions divalents Mg^{2+} ou de son état oxydé MgO. Il s'agit d'un minéral alcalin qui se lie à des anions d'acides minéraux (comme le phosphate, le chlorure, le sulfate, le carbonate l'hydroxyle) ou organiques (tels que le pidolate, le citrate, le lactate, l'orotate, le glycérophosphate...) (Boislève, 2016 ; Elin, 1988).

Le magnésium est un composant largement présent dans la croûte terrestre. Il n'existe jamais dans sa forme pure, mais toujours associé à d'autres composants. On le trouve dans divers minéraux naturels (carnallite, dolomite, magnésite...), dans une grande quantité de silicates formant des roches et également dans l'eau de mer. Il se situe au sein de structures complexes (notamment les silicates), ou sous formes de sels simples tels que le chlorure (Nigari), le sulfate (sel d'Epsom), l'hydroxyde (brucite), le carbonate (dolomite), l'oxyde (périclase, sels marins). Dans le pigment chlorophyllien, le magnésium se présente comme l'élément métallique. Il se trouve dans divers organites vivants, au niveau cellulaire, dans le squelette et l'os (**Boislève, 2016**).

Le magnésium est couramment utilisé dans des domaines techniques et médicaux tels que la fabrication d'alliages, la pyrotechnie, les engrais et les thérapies. Traditionnellement, les sels de magnésium sont utilisés comme antiacides ou laxatifs (**Jahnen-Dechent et Ketteler, 2012**). Il sert de cofacteur pour plus de 300 enzymes, contrôlant diverses fonctions essentielles comme la contraction et le relâchement musculaire. La transmission neuromusculaire et l'expulsion de neurotransmetteurs, la régulation de la glycémie, la contraction du muscle cardiaque et la pression sanguine. Le magnésium intervient également de manière cruciale dans le métabolisme général de l'ATP (génération d'énergie) et le transport actif transmembranaire d'autres ions. La fabrication des substances nucléaires, la croissance et la structure osseuse. Il est aussi à souligner que le magnésium joue un rôle dans la régulation du tonus vasculaire, de la fréquence cardiaque, de l'activation thrombotique par les plaquettes (**Al Alawi et al., 2018 ; Saris et al., 2000**).

L'absorption du magnésium se fait principalement dans l'intestin grêle et il est recueilli dans les minéraux osseux. En cas d'excès, le magnésium est éliminé par les reins et les selles (**Jahnen-Dechent et Ketteler, 2012**).

Il est recommandé de consommer entre 5 à 6 mg/kg/jour. Pour un homme pesant 70 kg, la recommandation est de 420 mg par jour, tandis que pour une femme ayant un poids de 55 kg, c'est 330 mg par jour. Une augmentation des besoins de 25 mg par jour pendant la grossesse ou les phases de croissance intense de l'adolescence, et de 30 mg par jour durant l'allaitement. L'eau (qui renferme des concentrations variables d'ions Mg^{2+}) ainsi qu'une variété d'aliments (tels que les légumes verts, les céréales complètes, les noix, les graines germées et les fruits de mer) sont des sources de magnésium avec des concentrations qui peuvent fluctuer. Un déficit en

magnésium peut provoquer l'athérosclérose et constitue un facteur de risque pour le diabète, l'ostéoporose et la spasmophilie (Boislève, 2016).

❖ Toxicité

Une augmentation des niveaux de magnésium dans le sang (« hypermagnésémie ») peut provoquer une baisse de la pression artérielle (« hypotension »). Parmi les conséquences potentielles de la toxicité du magnésium, on compte la léthargie, la déséquilibre, les irrégularités dans le rythme cardiaque (bradycardie) et la dégradation de la fonction rénale, toutes liées à une hypotension sévère. Au fur et à mesure que l'hypermagnésémie s'aggrave, des symptômes tels que la faiblesse musculaire et les problèmes de respiration peuvent se manifester. Lors d'apports supplémentaires de magnésium, des effets indésirables tels que la diarrhée liée à une surconsommation de magnésium a été constaté. Dans les situations critiques, aréflexie et coma (Engel, 2010 ; Jannen-Dechent et Ketteler, 2012).

4. Les méthodes d'analyses des éléments traces métalliques

Diverses techniques sont utilisées pour la quantification des ETM dans les produits alimentaires. Dans le cadre de notre recherche, nous avons employé la spectrométrie d'absorption atomique à vapeur froide (CV-AAS) pour mesurer le mercure, et la spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES) pour déterminer les autres éléments. Il s'agit de méthodes simples, plus rapides, précises et moins d'interférences, qui sont couramment employées pour évaluer les métaux lourds dans les tissus biologiques (Ferrua *et al.*, 2007).

4.1. La spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES)

L'analyse des traces de métaux est effectuée grâce à la méthode de la spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES). C'est une forme de spectroscopie d'émission qui emploie le plasma couplé par induction pour générer des atomes et des ions excités émettant une radiation électromagnétique à des longueurs d'onde propres à un élément spécifique. L'intensité de cette émission reflète la densité de l'élément présent dans le spécimen (Nirmala *et al.*, 2019).

4.1.1. Principe de l'ICP-OES

Dans l'ICP-AES, la source utilisée est un plasma produit par couplage inductif.

Le plasma, un gaz atomique électriquement sans charge mais fortement ionisé, se présente principalement sous la forme de plasma d'argon.

Le spectromètre se compose de quatre éléments : le dispositif d'insertion d'échantillon, le plasma pour l'excitation et l'atomisation, le système optique et le détecteur.

Le système d'injection de l'échantillon comprend une pompe péristaltique, un nébuliseur et une chambre de nébulisation pour le choix des gouttelettes constituant l'aérosol. Pour commencer, un échantillon est prélevé grâce à une sonde.

La nébulisation convertit l'échantillon en aérosol, qui est ensuite acheminé vers le plasma à couplage inductif, un espace à température élevée (8000 à 10000 °C). Le nébulisât est exposé à diverses situations (désolvatation, vaporisation, atomisation et ionisation), générant des émissions Optiques distinctives (lumières).

Ces émissions sont triées selon leurs longueurs d'onde spécifiques et leurs forces sont quantifiées (spectrométrie). Les intensités sont en relation proportionnelle avec les concentrations des analyses dans l'échantillon aqueux. Les détecteurs, tels que les tubes photomultiplicateurs et les détecteurs CCD : (Charged Coupled Device, Dispositif à Couplage de Charges), convertis ces photons en signaux électriques pour mesurer les substances. La quantification est une procédure de normalisation linéaire multipoint externe servant à mettre en parallèle l'intensité d'émission d'un échantillon non identifié avec celle d'un échantillon standard.

La sélection de raies analytiques contribue à réduire les interférences tant spectrales que physico-chimiques. Les résultats sont confrontés aux étalons, standards, et les teneurs sont déterminées selon la linéarité du signal. Des critères de répétabilité et de linéarité sont utilisés pour gérer les erreurs de mesure pour chaque lot d'échantillons (**Denis, 2011 ; Nirmala *et al.*, 2019**).

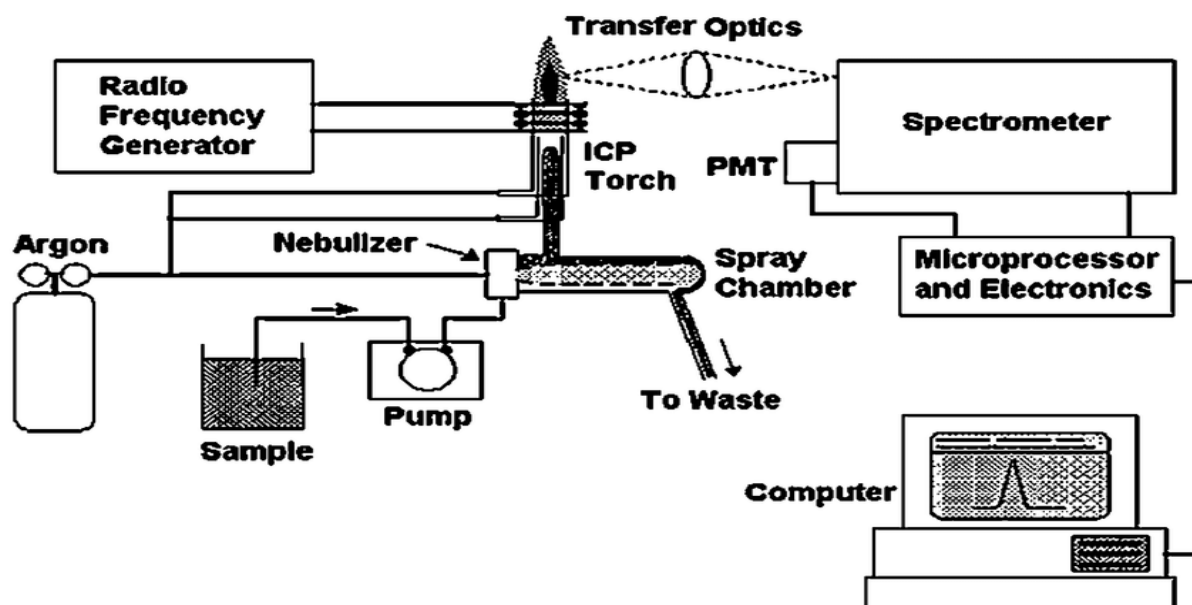


Figure 03: La composition d'un spectromètre ICP-OES (Corneillat, 2007)

4.1.2. Application

L'analyse des composants principaux et secondaires dans les échantillons de solution (Nirmala *et al.*, 2019). D'après Khan *et al* (2021), cette méthode a été mise en œuvre dans divers contextes d'analyse, y compris l'analyse alimentaire, la recherche géologique, les études agricoles, l'examen de drogues et de métabolites ainsi que dans les domaines environnementaux et médico-légaux.

4.1.3. Entretien et maintenance de l'ICP-OES

Le processus de nettoyage de l'appareil inclut la chambre, la torche et le nébuliseur. Cela se fait au moins une fois chaque semaine. Les tubes sont lavés avec de l'eau régale, ensuite, d'un rinçage à l'eau déminéralisée, puis à l'acétone et sécher à l'air libre. Le cône axial est nettoyé à l'aide d'eau déminéralisée. Le nébuliseur est séché à l'air. Le nébuliseur est renouvelé tous les deux mois. Les tuyaux d'échantillon et de standard interne sont remplacés une fois par semaine, tandis que le tuyau d'évacuation est changé une fois toutes les deux semaines (Denis, 2011).

4.1.4. Avantage et inconvénient de l'ICP-OES

L'ICP-OES présente la période de détection la plus brève, une étendue dynamique linéaire plus vaste et une tolérance matricielle améliorée, en plus d'une interférence chimique

négligeable. En outre, il présente l'avantage d'être une source d'excitation performante à haute température. Cet instrument possède une composition instrumentale complexe qui permet une analyse multi-élémentaire de la majorité des éléments du tableau périodique, avec des seuils de détection plus bas que ceux de la spectrométrie d'absorption atomique, ce qui constitue un gain de temps considérable. Par ailleurs, cette technique est adaptable aux échantillons de nature liquide, organique, inorganique, solide et gazeuse. Toutefois, elle a le désavantage de comporter beaucoup d'interférences (physico-chimiques, spectrales), de ne pas fournir d'informations sur les rapports isotopiques et le nombre d'oxydation des éléments présents dans l'échantillon, et également des limites de détection non optimales pour certaines longueurs d'onde (**Khan *et al.*, 2021 ; Corneillat, 2007**).

4.2. Spectrophotométrie d'absorption Atomique (SAA)

La technique de spectrométrie d'absorption atomique (AAS) a été initialement décrite par Walsh en 1955. La spectrométrie d'absorption atomique est basée sur le principe que les éléments à l'état atomique absorbant la lumière émise par une lampe à cathode creuse ou à décharge. Étant donné que les niveaux d'énergie des atomes sont discrets, la source lumineuse doit intégrer l'élément à examiner. De ce fait, son spectre d'émission s'accorde parfaitement avec le spectre d'absorption de l'élément concerné. En d'autres termes, les photons provenant de la lampe respectent les critères de résonance pour les atomes « cible », ce qui entraîne des transitions électroniques et, par conséquent, provoque l'absorption (**Chahid, 2016**).

4.2.1. Instrumentation de la SAA

En spectroscopie d'absorption atomique (SAA), les outils majeurs employés comprennent la source lumineuse, la lampe à cathode creuse, un brûleur et un nébuliseur, le Système d'introduction de l'échantillon, le monochromateur ainsi que le détecteur. La source lumineuse émet un rayonnement spécifique à l'élément à analyser. Après avoir été soumis à une nébulisation, l'échantillon est atomisé, soit dans un four graphite, soit dans une flamme. Le monochromateur isole la raie d'absorption de l'élément, Alors que le détecteur évalue l'intensité de la lumière qui a traversé l'échantillon atomisé. L'analyse et l'amélioration de la sensibilité peuvent être automatisées à l'aide de systèmes informatiques et de traitement du signal (**Péré, 1999**).

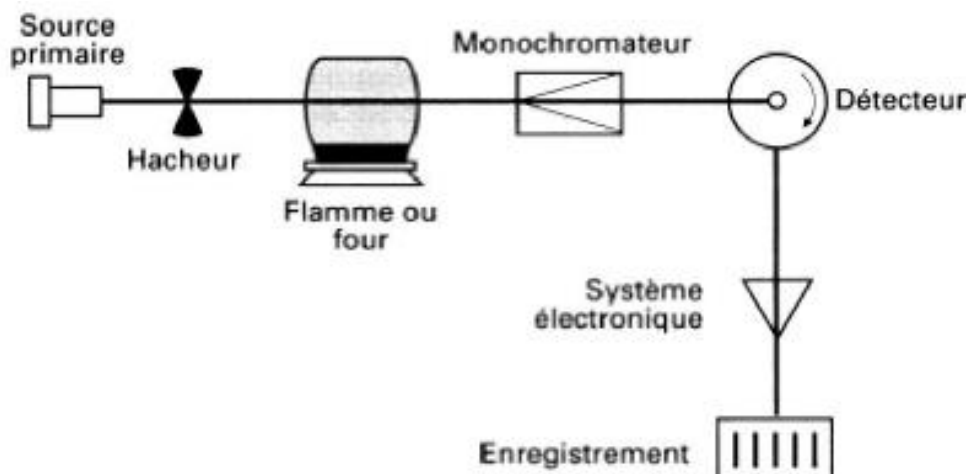


Figure 04:Schéma de base d'un appareil de spectrométrie d'absorption atomique (Chahid, 2016)

4.2.2. Principes de la SAA

La SAA, ou spectroscopie d'absorption atomique, repose sur l'absorption de la lumière par les atomes à des longueurs d'onde précises. Quand les atomes sont stimulés, ils absorbent de l'énergie lumineuse, ce qui facilite l'identification et la mesure des éléments chimiques existants dans un échantillon. L'étape d'atomisation est essentielle, convertissant l'échantillon en un vague d'atomes libres dans une flamme ou un four à graphite. La loi de Beer-Lambert détermine la liaison entre l'absorbance et la concentration des composants de l'échantillon, offrant ainsi une analyse exacte.

$$A=K.I.C.$$

K : coefficient d'absorption ou section efficace de capture d'un photon.

I : longueur du chemin optique dans l'atomiseur.

C : la concentration de l'analyte dans la solution à analyser.

Pour chaque composant à mesurer, on effectue cette procédure en se positionnant à une longueur d'onde stable. Ainsi, pour chaque opération, il est nécessaire de sélectionner une source appropriée afin d'illuminer l'élément que l'on tente d'exciter (Welz et Sperling, 1999 ; Chahid, 2016).

4.2.3. Domaines d'application

La spectrométrie d'absorption atomique permet de quantifier une soixantaine d'éléments traces dans divers types d'échantillons, qu'ils soient chimiques, environnementaux, biologiques ou alimentaires (quelques milligrammes par litre) (**Chahid, 2016**).

4.2.4. Avantage de la Spectrophotométrie d'absorption Atomique (SAA)

Elle est hautement sélective, aucune interférence spectrale n'est présente, ou elle est facilement identifiable. Si l'on prépare les solutions de départ. La méthode devient facile et rapide. Pour une analyse, un échantillon d'à peine un millilitre est suffisant.

Elle est parfaitement documentée : tous les obstacles sont identifiés et consignés dans le manuel fourni avec l'appareil. Peu chère et possède une limite de détection extrêmement bas (**Chahid, 2016**).

4.2.5. Inconvénient de la Spectrophotométrie d'absorption Atomique (SAA)

Pour des raisons liées à la technologie plutôt qu'à des principes, certains éléments tels que les halogènes, les gaz rares, ne peuvent pas être soumis à une analyse par spectrométrie, leur énergie d'absorption n'étant pas comprise entre 180 et 1000 nm.

Les concentrations doivent être maintenues à un niveau de traces pour rester dans la zone de linéarité de la loi de Beer-Lambert, en raison de sa dynamique restreinte.

Parfois, la présence d'interférences chimiques fortes rend la situation complexe (par exemple : calcium/phosphore). L'existence d'interférence chimiques sévères complique parfois comme dans le cas du calcium/phosphore.

La méthode peut avoir une sensibilité limitée pour identifier les éléments à des teneurs extrêmement faibles.

La nature non qualitative de la méthode nécessite une connaissance des composants à mesurer pour sélectionner la source appropriée (**Chahid, 2016**).

4.3. Spectrométrie d'absorption atomique à vapeur froide (CV-AAS)

L'analyse par spectroscopie d'absorption atomique (SAA) fait appel à diverses méthodes d'analyse afin de repérer et mesurer les éléments contenus dans un échantillon. En ce qui concerne le mercure, les méthodes analytiques les plus courantes pour mesurer ses concentrations extrêmement basses sont la spectrométrie d'absorption atomique avec formation de vapeurs froides (CV-AAS) et la spectrométrie fluorescente avec formation de vapeurs froides (CV-AFS) (**Wulloud *et al.*, 2002**).

La méthode d'analyse basée sur la spectrométrie d'absorption atomique à vapeur froide est employée pour la détection et l'évaluation de la concentration de quelques éléments, avec un accent particulier sur le mercure, dans des spécimens sous forme liquide. Cette méthode est appréciée pour le mercure car celui-ci peut aisément se vaporiser en atomes neutres à température ambiante, rendant ainsi le mécanisme de détection plus simple. Le processus commence par l'application d'un réducteur chimique, tel que le chlorure d'étain (SnCl_2), sur l'échantillon, ce qui convertit le mercure contenu dans l'échantillon en mercure élémentaire (Hg). Ce dernier est ensuite transporté vers la Cellule d'absorption atomique à l'aide d'un gaz inerte, comme l'azote ou l'argon. Une lumière monochromatique à une longueur d'onde précise, généralement autour de 253,7 nm, propre au mercure, est émise. Quand cette lumière pénètre la vapeur de mercure, une partie de son énergie lumineuse est absorbée par les atomes de mercure. Par la suite, il s'agit de la mesure de l'absorption de la lumière par les atomes de mercure. Cette absorption est en rapport direct avec la teneur de mercure présente dans l'échantillon, ce qui valide une quantification exacte (**Welz et Sperling, 1999**).



PARTIE II : PARTIE EXPERIMENTALE

5. Chapitre II : Aperçu du secteur de production et transformation de Thon et évaluation de consommation de conserve de Thon en Algérie

5.1. Matériels et méthodes

5.1.1. Aperçu du secteur de production et transformation de Thon en Algérie

La présente étude constitue une présentation structurée de l'information disponible sur la production de Thon en Algérie.

La méthodologie adoptée repose sur :

- ✓ Des missions sur le terrain au ministère de la pêche et des ressources halieutiques, pour collecter les données, les documents et les statistiques disponibles sur la production de Thon.
- ✓ Des entretiens approfondis avec des experts dans le domaine afin d'obtenir des appréciations qualitatives sur les données statistiques et collecter des informations complémentaires.

5.1.2. Évaluation de la consommation des conserves de Thon en Algérie

Notre étude a été réalisée pour recueillir les informations concernant les habitudes des citoyens Algériens vers la consommation de Thon en conserve commercialisé au niveau national.

Les principaux objectifs à vouloir atteindre à travers cette enquête sont :

- ✓ Déterminer la proportion de consommation de Thon en conserve par les Algériens.
- ✓ Connaitre les différents types de Thon en conserve consommé par les Algériens.
- ✓ Évaluer les connaissances et les attitudes des Algériens vers la consommation de conserve de Thon.
- ✓ Déterminer les raisons de consommation et les critères d'achat de Thon en conserve par les Algériens.
- ✓ Déterminer le point de vue des consommateurs sur le produit (prix et qualité).

5.1.3. Description de la zone d'étude

L'Algérie est le plus grand pays d'Afrique, et du monde arabe et du bassin méditerranéen, et le dixième plus grand pays au monde. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par le Maroc, au Nord-Est par la Tunisie, au Sud par le Mali et Le Niger, au Sud-Ouest par la Mauritanie et le Sahara occidental. Elle a une façade maritime de 1622 Km. Et s'étend sur une superficie de 2 381 741 km² pour une population avoisinèrent 44.700.000 habitants (Estimation janvier 2021, Source ONS, note n° 890). Elle est divisée administrativement en 58 wilayas. Parmi les grandes villes, on peut citer Oran, Constantine, Annaba, Sétif, Batna, Djelfa, Biskra. La ville la plus peuplée est la capitale Alger, (www.algeriainvest.com).

Elle possède une position géographique stratégique grâce à son patrimoine matériel et immatériel qui en fait un territoire attractif, par ses ressources et ses activités socio-économiques (Messali et Chakour, 2018).



Figure 05: Carte géographique d'Algérie (<https://www.actualitix.com/carte-de-l-algerie.html>)

5.1.4. Échantillonnage

L'enquête a été lancée le 20/02/2024 jusqu'au 04/03/2024. Les informations ont été collectées par les réseaux sociaux (la page officielle de l'Organisation Algérienne pour la protection et l'orientation des consommateurs et de leur environnement, APOCE), Messenger, WhatsApp et distribuées par les emails, afin d'assurer la récolte d'un maximum des réponses.

Un nombre de 369 personnes qui ont répondu à notre questionnaire sur la consommation de conserve de Thon sont retenues dans cette étude, ces individus proviennent de deux sexes, avec différents âges et qui résident à plusieurs régions d'Algérie.

5.1.5. Description de questionnaire

Cette étude est basée sur un questionnaire destiné aux consommateurs Algériens, avec les deux langues françaises et arabes (afin de faciliter l'étude), il contient 20 questions spécifiques et ouvertes pour donner la transparence dans la réponse.

La première partie comporte les questions sociodémographiques (sexe, habitat, l'âge, et catégorie sociale professionnelle...).

La deuxième partie comporte les questions de consommation (**Annex 01**).

5.2. Analyse statistique

La base de données finale a été constituée en rassemblant l'ensemble des données disponibles dans un fichier Excel. Après avoir rassemblé et trié toutes les données disponibles, nous avons constitué une base de données finale contenant tous les paramètres nécessaires pour le traitement statistique. Les données ont été analysées par le logiciel Microsoft Office Excel 2016. Les statistiques descriptives sont calculées pour chacun des paramètres.

5.3. Résultats

5.3.1. Aperçu du secteur de production et transformation de Thon en Algérie

5.3.1.1. Importations et exportations Algérienne des Thonidés par types et espèces de Thon (tonnes) durant les années 2023/2024

Le tableau 1 montre les importations et exportations de Thonidés pour les années 2023/2024, le Thon congelé représente le type le plus importé par l'Algérie avec 5706,58 tonnes et 3128,437 tonnes pour les années 2023/2024 respectivement. La conserve de Thon représente 256,77 tonnes pour l'année 2023, tandis que *le Germon*, l'espèce la plus importée, atteint 5702,58 tonnes pour la même année.

Les conserves de Thon constituent le type le plus exporté avec 152,32 tonnes pour l'année 2023, suivi par le Thon frais entier avec 66,2 tonnes pour l'année 2024. L'espèce la plus exporté c'est *le Listao* avec 151,22 tonnes pour l'année 2023.

Tableau 1: Importations et exportations Algérienne des Thonidés par types et espèces de Thon (tonne)

Type / espèces de Thon	Importation (tonnes)		Exportation (tonnes)	
	2023	2024	2023	2024
Thon frais entier	25,5	0	0	66,2
Thon congelé	5706,58	3128,437	0	0
Filets de Thon	51	76,5	0	0
Miette de Thon	0	0	0	0
Les longes de Thon	0	0	1,066	18,85
Conserves de Thon	256,77	0	152,32	120,25
Listao	339,64	3,88	151,22	101,4
Albacore	4	0	0	0
Thon obèse	0	0	0	0
Germon	5702,58	3124	0	0

Le thon rouge exporté, issu de la saison de pêche du thon rouge, est soumis à un quota annuel fixé. 2023 tonnes en 2023 et 2046 tonnes en 2024. En ce qui concerne l'exportation du thon rouge vivant, une grande part est destinée à la Tunisie, pays proche qui possède des fermes d'engraissement. Le reste est envoyé vivant vers les fermes d'élevage aquacole en Turquie et à Malte.

5.3.1.2.Importations et exportations Algérienne des Thonidés par pays (tonnes) pour les années 2023/2024

Pour les années 2023/2024, la Chine était le principal distributeur des Thonidés pour l'Algérie, avec des importations atteignant 2 452 tonnes et 1 049, 127 tonnes respectivement. Quant aux exportations, elles étaient principalement dirigées vers la Tunisie et la France, avec un volume de 151,2 tonnes et de 3,12 tonnes pour les années 2023/2024 respectivement.

Tableau 2: Importations et exportations Algérienne des Thonidés par pays (tonnes) pour les années 2023/2024

Pays/année	Importation (tonnes)		Exportation (tonnes)	
	2023	2024	2023	2024
Tunisie	/	/	151,2	/
France	/	/	1,109	3,12
Chine	2452	1049,127	/	/

5.3.1.3. Évolution de nombre des conserveries de Thon en boîte en Algérie durant la période 2023/2025

Le tableau 3 ci-dessous résume l'évolution de nombre des conserveries en Algérie durant la période 2023/2025.

Nous avons observé une variation du nombre d'unités au fil des années. En 2023, le nombre de conserveries était de 17. Ce chiffre a connu une hausse en 2024, atteignant 19 conserveries avant de se stabiliser en 2025 à 19 conserveries.

Plusieurs dynamiques peuvent être à l'origine de cette progression : une expansion pourrait signifier une évolution du secteur de l'industrie Thonière, une demande croissante sur les produits en conserve, ou encore des investissements publics ou privés.

Tableau 3: Évolution de nombre des conserveries de Thon en conserve en Algérie durant la période 2023/2025

Années	2023	2024	2025
Nombre des conserveries	17 conserveries	19 conserveries	19 conserveries

5.3.1.4. Distribution des conserveries de Thon en conserve et autres unités de transformation des produits halieutiques en Algérie pour l'année 2025

Dans un total de 27 unités de transformation des produits de la mer, 9 conserveries de mise en conserve de Thon au niveau de Centre, 5 à l'Est et 5 à l'Ouest, En ce qui concerne les autres unités de transformation halieutiques, nous disposons de 5 au Centre 2 à l'Est et également 1 à l'Ouest. Les conserveries de Thon constituent 70,37% du total, tandis que les autres unités représentent 29,62% (tableau 4).

Tableau 4: Distribution des conserveries de Thon en conserve et autres unités de transformation des produits halieutiques en Algérie pour l'année 2025

Région	Wilaya	Nombre d'unités de Thon en conserve	Autres unités de transformation halieutiques
Centre	Alger	5	3
	Tipaza	/	1
	Blida	2	1
	Boumerdes	2	/
Est	Bejaia	1	1
	Sétif	1	/
	Skikda	1	/
	Constantine	/	1
	Annaba	2	/
Ouest	Oran	5	1
	Total	19	8
	%	70,37%	29.62%



Figure 6: Unités de transformation de Thon en conserve, région Est de l'Algérie



Figure 7: Unité de transformation de Thon en conserve, Oran (Algérie) (A)



Figure 8: Unité de transformation de Thon en conserve, Oran (Algérie) (B)

5.3.1.5. Provenance de la matière première pour la production de Thon en conserve en Algérie

Les principaux pays d'importation de la matière première pour la fabrication de Thon en conserve étaient les pays asiatiques (Chine, Oman, Thaïlande, Vietnam, Inde, Indonésie), Ecuador, Singapore, Cap vert.

5.3.1.6. La nature de la matière première destinée à l'industrie de conserve de thon en boîte (espèces de thon et structure de thon) en Algérie

Selon les informations recueillies, deux espèces sont utilisées par les usines de conserve de thon en Algérie : le *Thunnus alalunga* (aussi connu sous le nom de *germon* ou *thon blanc*) et le *Katsuwonus pelamis*, également appelé bonite à ventre rayé ou commercialement thon *listao*, thon *rose* ou thon *rosé* (*listao tuna* en anglais). En ce qui concerne la matière première utilisés dans les usines de conserves de thon en Algérie, il s'agit du thon entier congelé ainsi que des longes, ces deux variétés de thon sont utilisées par plusieurs conserveries de transformation pour leur production.

5.3.1.7. Exportation des produits de Thon en conserve en Algérie

Les principaux pays d'exportation de Thon en conserve étaient la Lybie, Jordanie, Iraq, Arabie Saoudite, Canada et les Pays du Golf.

5.3.2. Évaluation de la consommation des conserves de Thon en Algérie

5.3.2.1. Répartition des individus de l'échantillon selon le sexe

Nos résultats montrent que la majorité des répondants au questionnaire étaient des femmes avec un pourcentage de (58%) par rapport aux hommes avec (42%) (**Figure 09**).

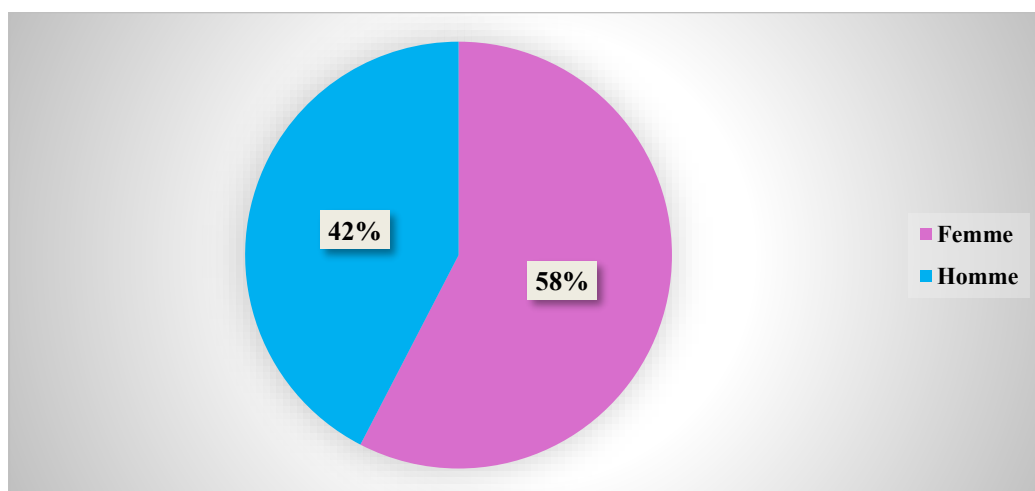


Figure 9: Pourcentage des individus de l'échantillon selon le sexe

5.3.2.2. Répartition des individus de l'échantillon selon l'âge

D'après la figure 10 nous avons observé que la majorité des répondants se situe dans la tranche d'âge de 19 à 50 ans (91,84%). Les jeunes de 09 à 19 ans représentent seulement 04,61%, et les personnes de 50 ans ou plus représentent 03,53%.

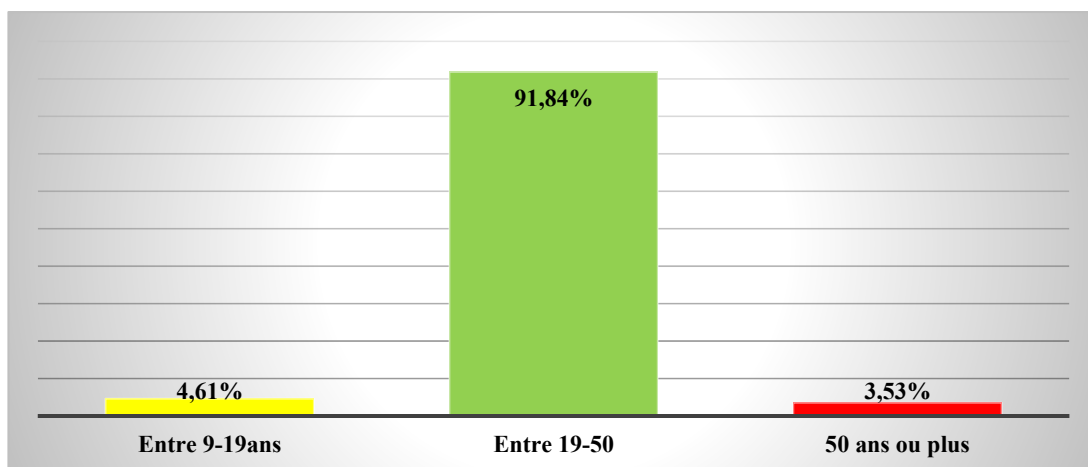


Figure 10: Tranche d'âge des individus de l'échantillon

5.3.2.3. Répartition des individus de l'échantillon selon la catégorie sociale professionnelle

Selon les réponses, nous avons enregistrée la plus grande catégorie des individus enquêter étaient des étudiants avec un taux 41,30%, suivie par 34,51% des employées, 12,22% étaient non travailleurs, les autres professions, les manœuvriers, les personnes retraitées et les individus qui non pas précisé son métier étaient moins représentés avec 04,89%, 03,80%, 02,71%, 0,54% respectivement (figure 11).

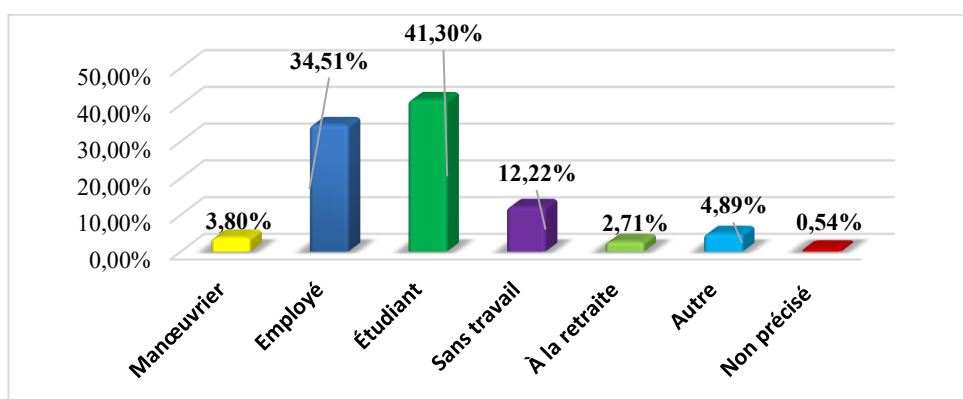


Figure 11: Pourcentage des individus de l'échantillon selon la catégorie sociale professionnelle

5.3.2.4. Répartition des individus de l'échantillon selon la région

Les répondants étaient principalement situés dans les régions du Nord-Ouest (39%), suivi par la région du Centre-nord (29%) et Nord-est (23%). Les autres régions du Sud-est et Sud-Ouest et les individus qui n'ont pas précisé sa région étaient moins représentées (figure 12).

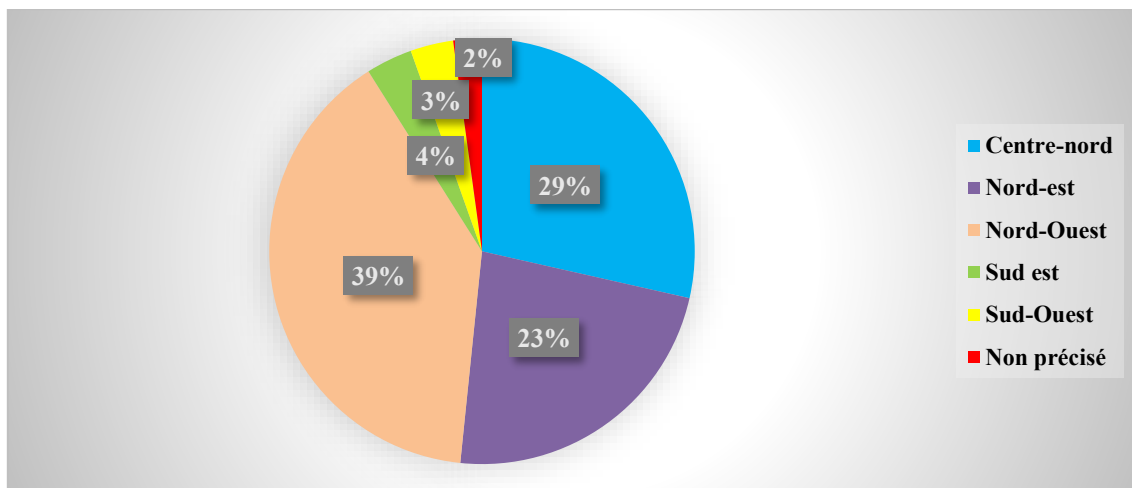


Figure 12: Pourcentage de répartition des individus de l'échantillon selon la région

5.3.2.5. Répartition de la consommation de Thon en conserve chez les individus participant à l'étude

D'après nos résultats (figure 13), 89,94% des participants à l'étude consomment largement du Thon en boîte, alors que 8,69% n'en mangent pas du tout. Par ailleurs, 1,35% des personnes interrogées n'ont pas indiqué leur consommation.

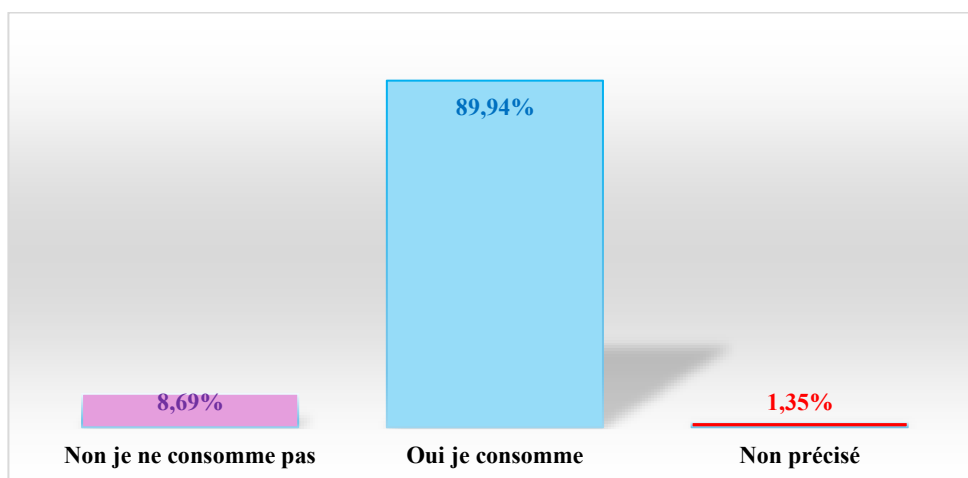


Figure 13: Proportion de la consommation de Thon en conserve chez les individus participant à l'étude

5.3.2.6. Répartition de la consommation de Thon en conserve chez les femmes enceintes

Parmi les femmes en état de grossesse, 81,81% d'entre elles consomment du Thon en boîte, ce qui indique une consommation considérable, tandis que 09,09 % ne le mangent pas. 09,09% des femmes enceintes n'ont pas indiqué leur consommation (figure 14).

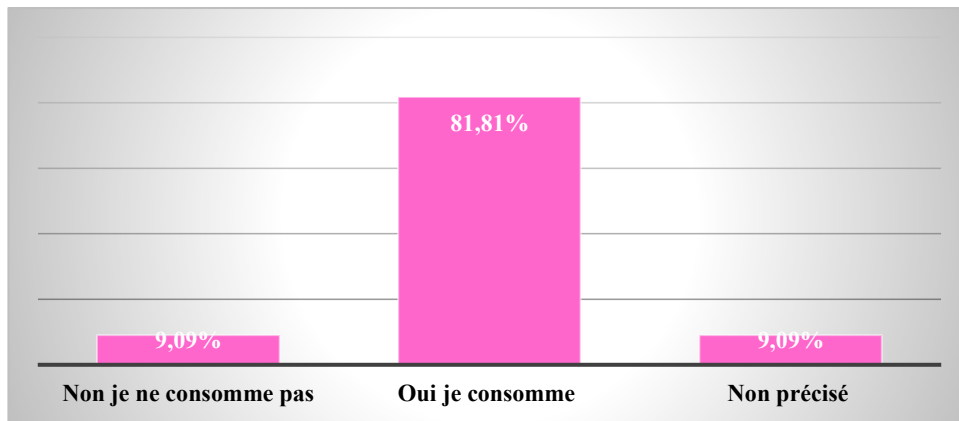


Figure 14: Proportion de la consommation de Thon en conserve chez les femmes enceintes

5.3.2.7. Répartition de la consommation de Thon en conserve chez les femmes qui allaitent

Une proportion élevée de 90,00 % des femmes qui allaitent mangent du Thon en conserve, alors que 10,00 % ne le consomment pas (figure 15).

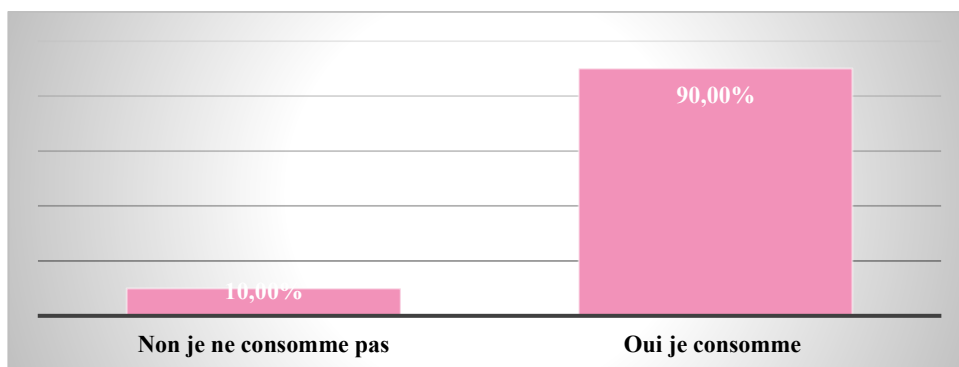


Figure 15: Proportion de la consommation de Thon en conserve par les femmes allaitantes

5.3.2.8. Répartition de la consommation de Thon en conserve selon la tranche l'âge

Les données ont montré que la consommation de Thon en conserve est particulièrement très élevée chez les individus de tranche âge entre 09 à 19 ans avec un pourcentage de 94,11%, suivi par les individus dont l'âge se situe entre 19 à 50 ans (90,23%),

puis une consommation minimale par les individus de 50 ans ou plus avec un pourcentage de 76,92% (figure 16).

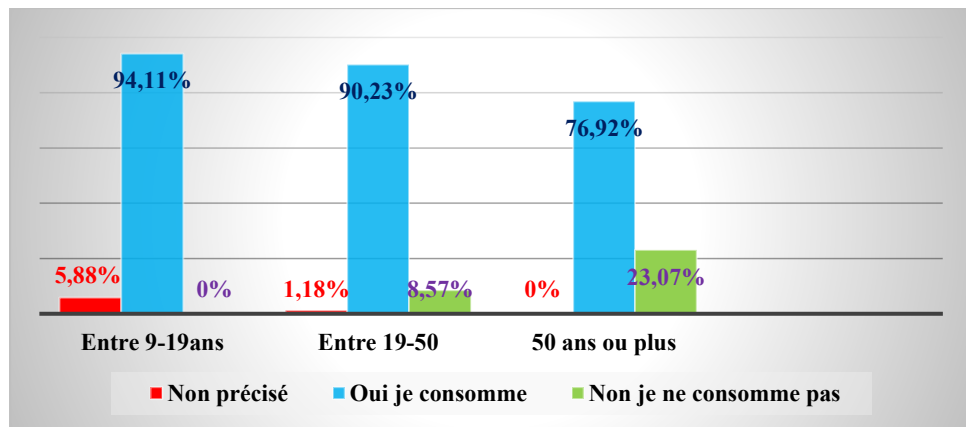


Figure 16: Proportion de la consommation de Thon en conserve selon l'âge

5.3.2.9. Répartition de la consommation de Thon en conserve selon la catégorie sociale professionnelle

Toutes les catégories sociales ont montré une forte consommation de Thon en conserve, avec 94% pour les autres professions suivies par 93,33% pour les personnes sans travail, 90,78% pour les étudiants, 89,76% pour les employés, 80% pour les retraités et 78,57% pour les manœuvriers (figure 17).

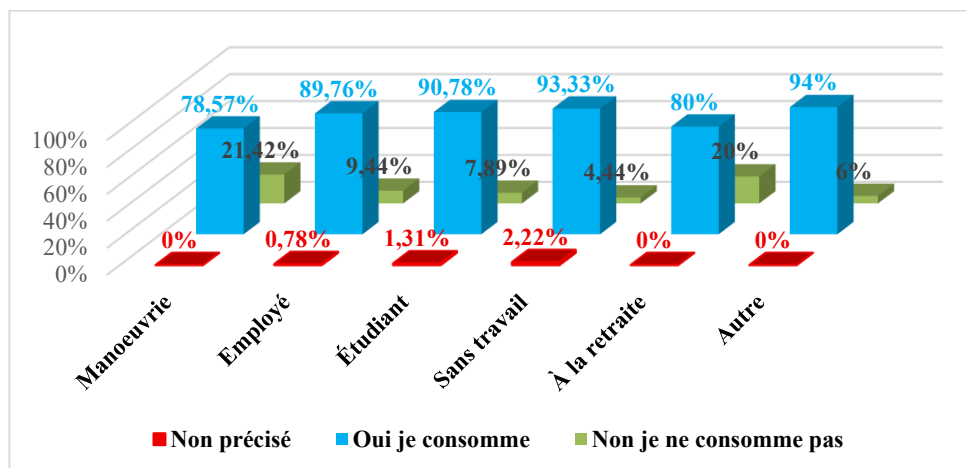


Figure 17: proportion de consommation de Thon en conserve selon la catégorie sociale professionnelle

5.3.2.10. Répartition de la consommation de Thon en conserve selon la région

La consommation de Thon en conserve est forte et similaire dans toutes les régions d'Algérie avec 100% pour le sud-est, 93,33% pour le centre-nord, 89,41% pour le nord-est, 88,27% pour le nord-ouest, 83,33% pour le sud-ouest (figure 18).

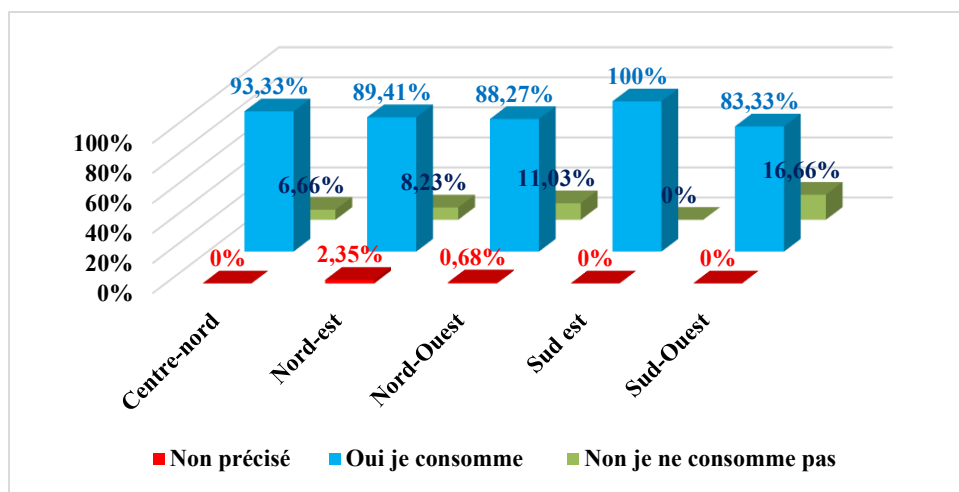


Figure 18: proportion de consommation de Thon en conserve selon la région

5.3.2.11. Répartition de la consommation de Thon en conserves au sein des familles

D'après la figure 19, les proportions de la consommation de Thon en conserve au sein des familles étaient très élevées chez les frères avec 72,01%, suivi par 54,89% chez les parents, et avec un pourcentage minime de 26,63% pour le marié ou la femme et 25,27% pour les enfants, en dernier 8,42% pour la grand-mère et le grand père (figure 19).

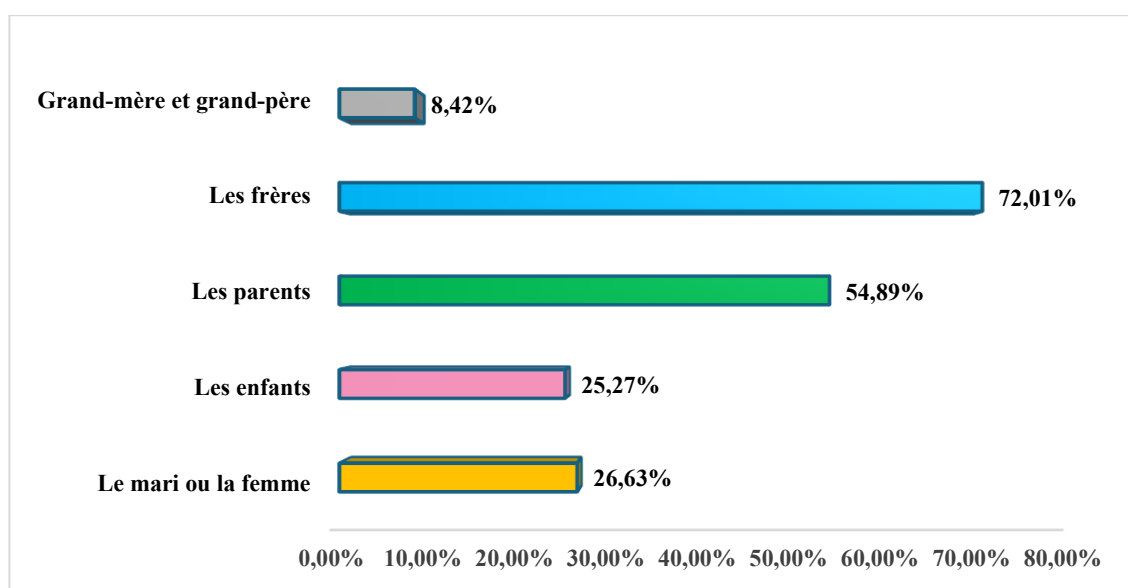


Figure 19: Répartition de la consommation de Thon en conserve au sein des familles

5.3.2.12. Fréquence de consommation de Thon en conserves

22,82% des individus consomment le Thon en conserve au moins une fois par mois, 18,75 % consomment au moins une fois par semaine, 18,20% consomment deux fois ou plus par mois, 25% le consomme rarement, 10.59% le consomme deux fois ou plus par semaine, tandis que 3,53% ne le consomment jamais. Les restes des participants non pas préciser leur consommation (figure 20).

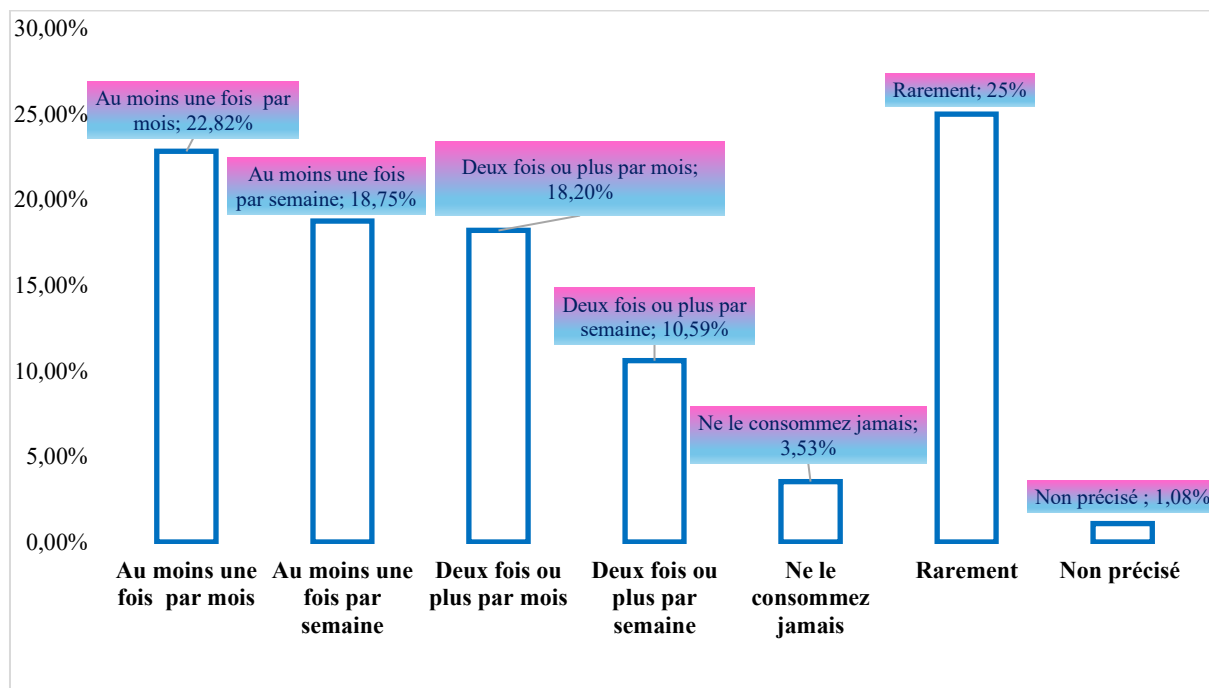


Figure 20: Fréquence de consommation de Thon en conserve

5.3.2.13. Raison de consommation de Thon en conserve

64,67% des individus ont consommé ce produit alimentaire pour leur faciliter à utiliser dans la cuisine, 51,35% pour leur disponibilité tout le temps, 38,58% pour leur de richesse en protéines et lipides (oméga 3), 33,96% pour leur faciliter à stocker, ce qui permet de le conserver longtemps, 17,93% pour leur richesse en vitamines de B12 et D, et pour leur prix abordable, 5,43% des participants non pas préciser leur raison de consommation (figure 21).

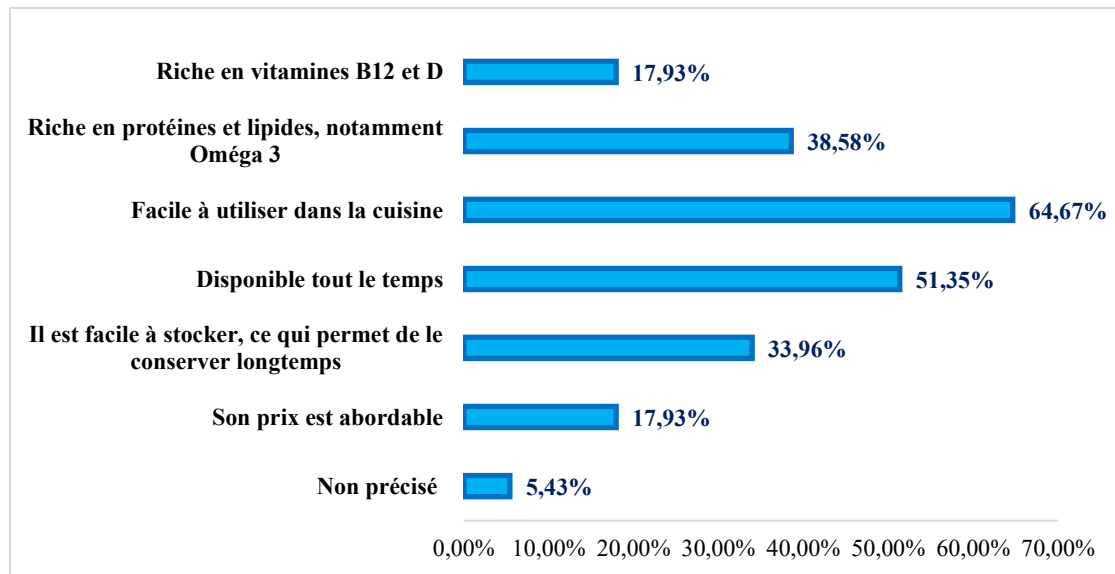


Figure 21: Raison de consommation de Thon en conserve

5.3.2.14. Proportion de consommation de Thon en conserve selon leur type

Figure 22 montre que 72,82% préfère particulièrement de consommer le Thon en conserve à la sauce tomate suivi par 69,83 % qui préfère le Thon en conserve à d'huile végétal, tandis que les autre type (au naturel, sauce piquante et mayonnaise) sont moins consommé.

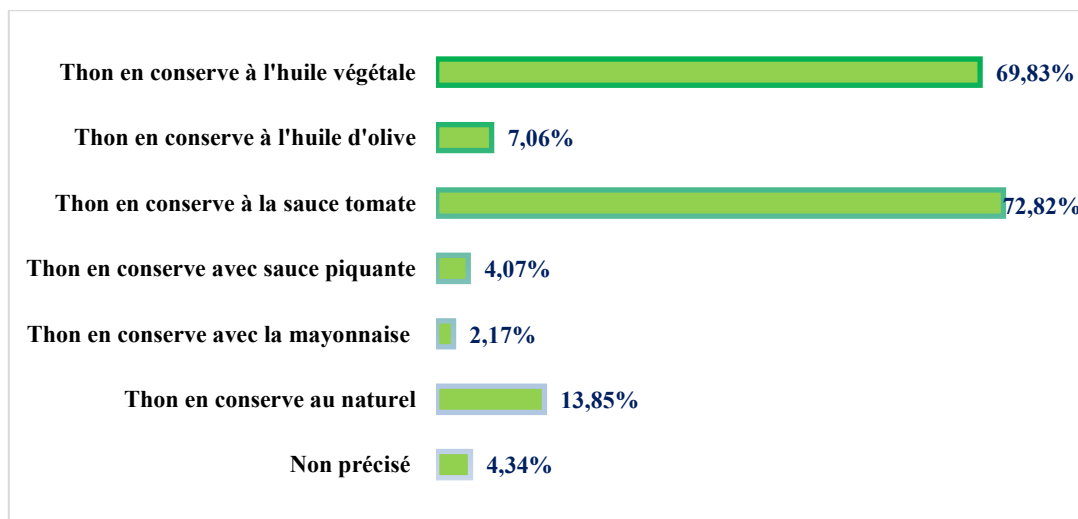


Figure 22: Pourcentage de consommation de Thon en conserve selon leur type

5.3.2.15. Critère d'achat de Thon en conserve pour le consommateur Algérien

La date de fabrication et péremption étaient le premier critère d'achat des consommateurs avec un pourcentage de 73, 91%, le critère de texture 40,21%, gonflement du

couvercle du boîte 31,25%, ingrédient 29,07%, présence de la rouille 28,80% et la forme de la boîte 24,18%, suivi par la fuite des liquides sortant avec un pourcentage 15,21% et 11,41% pour les personnes qui ne concentre sur rien durant l'achat (figure 23).

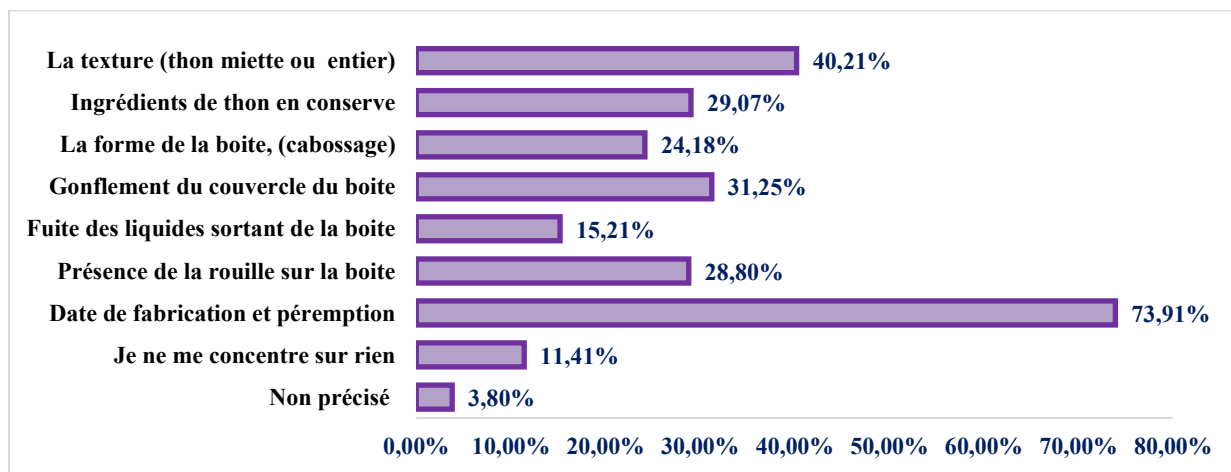


Figure 23: Critère d'achat de Thon en conserve pour le consommateur Algérien

5.3.2.16. Préférence de l'achat d'une marque spécifique de Thon en conserve

Apartir de figure 24 on observe que 54% des participants ont répondu par oui pour l'achat des marques spécifiques de Thon en conserve, et 43% des participants ont répondu par non. Les marques les plus achetées par les participants sont Ricamer et Maratun en premier avec un pourcentage de 35,42% et 33,42% respectivement, suivi par Isabel avec 7,33%, Francisco 1,63% et Poséidon 1,08%, les marques moins achetées sont Viva, Atlantic, Canastel, Garido, Scander, DaliThon, Hippone, Mirabelle, Bouna, Rio mare, Cap-Thon et Mariscos, d'autres participants préfèrent d'acheter plusieurs marques pour goûter chacune, les autres préfèrent les marques les moins chères.

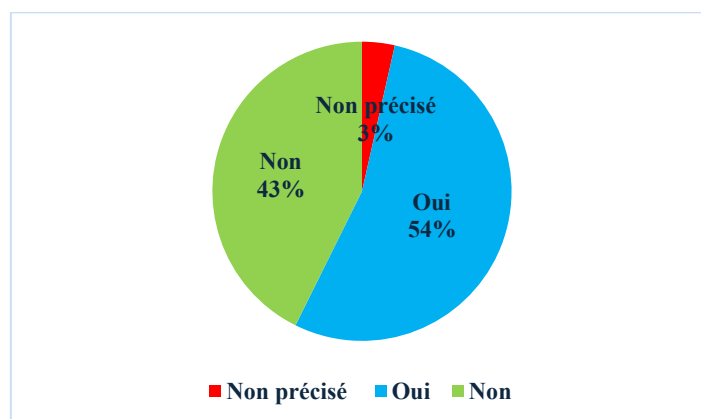


Figure 24: Préférence de l'achat d'une marque spécifique de Thon en conserve

5.3.2.17. Méthode de conservation de Thon en conserve acheter par les participants au questionnaire

70% des individus ont préférés de stocker le Thon en conserve acheté au réfrigérateur, 26% stockent ce produit dans la température ambiante de la chambre, 4% non pas préciser leur méthode de conservation (figure 25).

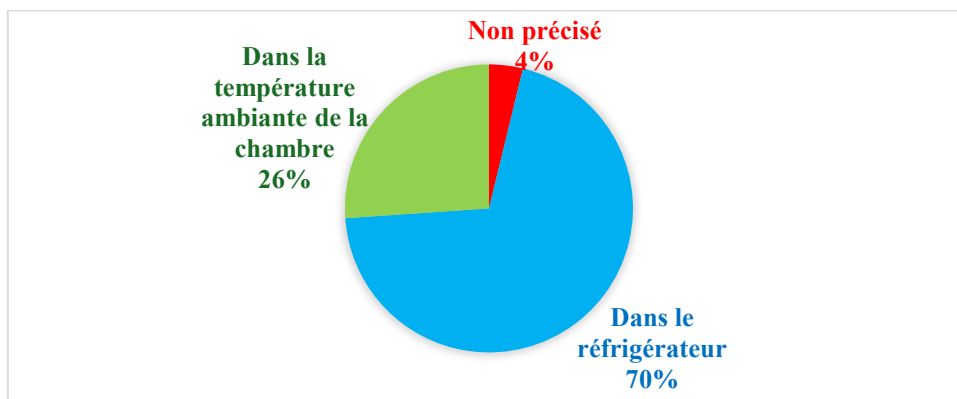


Figure 25: Méthode de conservation de Thon en conserve acheter

5.3.2.18. Proportion de la satisfaction sur la présentation de conserve de Thon en Algérie

54,89% des participants étaient plutôt satisfaits sur la qualité du Thon en conserve avec 16,03% qui ne sont pas satisfait de tout.

41,30% étaient Plutôt satisfaits sur la variété du Thon en conserve avec 20,10% qui ne sont pas satisfait de tout. 54,34% étaient satisfait sur la disponibilité du Thon en conserve avec 7,06% qui ne sont pas satisfait de tout. 49,72% étaient plutôt satisfaits sur l'étiquetage du Thon en conserve avec 12,22% qui ne sont pas satisfait de tout (figure 26).

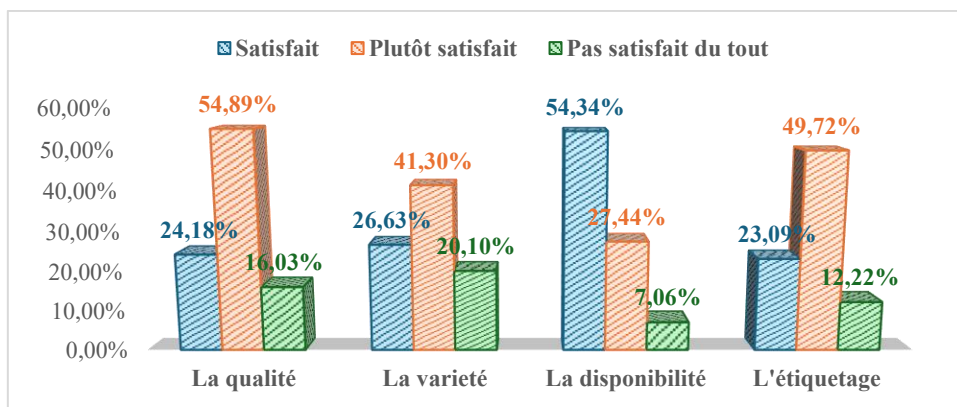


Figure 26: Proportion de la satisfaction sur la présentation de conserve de Thon en Algérie

5.3.2.19. Proportion de la satisfaction sur le prix de conserve de Thon vendu en Algérie

55,43% des participants ont déclaré que le Thon en conserve était de prix élevé, 42,39 % ont déclaré que le prix était tout à fait acceptable, 0,54% ont déclaré que le prix était bas, 1,63% des restes des participants non précisé (figure 27).

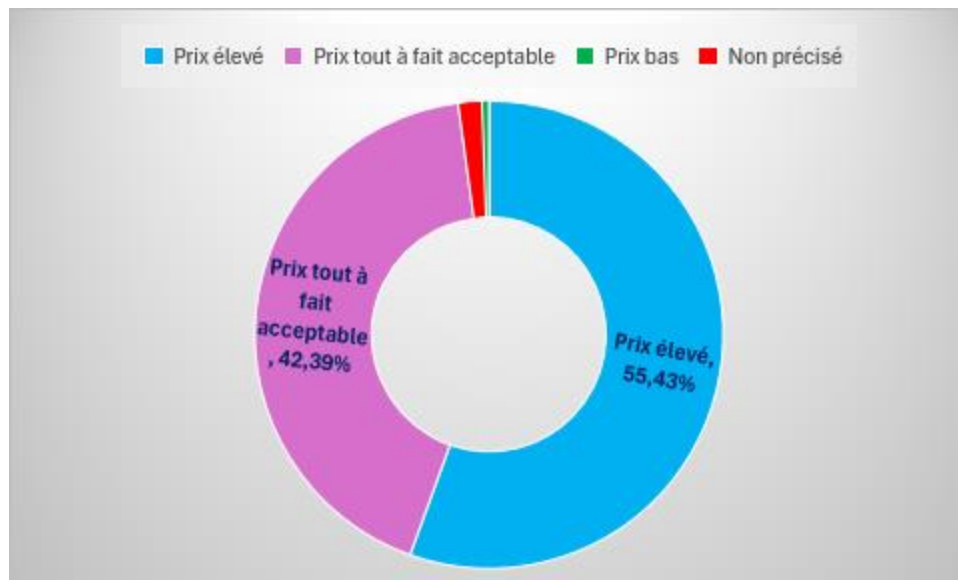


Figure 27 : Proportion de la satisfaction sur le prix de conserve de Thon vendu en Algérie

5.3.2.20. Avis de citoyen Algérien sur le Thon en conserve vendu sur le marché Algérien

Certains individus ont affirmé que le Thon présenté sur les marchés Algériens est de qualité très appréciable, disponible, diversifié et peu coûteux, avec une saveur appréciée pour certaines marques, à l'exception de quelques-unes méconnues.

Certains affirment que le Thon en conserve est le produit le plus préféré, surtout par les jeunes, les étudiants, les employés et particulièrement par les sportifs, car sa facilité d'utilisation leur permet d'économiser du temps et de l'énergie en cuisine, il peut l'utiliser à n'importe quel moment, et il est riche en protéines et en vitamines. D'autre, déclare que Ricamar et Maratun sont les marques les plus favorisées en Algérie.

Certains disaient, que le Thon en conserve vendu est acceptable, relativement de qualité moyenne, mais reste mieux que le Thon en boîte importé. D'autres ont mentionné que c'était bon en l'absence de Thon frais mais pas fréquemment.

Certains ont discours que le Thon commercialiser sur le marché est : de mauvaise qualité et de mauvais goût, que l'étiquette est incomplète et la quantité d'huile et de la sauce tomate qu'il contient dépasse la quantité de Thon. Le Thon à l'huile d'olive n'est pas disponible toujours et il existe une différence de goût et de qualité entre les miettes de Thon et les morceaux de Thon. Le prix est exagéré et n'est plus à la portée du citoyen moyen. Lointain des normes internationales. Certaines marques ne respectent pas les standards et peuvent contenir des épines et débris de Thon. Malheureusement, la majorité des marques vendent des miettes de Thon. Les produits sont de bonne qualité au départ, puis ils perdent en qualité.

D'autres participants n'ont pas pu évaluer car ils ne connaissaient pas les normes de qualité et n'avaient jamais goûté de Thon frais ou en conserve provenant d'autres pays.

Certains nous ont déclaré qu'ils n'apprécient plus les aliments en conserve, qu'ils ne sont pas intéressés et qu'ils les évitent autant que possible, y compris le Thon en boîte. D'autres craignent le botulisme, mais ils le consomment raison de manque de sardines fraîches ou parce que les derniers sont très coûteux.

Quelques-unes disaient, à l'exception de 2 ou 3 marques de Thon en conserve, réputées pour leur qualité supérieure et leur prix élevé. Le reste est tellement de mauvaise qualité que je ne l'achète jamais.

D'autres nous ont dit que malgré la variété de produit sur le marché, Elles demeurent d'opter pour les mêmes marques.

D'autre soient douteux de leur fabrication car ces conserves ne contiennent ni odeur ni la couleur de Thon. On nous a également dit que les aliments en conserves sont généralement nocifs pour la santé. et peut contenir des éléments trace comme le mercure.

Nous en déduisons donc que la plupart des consommateurs sont quelque peu satisfaits des conserves présentées en Algérie et espèrent améliorer certains critères tels que la variété, l'étiquetage, la qualité notamment la texture et la saveur tout en réduisant le prix.

5.4. Discussions

5.4.1. Aperçu du secteur de production et transformation de Thon en Algérie

Au cours des dernières années, le ministère de l'Agriculture et du développement rural, et le Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques Algérien a mis l'accent sur la création d'une politique dynamique visant à promouvoir le développement durable de la pêche et de l'aquaculture, en impliquant tous les acteurs concernés dans l'évolution de ces deux domaines. Pour cela, des ressources financières, humaines et matérielles ont été employées en vue de concevoir une stratégie nationale pour le développement de la pêche et de l'aquaculture (FAO, 2010).

L'industrie dédiée à la transformation des produits de la mer joue un rôle crucial dans la valorisation des ressources maritimes et continentales, contribuant de ce fait à l'économie et à la sécurité alimentaire (Kord *et al.*, 2024).

Afin de soutenir et d'améliorer le domaine de la transformation des ressources halieutiques, l'Algérie a réalisé diverses études, enquêtes et journées scientifiques, notamment l'élaboration d'un Schéma Directeur de Développement des Activités de la Pêche et de l'Aquaculture (SDDAPA) à l'horizon 2025, qui est retenue par la loi n° 2001-11 du 11 Rabie Ethani 1422 correspondant au 3 juillet 2001, relative à la pêche et à l'aquaculture :

« **Art.5.** - Dans le cadre de la politique nationale, le développement de la pêche et de l'aquaculture est éligible au soutien de l'Etat ».

« **Art.6.-** L'Etat, dans le cadre du schéma national prévu à l'article 5 ci-dessus, œuvre à la promotion de l'intégration des activités de pêche et d'aquaculture en favorisant la concession de sites sur le littoral et à l'intérieur du pays pour l'établissement de ports et abris de pêche et à toutes autres installations et industries de la pêche et de l'aquaculture » (Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques Algérie, 2008).

L'objectif recherché à travers l'élaboration du schéma directeur de développement des activités de la pêche et de l'aquaculture est de créer des zones économiques et sociaux gérables, capables de générer une richesse durable. Cette visée repose sur la nécessité de délimiter des zones de projets capables de gérer et soutenir leur propre évolution tout en s'assurant que leurs initiatives sont en adéquation avec les autres programmes sectoriels et de développement local (Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques Algérie, 2008).

Parmi les grands objectifs de SDDAPA quelques-uns cités ci- dessous :

- ✓ La mise en place de deux grands ports de pêche aux limites maritimes de l'extrême Ouest et de l'extrême Est.
- ✓ La valorisation des produits par la mise en place de six nouvelles usines de transformation (conserveries) d'ici 2025.
- ✓ Une attention particulière est portée sur la construction, la réparation et l'entretien naval.
- ✓ Les halles à marées en place devraient être modernisées et mises en conformité avec les normes de salubrité et de fonctionnement nécessaires. De plus, la construction de 47 halles à marées supplémentaires sera nécessaire.
- ✓ Estimation d'une augmentation significative du taux de consommation de poisson par habitant, actuellement à 5,1 kg, importations incluses, pour atteindre 6,5 kg en 2025, hors importations (**Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques Algérie, 2008**).

De plus à l'élaboration de SDDAPA, un **décret exécutif n°03-439 du 27 Ramadhan 1424** correspondant au 22 novembre 2003 fixe les conditions d'élaboration et d'approbation du schéma national de développement des activités de la pêche et d'aquaculture. L'arrêté du 23 Août 2005 précise la composition et les modalités de fonctionnement de la commission chargée d'initier le projet de schéma national de développement des activités de la pêche et de l'aquaculture (**Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques Algérie, 2008**).

A cette fin, une étude a été menée en quatre phases et a abouti à une analyse prospective des activités de pêche et d'aquaculture, dégagée par un diagnostic opérationnel du secteur et de son évolution à l'horizon 2025, elle s'articule autour de trois lignes principales :

- ✓ L'évaluation de la situation actuelle et un diagnostic global concernant la pêche et l'aquaculture, en se concentrant sur les points forts/faibles, les avantages/limitations et les opportunités/menaces liées à ce domaine.
- ✓ Sur la base des résultats du diagnostic, il convient de définir : les concepts à élaborer, les marchés à viser, les pôles à développer, ainsi que les suggestions d'orientation et d'aménagement.
- ✓ La structuration du contenu du schéma, en matière : d'objectifs d'aménagement, de planification des actions par secteur et par région, d'outils d'appui, de suivi et d'évaluation (**Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques Algérie, 2008**).

En outre, une journée nationale a été tenue le 27 novembre 2005, co-présidée par les Ministres de la Pêche et des Ressources Halieutiques ainsi que de l'Aménagement du Territoire. Cette rencontre visait à préparer le schéma Directeur pour le développement des activités de pêche et d'aquaculture. Elle a ensuite été suivie par trois Sessions régionales organisées les 4, 12 et 18 décembre 2005 à Oran, Tipaza et Skikda respectivement. Ces événements ont rassemblé les acteurs clés dans les domaines économiques et sociaux impliqués dans le développement local (**Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques Algérie, 2008**).

Dans le contexte de mise en œuvre du plan d'action élaboré par le Ministère de la Pêche et des Productions Halieutiques pour soutenir et faire progresser l'industrie de la transformation des ressources halieutiques, une enquête sur le terrain a été menée conjointement par le Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture, et la Direction du Contrôle des Activités de la Pêche et de l'Aquaculture et de la Régulation du Marché durant les années 2023-2024. Suite à cette étude, ils ont conclu que le secteur de la transformation du poisson en Algérie possède un potentiel économique considérable. L'éventail varié et la qualité des produits offerts contribuent à la richesse du marché intérieur tout en répondant aux besoins des consommateurs. Par ailleurs, la facilité d'exportation de ces produits crée des opportunités prometteuses pour le commerce international, susceptibles de consolider la place de l'Algérie sur la scène mondiale. Il est fortement conseillé d'investir dans ce domaine, en raison du potentiel qu'il présente et des exigences des marchés à l'échelle nationale et mondiale. Il est aussi crucial d'accroître la disponibilité de matières premières locales pour diminuer la dépendance vis-à-vis des importations (**Kord et al., 2024**).

La production de conserve de Thon et de sardine constitue 66% de l'activité liée à la transformation des produits halieutiques en Algérie (production de saumon fumé, production de salade de poulpe, d'anchois salée, filets de poissons fumés. L'enquête a démontré que les unités de transformation spécialisées dans la fabrication de conserves de Thon et de sardine ont une capacité annuelle de production de 72895,8 tonnes, en comparaison à leur capacité théorique qui s'élève à 131442,8 tonnes. La production annuelle des unités de transformation n'atteint que 50 % de leurs capacités de production réelles, ce qui s'explique par un déficit de financement, une pénurie de matières premières et la capacité d'absorption limitée du marché national. D'après l'enquête, 98,92% des matières premières à transformer proviennent de

l'étranger, tandis que seulement 1,07% sont produites localement. L'importation de la matière première est dû à l'insuffisance de quantité locale disponible (**Kord et al., 2024**).

En dépit des multiples bénéfices du domaine de la transformation des produits de la mer, il se rencontre à plusieurs obstacles majeurs qui freinent son expansion, notamment :

- ✓ Des problèmes liés aux procédures d'importation de matières premières.
- ✓ L'absence de matière première sur le marché local.
- ✓ Le manque de systèmes de systèmes efficaces pour le traitement et la valorisation des déchets organiques (**Kord et al., 2024**).

5.4.2. Évaluation de la consommation des conserves de Thon en Algérie

A l'issu des résultats de notre questionnaire nous avons enregistré que la consommation des conserves de Thon est très élevée et populaire chez différentes catégories de la population Algérienne qu'elle que soit, le statut physiologique (femmes enceintes et qui allaitent), l'âge, la catégorie sociale professionnelle, la région. Dont 89,94% des participants sondées consomment fréquemment du Thon en boîte, 81,81% femmes enceintes et 90,00 % des femmes qui allaitent consomment le Thon en conserve, tous les tranche d'âge ont déclaré leur consommation avec particulièrement une consommation très élevée chez les individus de tranche âge entre 09 à 19 ans avec un pourcentage de 94,11%, suivis de près par ceux dont l'âge se situe entre 19 à 50 ans avec un pourcentage atteignant 90,23%.

En outre, toutes les catégories sociales professionnelles ont montré une forte consommation de Thon en conserve, de plus la consommation de Thon en conserve est forte et similaire dans toutes les régions.

Tous les membres de la famille consomment le Thon en conserve avec 25,27% pour les enfants, et 8,42% pour la grand-mère et le grand père.

Concernant la fréquence de consommation de Thon en conserves est varier chez les participants avec 22,82% des individus consomment le Thon en conserve au moins une fois par mois, 18,75 % consomment au moins une fois par semaine, 18,20% consomment deux fois ou plus par mois et 25% le consomme rarement. De plus, les raisons de consommation de Thon en conserve étaient leur faciliter à utiliser dans la cuisine, leur disponibilité tout le temps, leur de richesse en protéines et lipides (oméga 3), et leur faciliter à stocker durant une longue période

La plupart des participant préfère de consommer le Thon en conserve à la sauce tomate en premier suivi par le Thon en conserve à d'huile végétal.

La date de fabrication et péremption étaient le premier critère d'achat des consommateurs suivi par le critère de texture (entier ou miette). Et les marques les plus acheter par les participants étaient Ricamer et Maratun, les autres participants ont préféré les marques les moins chère.

70% des participants stocke le Thon en conserve acheté au réfrigérateur, 54,89% des participants étaient plutôt satisfaits sur la qualité du Thon en conserve, 41,30% étaient Plutôt satisfaits sur la variété, 54,34% étaient satisfait sur la disponibilité, 49,72% étaient plutôt satisfaits sur l'étiquetage. 55,43% des participants ont déclaré que le Thon en conserve était de prix élevé.

L'importante consommation s'explique par l'avis de certains participants au questionnaire, qu'ils ont déclaré que le Thon en conserve était de bonne qualité, accessible, varié et abordable, avec un goût apprécié pour certaines marques, bien entendu en l'absence de Thon frais. Les jeunes, les employés, les étudiants et les sportifs, ont affirmé leur consommation fréquente de conserves de Thon grâce à leur commodité d'utilisation en tout temps, ainsi que pour leur richesse en protéines, oméga 3, vitamines A, D, B6, E et B12.

La consommation de poisson à l'échelle mondiale est considérable, grâce à sa qualité et son goût distinctif, notamment lorsqu'il est présenté en conserve (**Jedrychowski *et al.*, 2007**).

La consommation de poisson connaît une hausse continue, tant en Algérie qu'à l'échelle mondiale. Qu'ils soient capturés, élevés ou transformés (**MATE, 2001**).

D'après l'enquête de **Babelhadj et Benaissa (2020)** portant sur la consommation des produits de la pêche dans la région d'Ouargla en Algérie, le taux de consommation parmi les répondants est considérable, atteignant environ 90% de l'ensemble des personnes interrogées. Cette forte consommation s'explique par la conscience des résidents à l'importance nutritionnelle et à la haute qualité protéique de ces produits.

Selon les données que nous avons recueillies auprès du Ministère de la Pêche et de la Production Halieutique, aucune étude n'a encore été menée sur la consommation réelle de Thon en conserve en Algérie.

D'après **NOAA (2015)** et **Arisekar *et al* (2024)**, l'apport annuel moyenne en produits de la mer en conserve varie mondialement, avec des statistiques allant jusqu'à 1,0 kg au niveau international, 1,36 kg aux États-Unis.

Les produits de la mer occupent une place importante dans notre régime alimentaire et ils représentent une excellente source de divers micronutriments essentiels. Ils fournissent une nutrition équilibrée en apportant des acides aminés indispensables et d'autres nutriments nutritifs favorables à la santé comme les vitamines, les minéraux et les acides gras Oméga-3 essentiels (**Domingo *et al.*, 2007 ; Ashitey et Flake, 2010**).

Dans le monde, l'approvisionnement humain en protéines de poisson à travers des produits de la mer transformés accroît progressivement (**Arisekar *et al.*, 2024**).

Le poisson est une source nutritive riche en calcium, potassium, phosphore, cuivre, iode, cobalt, manganèse et divers oligoéléments indispensables pour maintenir la santé des dents et des os (**Watanabe *et al.*, 1997**).

À partir d'une étude menée (**Babelhadj et Benaissa, 2020**), une hausse commercialisation de produits de pêche en conserve, puisqu'ils répondent davantage aux besoins des consommateurs. Ils présentent des atouts tels que : une longue durée de conservation et une facilité d'utilisation et de Stockage

Selon **Abolghait et Garbaj (2015)** et (**Gerstenberger, 2010**), le Thon en boîte constitue un aliment économique avec une durée de conservation prolongée. C'est le type de poisson en conserve largement consommé.

En termes d'avantages pour la santé, des études démontrent que l'ingestion de poisson est associée à divers bénéfices sanitaires, comme une protection contre les maladies cardiovasculaires chroniques, la polyarthrite rhumatoïde, les problèmes psychologiques et certains types de cancer. Ainsi possède des caractéristiques anti-oxydantes, anti-inflammatoires, favorisant la guérison des blessures, protégeant les neurones et le foie. Les protéines issues des poissons, comme les immunoglobulines, ont un rôle défensif contre les infections virales et bactériennes tout en prévenant la malnutrition par manque de protéines et de Calories. Encore les composants de l'huile de poisson, comme les acides gras polyinsaturés (AGPI), régulent diverses voies de signalisation, incluant, la voie du récepteur de type Toll, la voie du facteur nucléaire kappa B, la voie du facteur de croissance transformant β (TGF- β) et

les voies du récepteur activé par les proliférateurs de peroxysomes (PPAR) (Agah *et al.*, 2007 ; Chen *et al.*, 2022).

Selon Babelhadj et Benaissa (2020), parmi les consommateurs sondés, la plupart (55 %) consomment des produits de la mer une fois par mois, suivis par ceux qui en ingèrent chaque semaine (36 %). En revanche, ceux qui ont consommé une fois par an ou tous les jours sont moins nombreux, représentant environ 7 % et 2 % respectivement. Ceci peut être attribué au coût important de ces produits et au faible salaire des chefs de famille interrogés. Il est à noter qu'en Algérie, la consommation de produits de la pêche s'élève à environ 4,5 kg/ha/an. Ce chiffre est nettement plus bas que la moyenne Internationale qui s'élève à environ 19,4 kg/ha/an et reste en deçà des recommandations de l'organisation mondiale de la santé (OMS) (6,2 kg/ha/an).

L'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a récemment réévalué l'importance des produits marins dans l'alimentation européenne, en examinant les avantages de leur ingestion sur la santé et en conseillant une consommation de poisson de 1 à 2 repas à base de poisson par semaine (Comité scientifique de l'EFSA, 2015).

D'après (Chen *et al.*, 2022), manger du poisson au moins deux fois par semaine, dans le cadre d'une alimentation équilibrée, est propice à la santé du cœur.

Le poisson est un aliment de qualité supérieure, riche en protéines et lipides, et possédant de minéraux et de vitamines. Pour être conforme aux normes établies par les autorités sanitaires, il doit être consommé en quantités appropriées. Ainsi, il peut donc intégrer dans le repas de la famille au moins une fois par semaine (Babelhadj et Benaissa, 2020).

Malgré leur haute valeur nutritive, une ingestion excessive de certains poissons peut engendrer des conséquences néfastes majeures pour la santé humaine liées à la bioaccumulation du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd), et d'autres éléments traces. Ces derniers se déposent dans les tissus musculaires des poissons suite à leur absorption depuis l'environnement aquatique qui les entoure (Castro-González et Méndez-Armenta, 2008).

Le Thon et différentes autres variétés de poissons jouent un rôle crucial dans notre régime alimentaire en apportant des protéines. Toutefois, leur capacité à concentrer des métaux toxiques représente un risque. D'après la première évaluation universelle des océans

réalisée en 2015, un grand nombre de zones océaniques étaient fortement détruites. De nombreuses recherches indiquent de manière indirecte que le dommage des océans continue et s'est intensifiée au cours des années, influençant certaines espèces de poissons. En substitution, les Nations Unies ont déclaré la décennie des sciences océaniques pour le développement durable (2021-2030) dans le but d'appuyer les initiatives destinées à renverser la tendance au déclin de la santé des océans (**United Nations, 2025 ; De Lima *et al.*, 2021**).

Selon une étude réalisée par **Jedrychowski *et al* (2007)**, Concernant les habitudes de consommation de poisson durant la grossesse et la mesure des teneurs en mercure dans le sang du cordon ombilical, ainsi que l'évaluation du développement cognitif et psychomoteur des bébés observés au cours de leurs trois premières années de la vie. Dans l'ensemble de l'étude, leurs résultats ont révélé que 60,6 % des femmes ont déclaré consommer fréquente de poisson (plus d'une fois par semaine). La concentration de mercure était considérablement plus haute dans le sang du cordon ombilical des bébés (dépassant les 0,9 µg/L) et liée à un retard dans le développement neurocognitif et psychomoteur des enfants à 12 mois, bien qu'elle soit moins identifiable lors des évaluations ultérieures à 24 et 36 mois.

La consommation de poisson durant la grossesse peut apporter des bénéfices potentiels pour la croissance du fœtus, étant une source importante de fer et d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne indispensables au développement sain et au fonctionnement du système nerveux. L'impact positif de l'enrichissement des préparations pour nourrissons en acides gras polyinsaturés à longue chaîne dérivés de l'huile de poisson sur le développement des bébés a déjà été décrit (**Fewtrell *et al.*, 2004, Clandinin *et al.*, 2002**). Néanmoins, il existe des études qui mettent en évidence les conséquences négatives de la consommation de poisson durant la grossesse sur le développement cognitif de l'enfant (**Chang *et al.*, 1997**). Le poisson est un aliment courant contenant du méthylmercure. Ce dernier, ingéré par la mère au cours de la grossesse, passe aisément à travers le placenta et s'accumule en grande concentration dans le fœtus (**Bjornberg *et al.*, 2003**).

Par ailleurs, ces métaux peuvent être transmis de la mère à sa descendance par le biais de l'allaitement. Il est crucial de mener sans tarder des recherches détaillées sur les niveaux des éléments traces dans les produits marins en raison de ces impacts délétères (**Okyere *et al.*, 2015, Taylor *et al.*, 2017**).

Pour assurer une longue durée de conservation du Thon en boîte non ouverte, on doit mettre la boîte dans un endroit frais et sec. En général, il peut conserver sa qualité optimale

entre 3 à 5 ans à température ambiante, qui se situe entre 16 °C et 21 °C. Cependant, même après cette durée, il reste souvent consommable s'il est stocké adéquatement, que la boîte n'est pas endommagée et qu'aucun signe d'altération n'est visible (**Expirata.fr, 2025**).

Une fois la boîte ouverte, le Thon en conserve peut être maintenu au réfrigérateur entre 1 °C et 4 °C dans un contenant en verre ou en plastique pour une durée de 3 à 4 jours. Pour préserver au mieux la qualité du Thon après l'ouverture de la boîte, il est recommandé de le congeler à une température de -18 °C ou moins, dans un conteneur étanche ou un sac de congélation durable, permettant ainsi une conservation optimale jusqu'à trois mois (**Expirata.fr, 2025**).

Concernant le prix d'achat, d'après **Babelhadj et Benaissa (2020)**, la consommation des produits de la pêche est influencée par le revenu de ménage.

En résumé, l'étude a révélé une consommation notablement élevée avec connaissance moyenne des consommateurs en ce qui concerne la consommation par les groupes à risques tels que les femmes enceintes, qui allaitent, les enfants et les personnes âgées, Également une connaissance limitée sur la fréquence de consommation, les critères d'achat et le mode de conservation du Thon en boîte.

6. Chapitre 3 : Détermination des teneurs des éléments traces métalliques au niveau des conserves de Thon vendu en Algérie

6.1. Matériels et méthodes

6.1.1. Échantillonnage, préparation et analyses chimiques

L'étude a ciblé 11 marques de Thon en conserve transformées au sein de huit conserveries dans le nord (l'est, l'ouest et le centre) d'Algérie. L'ensemble des échantillons ont été prélevé aléatoire sur la période 2021-2022 à partir des grandes surfaces et grosseries au niveau des différentes villes, avec deux types principaux de conserves de Thon huile et tomate (entier ou en miettes) de lots différents et les plus couramment consommés en Algérie (figure 27).

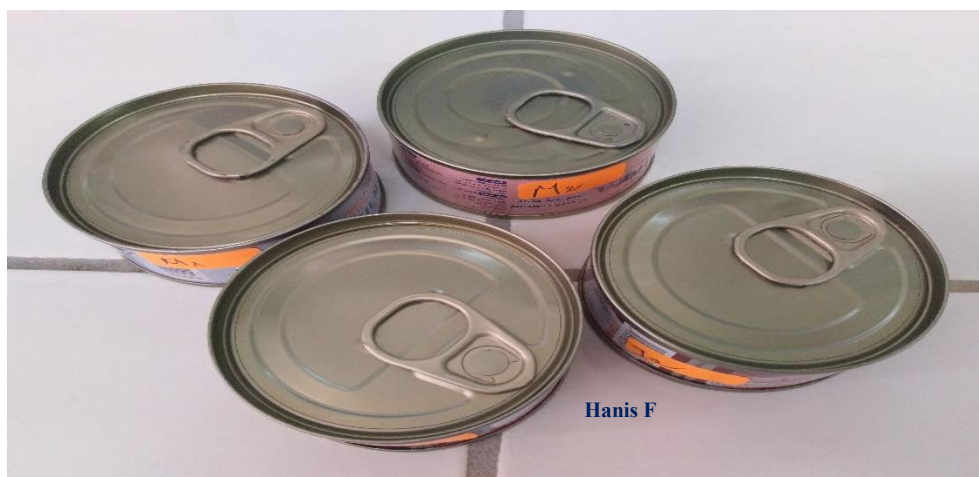


Figure 27: Échantillons de Thon en conserve retenues dans l'étude

La préparation et l'analyse des échantillons ont été effectuées dans le laboratoire de Centre de recherche nucléaire de Birine (Djelfa, Algérie) et le laboratoire de centre de recherche scientifique et technique en analyses physico chimiques (plateau Ouargla, Algérie).

Toute la verrerie a été nettoyée par un détergent et par l'acétone et tremper pendant une nuit dans de l'acide nitrique (HNO_3 à 10 %). Suivie d'un rinçage à l'eau déionisé avant l'utilisation.

Les réactifs utilisés pour la minéralisation étaient de qualité de réactif analytique (Allemagne, France). Les solutions d'étalonnages ont été préparées en diluant la solution étalons mère (concentrée de 1000 mg/litre multiéléments pour le dosage par ICP-OES), afin

de réaliser diverses dilutions telles que 0,5-1-1,5-2 ($\mu\text{g/L}$ ou mg/L) Le blanc (eau déionisée) est employé entre chaque échantillon examiné afin de vérifier la performance de l'analyse.

Toutes les marques de Thon en conserve ont été codées et stockés dans un endroit propre et sec jusqu'aux procédures de préparation au laboratoire de chimie. Après l'ouverture de chaque boîte, la viande a été homogénéisée dans un mixeur alimentaire avec des couteaux en acier inoxydable (Bergmann HB 2025 Hand blender 1000w, chine). Environ 2 g de chaque échantillon ont été digéré dans un ballon en quartz avec 08 ml de solution nitrique (HNO_3), qui a une concentration de 65 % (Honeywell Fluka Allemagne), 2 ml de l'eau oxygéné (H_2O_2) à une concentration de 30% (PROLABO France) et 2 ml de l'acide chlorhydrique (HCL) à une concentration de 38% (Biochem Chemopharma France). À l'aide d'une chauffe ballon à 100 °C dans une 1 heure. Ensuite 2 ml d'acide nitrique (concentration de 65 %) et 2 ml de l'acide perchlorique (HClO_4) à 70% (PROLABO France) ont été ajouté pour une durée de deux heures et demie à 80 °C.

La solution a été transférer dans une fiole jaugée de 50 ml et la diluer jusqu'au trait avec de l'eau déionisée. Après refroidissement de l'échantillon à 4 °C, une filtration avec whatman 0.2 μm

La digestion était faite conformément au protocole de laboratoire de Centre de recherche nucléaire de Birine.

Enfin, la détermination des éléments traces Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn, As ont été effectués par spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES Perkin Elmer). Et le mercure (Hg) a été déterminé par spectrophotométrie d'absorption atomique à vapeur froide (CV-AAS Analytik Jena). Les échantillons ont été mélangés de manière homogène et les analyses ont été effectuées avec trois répétitions (Fassel et Kniseley, 1974 ; Zahnit *et al.*, 2022 ; De Lima *et al.*, 2021).

Les conditions instrumentales pour la détermination des éléments traces par ICP- OES et SAA étaient résumées comme suit :

- **ICP- OES** : Plasma : 08 l/min, Gaz : Argon, Gaz auxiliaire : 0,2 L/min, Nébuliseur 0,70 L/min, Radio fréquence power :1500 watts, Pompe : 1 ml /min, Répétition : 3 fois.

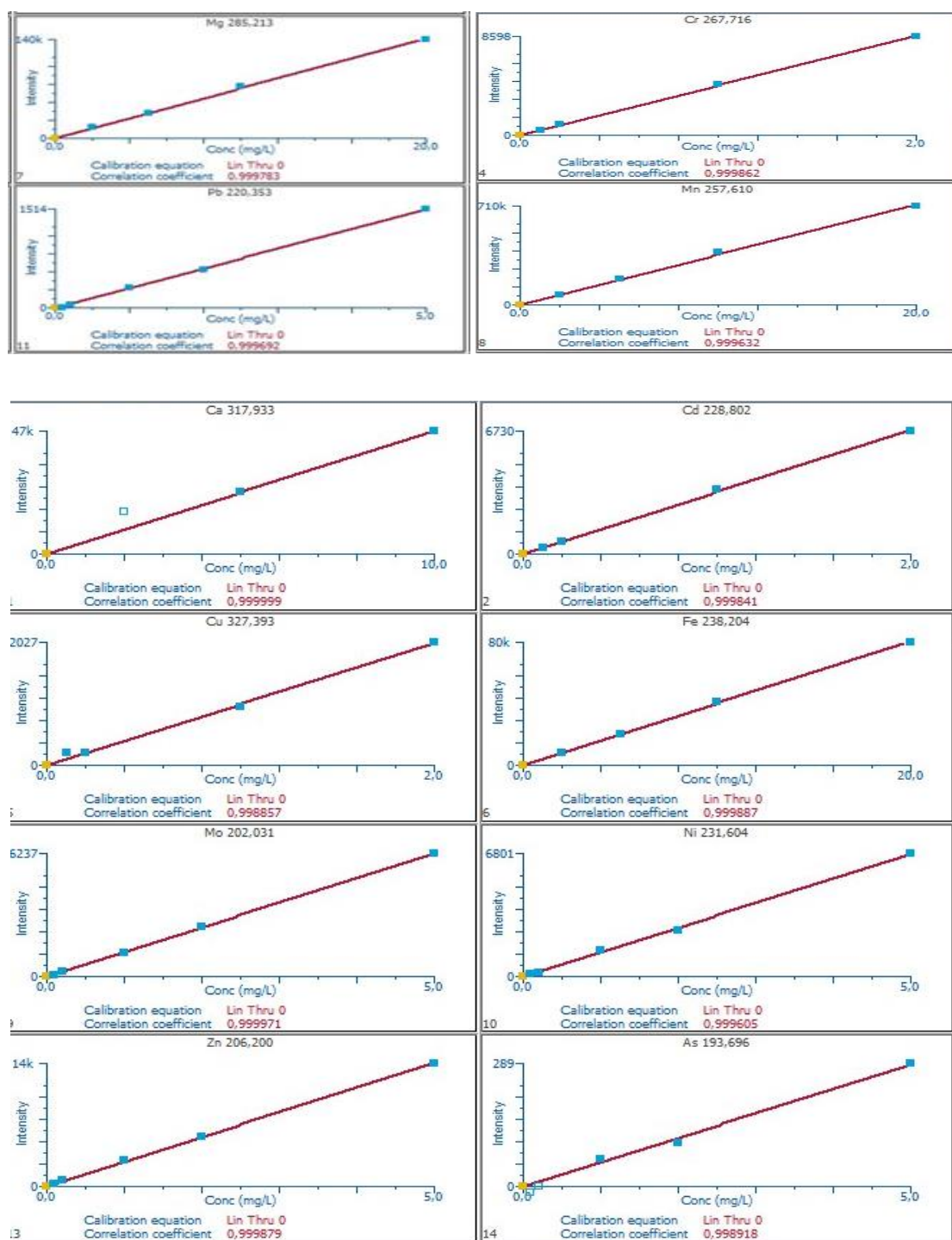


Figure 28: Calibration standards (Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn, As)

➤ CV-AAS

Recalculation

12.02.2023 11:07

Page

1/6

Mercur

Report file: C:\WinAAS\tmp\Pro_570
 Program version: 4.7.9.0 Printed on: 12.02.2023 11:07
 Recording started on 12.02.2023 11:06 GMT+1.0
 Operator: sarra halima zineb
 Laboratory: PTAPC Ouargla
 Code: 02

Remarks:

Method parameters**Hg**

Method
 Created on 12.02.2023 Time 11:06
 Program ---

Parameters Mercur Technique: Hg fluorescence

Line	253.7 nm		
Lamp type	Hg-LP		
Integr. mode	Peak height	Integr. time	35 s
PMT	383 V	Peak smoothing	2/5
AZ time	5 s		
Delay	0 s		

Working mode	w/o enrich.	System cleaning	Acid/red. agent
FBR technique	off	Wash time acid	10 s
Pump speed	2	Soaking time	20 s
		Wash time red.	10 s
Sample load time	11 s	Gas load time	10 NL/h
Reaction time	6 s		
Waiting time AZ	10 s		
Purge time1	35 s		

Autosampler

Autosampler	AS52S/FD	Tray type	87/139
Working mode	continuous		

Figure 29: Les paramètres de CV-AAS

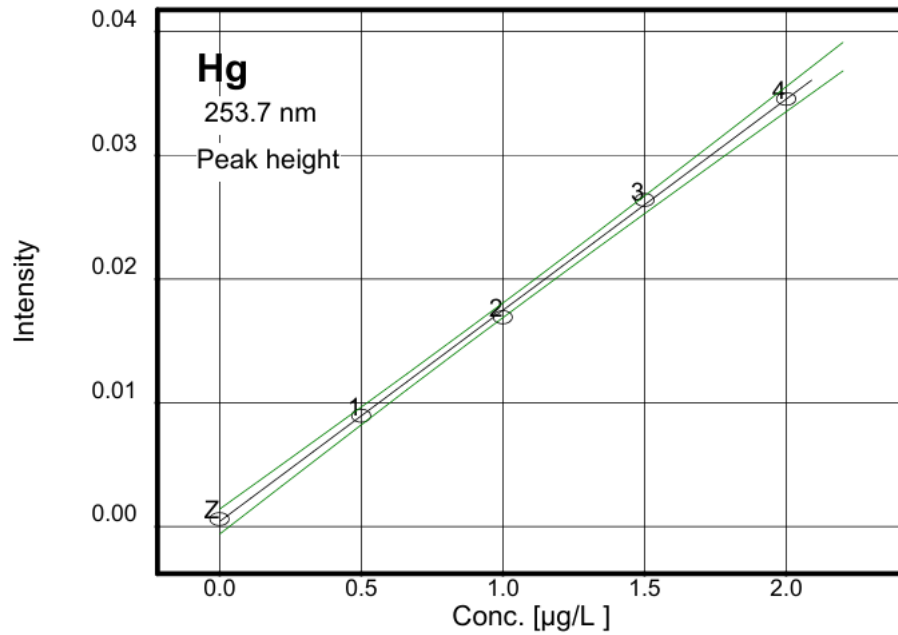


Figure 30: Calibration standards Hg

Pour le calcul des résultats nous avons adopté l'équation suivante (Denis, 2011) :

$$C(\text{échantillon})(\text{mg} / \text{kg PB}) = \frac{C(\text{échantillon})(\text{mg} / \text{L}).V(\text{minéralisation})(\text{L})}{\text{masse de la prise d'essai}(\text{kg})} [1]$$

PB : produit brut

Les figures ci-dessous illustrent les différentes phases de digestion et d'analyse des échantillons de Thon en conserve :



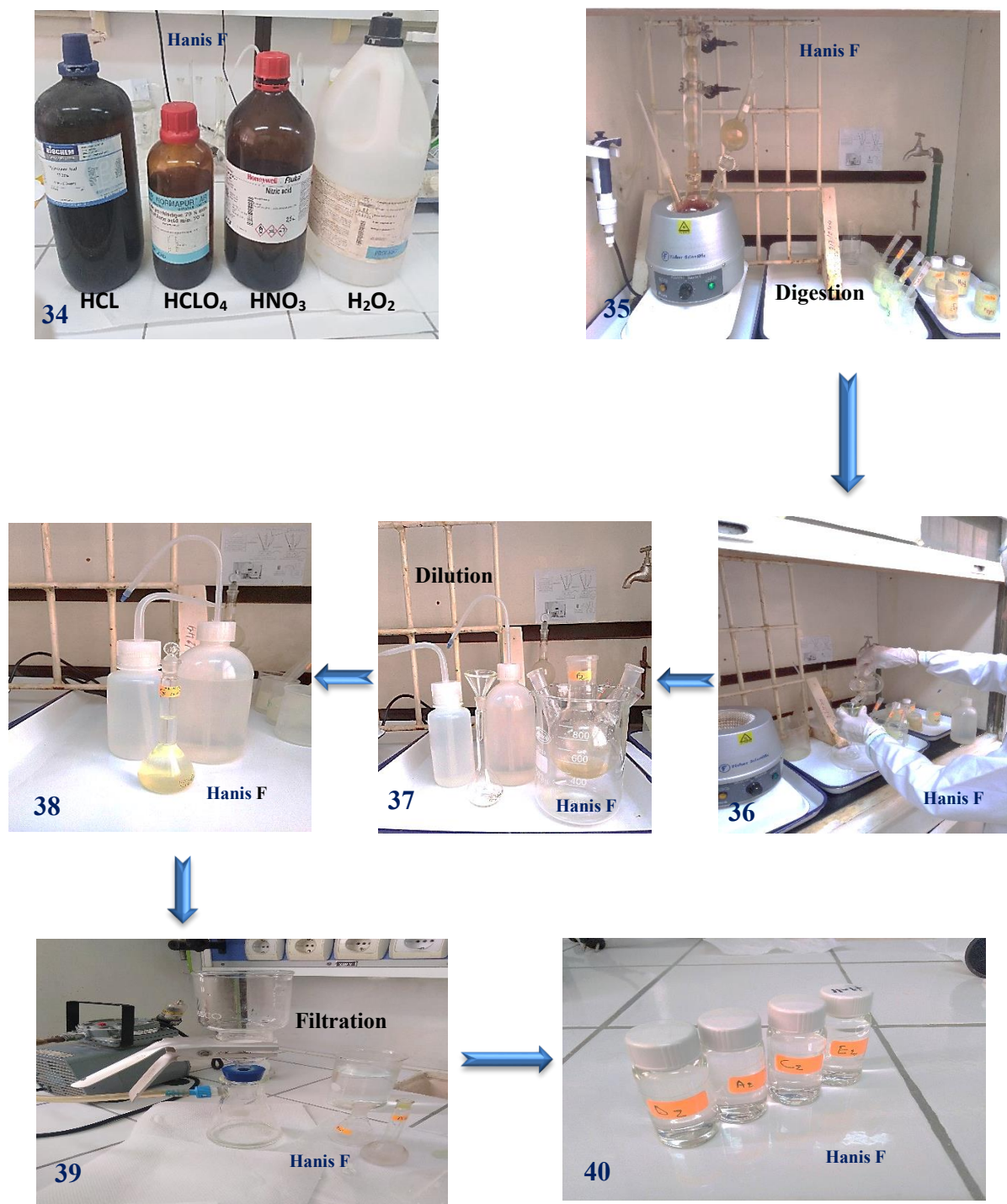


Figure 32- 40 : Les étapes de la minéralisation de Thon en conserve

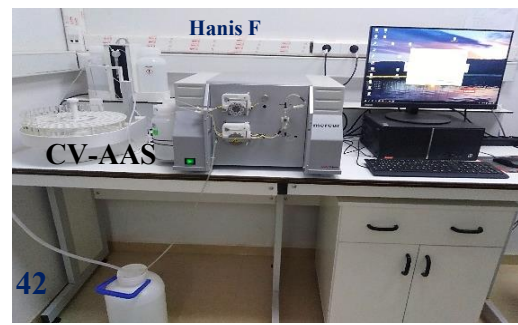


Figure 41- 42 : La détermination des éléments traces dans les échantillons de Thon en conserve par ICP-OES et CV-AAS

6.1.2. Vérification de la qualité / assurance qualité (QC/QA)

La validation du contrôle qualité des analyses est une étape primordiale pour garantir la fiabilité des résultats, dans cette étude, deux normes WEPAL-IPE 172 et WEPAL-IPE 189 ont été utilisées pour évaluer la qualité des résultats obtenus. Le test des paramètres des scores Z et U ont été déterminés en se basant sur les équations ci-dessous. On considère les résultats comme acceptables lorsque le Z-score ≤ 3 et satisfaisant si U-score ≤ 1 .

$$Z_{\text{score}} = \frac{|X_{\text{Lab}} - X_{\text{Ref}}|}{\mu_{\text{Lab}}}$$

$$U_{\text{score}} = \frac{|X_{\text{Lab}} - X_{\text{Ref}}|}{\sqrt{\mu_{\text{Lab}}^2 + \sigma_{\text{Ref}}^2}}$$

Avec X_{Lab} , μ_{Lab} , X_{Ref} et σ_{Ref} respectivement les résultats de laboratoire, l'écart type et les recommandées et les incertitudes standards (Messaoudi *et al.*, 2022).

6.2. Analyse statistique

Après avoir rassemblé et trié toutes les données disponibles dans un fichier Excel, nous avons constitué une base de données finale contenant tous les paramètres nécessaires pour le traitement statistique.

Les données ont été analysées par le logiciel « SPSS » Version 22 et Microsoft Office Excel 2016. Les statistiques descriptives (moyennes, écart types et proportions) sont calculées pour chacun des paramètres. Une analyse de la variance à un facteur a été effectuée pour chacun des paramètres étudiés. Les sources de variations étaient : le liquide d'enrobage de conserve huile ou tomate et la structure de viande de Thon (entier ou entier). La région de

fabrication des marques (Bouffleur *et al.*, 2013 ; Al Ghoul *et al.*, 2020). La significativité de tous les tests a été fixée à $p \leq 0,05$.

6.3. Résultats

6.3.1. Résultats de la contamination de Thon en conserve par les éléments trace métalliques

L'étude a porté sur cinquante-quatre échantillons de Thon en conserve commercialiser dans divers supermarchés à travers différentes régions de l'Algérie.

Les limites de détections et les teneurs en éléments trace métalliques pour Hg, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn et As dans le Thon en conserve sont présentés dans le tableau 05- 06.

Tableau 5: Les limites de détections (ppm)

Métal	Hg(ppm)	Ca (ppm)	Cd (ppm)	Cr(ppm)	Cu(ppm)	Fe (ppm)	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)
Limite de détection (LOD)	0.0061	0.0100	0.0027	0.0070	0.009	0.0046	0.0016	0.0040	0.0079	0.015	0.040	0.0059	0.053

Tableau 6: Teneurs des éléments traces dans les conserves de Thon vendu en Algérie (mg.kg-1)

Variables	N	Moy ±Ect	ICM 95%		Min	Max
Hg	54	0,045±0,022	0,039	0,051	0,019	0,099
Ca	54	150,582±77,291	129,486	171,678	49,1099	298,8025
Cd	54	0,048±0,066	0,029	0,066	0,0045	0,2598
Cr	54	1,043±0,726	0,845	1,241	0,1285	2,1246
Fe	54	17,420±10,531	14,546	20,295	8,5561	55,9432
Mg	54	200,196±54,5	185,294	215,099	121,271	379,177
Mn	54	0,443±0,28	0,364	0,522	0,0767	1,292
Mo	54	3,150±0,67	2,967	3,334	2,105	3,953
Zn	54	11,380±7,54	9,321	13,440	2,860	35,904
Cu	54	<LOD	<LOD	<LOD	/	/
Ni	54	<LOD	<LOD	<LOD	/	/
Pb	54	<LOD	<LOD	<LOD	/	/
As	54	<LOD	<LOD	<LOD	/	/

N : nombre d'échantillons, **Moy $\pm$ Ect** : moyen / écart-type, **Min** : dose minimale, **Max** : dose maximale, **LOD** : la limite de détection, **ICM** : intervalle de confiance de la moyenne

L'analyse des résultats obtenus montre que les concentrations en Cu, Ni, Pb et As étaient inférieures à la limite de détection ($<LOD$) pour tous les échantillons de conserve de Thon.

Les variations de concentration minimale et maximale de Hg dans le Thon en conserve analysé étaient entre 0,0186 à 0,0991 mg.kg⁻¹ avec une valeur moyenne de 0,045 $\pm$ 0,022 mg.kg⁻¹. Tous les échantillons ont montré la présence de cadmium avec une variation de concentration minimale et maximal 0,0045 à 0,2598 mg.kg⁻¹ et une moyenne de 0,048 $\pm$ 0,066 mg.kg⁻¹, certaines marques de conserves de Thon présente des teneurs de cadmium (0,2598 mg.kg⁻¹) plus élevé aux seuils fixé à 0.10 mg.kg⁻¹ par la réglementation Algérien.

Les concentrations minimale et maximal de Ca dans le Thon en conserve étaient comprises entre 49,1099 à 298,8025 mg.kg⁻¹, tandis que les valeurs des autres éléments variaient de 0,1285 à 2,1246 mg.kg⁻¹ pour le chrome, 8,5561 à 55,9432 mg.kg⁻¹ pour le Fe, 121,2711 à 379,1778 mg.kg⁻¹ pour le Mg, 0,0767 à 1,2928 mg.kg⁻¹ pour le Mn, 2,1054 à 3,9532 mg.kg⁻¹ pour le Mo et 2,8604 à 35,9042 mg.kg⁻¹ pour le Zn.

La procédure analytique a été approuvée en utilisant deux matériaux de référence standard, WEPALIPE 172 et WEPALIPE 189, qui ont servi d'étalon et des échantillons de contrôles qualité pour confirmer les données obtenues et assurer la fiabilité ainsi que le contrôle qualité lors de l'utilisation de la technique ICP-OES dans cette étude.

Le tableau 07 présente une comparaison entre les valeurs détectées et les valeurs certifiées pour les deux matériaux de référence, IPE 189 et IPE 172, ainsi que le test statistique des scores Z et score U. Le résultat obtenu a révélé que les scores Z variaient entre 0,11 et 2,79, tandis que les scores U étaient de 0.07 à 0,98.

Sur la base de ces observations, cette évaluation révèle un bon niveau de concordance et une qualité satisfaisante des résultats issus de cette recherche.

Une étape essentielle dans la qualité des résultats est la validation interne concernant la qualité et le contrôle qualité des analyses. Dans cette recherche, les échantillons standards WEPALIPE 172 et WEPALIPE 189, utilisés comme référence dans la méthode ICP-OES, ont été respectivement employés comme standard de référence et comme échantillon témoin

Tableau 7: Comparaison des valeurs certifiées et calculées du CRM (matériaux de référence certifiés) IPE 189 et IPE 172

Eléments	Standards (mg/kg)							
	IPE 189				IPE 172			
	Valeurs mesurées	Valeurs certifiées	U- score	Z- score	Valeurs mesurées	Valeurs certifiées	U- score	Z- score
Ca (mg/kg⁻¹)	6346.5±30.2	6730±402	0.95	0.95	17,627±2378	17,200±1030	0.16	0.41
Co (µg /kg⁻¹)	77.5±15.9	78.9±013.2	0.07	0.11	116.33±26.14	106±20.1	0.31	0.51
Cr(mg/kg⁻¹)	0.919±0.267	1.18±0.228	0.74	1.14	0.5129± 0.1189	0.4230±0.1149	0.54	0.78
Fe (mg/kg⁻¹)	104.4±12.8	110±7.4	0.38	0.76	67.84±6.51	64.4±6.55	0.37	0.53
Zn (mg/kg⁻¹)	19.12±1.39	20.1±1.32	0.51	0.74	33.21±2.31	31.6±2.19	0.51	0.74
Hg (µg /kg⁻¹)	10.67±0.88	9.65±0.554	0.98	1.84	28.98±4.51	25±01.99	0.81	2.00
As (µg/kg⁻¹)	-	nd	-	-	65.768±10.167	57.9±9.32	0.57	0.84
Cd (mg/kg⁻¹)	-	nd	-	-	0.0861±0.0199	0.0743±0.00735	0.56	1.61
Cu (mg/kg⁻¹)	12.55±1.66	11.4±0.73	0.63	1.58	4.773±0.6478	5.45±0.495	0.83	1.37
Mg (mg/kg⁻¹)	2585±465	2650±163	0.13	0.40	2811.2±716.6	2610±160	0.27	1.26
Mn (mg/kg-1)	1521±213	1430±98	0.39	0.93	122.0±22.0	103±6.8	0.83	2.79
Mo (mg/kg⁻¹)	0.33±0.08	0.265±0.050	0.72	1.32	0.49±0.08	0.438±0.0504	0.49	0.95
Pb (mg/kg⁻¹)	-	nd	-	-	0.88±0.09	0.777±0.0614	0.94	1.64

(-) : non signalé CRM : certified reference materials

6.3.2. Effet des variables sur la composition élémentaire du Thon en conserve

6.3.2.1. Répartition de la contamination par les éléments traces détecté dans les conserves de Thon selon le type de liquide d'enrobage

Les résultats des teneurs en Hg, Ca, Cd, Cr, Fe, Mg, Mn, Mo et Zn dans les conserves de Thon selon le type de liquide d'enrobage sont répertoriées dans le tableau 08.

Tableau 8: Variation des teneurs des éléments traces dans les conserves de Thon vendu en Algérie selon le type de liquide d'enrobage (mg.kg⁻¹)

Variables	Liquide d'enrobage	N	Moy ±Ect	ICM 95%		P
Hg	Huile	21	0,046±0,022	0,036	0,056	NS
	Tomate	33	0,044±0,022	0,036	0,052	
Ca	Huile	21	94,537±36,288	78,019	111,055	***
	Tomate	33	186,247±75,486	159,481	213,013	
Cd	Huile	21	0,057±0,087	0,018	0,097	NS
	Tomate	33	0,041±0,050	0,024	0,059	
Cr	Huile	21	1,162±0,749	0,821	1,503	NS
	Tomate	33	0,967±0,712	0,715	1,220	
Fe	Huile	21	12,825±3,634	11,171	14,479	***
	Tomate	33	20,345±12,360	15,962	24,727	
Mg	Huile	21	200,811±80,58	164,128	237,493	NS
	Tomate	33	199,806±29,627	189,300	210,311	
Mn	Huile	21	0,251±0,24	0,140	0,362	***
	Tomate	33	0,565±0,24	0,477	0,653	
Mo	Huile	21	3,015±0,70	2,694	3,336	NS
	Tomate	33	3,237±0,64	3,007	3,467	
Zn	Huile	21	14,290±9,44	9,989	18,590	*
	Tomate	33	9,529±5,42	7,605	11,452	

NS : statistiquement non significatives, * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$.

Pour les paramètres étudiés, l'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif ($P < 0,001$) de type de liquide d'enrobage sur les concentrations de Ca, Fe, Mn et le Zn (Tableau 18). La concentration moyenne de Ca atteint $(186,247 \pm 75,486) \text{ mg.kg}^{-1}$, de Fe $(20,345 \pm 12,360) \text{ mg.kg}^{-1}$ et de Mn $(0,565 \pm 0,24) \text{ mg.kg}^{-1}$ dans les conserves de Thon type tomate est significativement ($p < 0,05$) plus élevée que celle enregistrée dans les conserves de Thon type huile avec $(94,537 \pm 36,288) \text{ mg.kg}^{-1}$ pour le Ca, $(12,825 \pm 3,634) \text{ mg.kg}^{-1}$ pour le Fe, et $(0,251 \pm 0,24) \text{ mg.kg}^{-1}$ pour le Mn. La concentration moyenne de Zn atteint $(9,529 \pm 5,42) \text{ mg.kg}^{-1}$ dans les conserves de Thon type tomate est inférieure à celle trouvée dans les conserves de Thon type huile avec $(14,290 \pm 9,44) \text{ mg.kg}^{-1}$.

L'analyse de la variance ne montre aucune différence significative des teneurs entre les deux types de liquide d'enrobage tomate et huile pour les éléments toxiques Hg, Cd et les éléments essentiels Cr, Mg, Mo ($p > 0.05$), avec des résultats des teneurs détectés de Hg ($0,046 \pm 0,022$ - $0,044 \pm 0,022$) mg.kg^{-1} , Cd ($0,057 \pm 0,087$ - $0,041 \pm 0,050$) mg.kg^{-1} , Cr ($1,162 \pm 0,749$ - $0,967 \pm 0,712$) mg.kg^{-1} , Mg ($200,811 \pm 80,58$ - $199,806 \pm 29,627$) mg.kg^{-1} , Mo ($3,015 \pm 0,70$ - $3,237 \pm 0,64$) mg.kg^{-1} .

6.3.2.2. Répartition de la contamination par les éléments traces détecté dans les conserves de Thon selon la structure de Thon entier et miettes

Les résultats des teneurs en Hg, Ca, Cd, Cr, Fe, Mg, Mn, Mo et Zn dans les conserves de Thon selon la structure de Thon entier et miettes sont répertoriées dans le tableau 09.

Tableau 9: Variation des teneurs des éléments traces dans les conserves de Thon vendu en Algérie selon la structure de Thon (mg.kg-1)

Variables	Structure	N	Moy $\pm$ Ect	ICM 95%		P
Hg	Entier	24	$0,040 \pm 0,021$	0,031	0,049	NS
	Miettes	30	$0,049 \pm 0,022$	0,041	0,057	
Ca	Entier	24	$134,857 \pm 41,041$	117,527	152,188	NS
	Miettes	30	$163,162 \pm 95,987$	127,320	199,004	
Cd	Entier	24	$0,025 \pm 0,028$	0,014	0,037	**
	Miettes	30	$0,065 \pm 0,082$	0,035	0,096	
Cr	Entier	24	$1,017 \pm 0,740$	0,705	1,329	NS
	Miettes	30	$1,064 \pm 0,727$	0,792	1,336	
Fe	Entier	24	$15,868 \pm 5,410$	13,584	18,153	NS
	Miettes	30	$18,662 \pm 13,263$	13,710	23,615	
Mg	Entier	24	$222,294 \pm 67,169$	193,931	250,657	***
	Miettes	30	$182,518 \pm 33,795$	169,899	195,138	
Mn	Entier	24	$0,468 \pm 0,209$	0,380	0,557	NS
	Miettes	30	$0,423 \pm 0,342$	0,295	0,550	
Mo	Entier	24	$3,090 \pm 0,690$	2,798	3,381	NS
	Miettes	30	$3,199 \pm 0,667$	2,950	3,448	
Zn	Entier	24	$9,237 \pm 3,680$	7,683	10,791	NS
	Miettes	30	$13,095 \pm 9,299$	9,622	16,567	

NS : statistiquement non significatives, * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$

L'analyse de la variance ne montre aucune différence significative des teneurs entre les deux types de structure des conserves de Thon entier et miettes pour l'élément toxique Hg, et les éléments essentiels Ca ($p < 0.05$), Cr, Fe, Mn, Mo et le Zn. Les résultats des teneurs détectés de Hg ($0,040 \pm 0,021 - 0,049 \pm 0,022$) mg.kg^{-1} , Ca ($134,857 \pm 41,041 - 163,162 \pm 95,987$) mg.kg^{-1} , Cr ($1,017 \pm 0,740 - 1,064 \pm 0,727$) mg.kg^{-1} , Fe ($15,868 \pm 5,410 - 18,662 \pm 13,263$) mg.kg^{-1} , Mn ($0,468 \pm 0,209 - 0,423 \pm 0,342$) mg.kg^{-1} , Mo ($3,090 \pm 0,690 - 3,199 \pm 0,667$) mg.kg^{-1} , Zn ($9,237 \pm 3,680 - 13,095 \pm 9,299$) mg.kg^{-1} montrent des concentrations moyennes similaires dans les deux types des conserves de Thon entier et miettes.

La concentration moyenne de Cd atteint ($0,065 \pm 0,082$) mg.kg^{-1} , dans les conserves de Thon type miettes est significativement ($p < 0.01$) plus élevée que celle enregistrée dans les conserves de Thon type entier avec ($0,025 \pm 0,028$) mg.kg^{-1} .

La concentration moyenne de Mg atteint ($182,518 \pm 33,795$) mg.kg^{-1} dans les conserves de Thon type miettes est significativement ($p < 0.001$) inférieure à celle trouvée dans le Thon type entier avec ($222,294 \pm 67,169$) mg.kg^{-1} .

6.3.2.3. Répartition de la contamination par les éléments traces détecté dans les conserves de Thon selon les marques produit dans chaque région

Les résultats des teneurs en Hg, Ca, Cd, Cr, Fe, Mg, Mn, Mo et Zn dans les conserves de Thon selon les marques produit dans chaque région sont répertoriées dans le tableau 10.

Tableau 10: Variation des teneurs des éléments traces dans les conserves de Thon vendu en Algérie selon les marques produit dans chaque région (mg.kg-1)

Variables	Région	N	Moy $\pm$ Ect	ICM 95%		P
Hg	Ouest	30	0,041 $\pm$ 0,022	0,033	0,049	NS
	Centre	18	0,051 $\pm$ 0,023	0,040	0,062	
	Est	6	0,045 $\pm$ 0,015	0,030	0,061	
Ca	Ouest	30	156,726 $\pm$ 56,913	135,474	177,978	NS
	Centre	18	126,752 $\pm$ 88,145	82,918	170,585	
	Est	6	191,353 $\pm$ 117,705	67,829	314,877	
Cd	Ouest	30	0,068 $\pm$ 0,082	0,038	0,099	**
	Centre	18	0,021 $\pm$ 0,021	0,011	0,032	
	Est	6	0,022 $\pm$ 0,007	0,015	0,030	
Cr	Ouest	30	1,291 $\pm$ 0,664	1,043	1,539	**
	Centre	18	0,698 $\pm$ 0,793	0,304	1,093	
	Est	6	0,839 $\pm$ 0,217	0,611	1,066	
Fe	Ouest	30	20,903 $\pm$ 12,726	16,151	25,655	**
	Centre	18	12,581 $\pm$ 4,124	10,530	14,632	
	Est	6	14,527 $\pm$ 3,375	10,985	18,068	
Mg	Ouest	30	208,747 $\pm$ 67,657	183,483	234,011	NS
	Centre	18	184,593 $\pm$ 32,572	168,395	200,791	
	Est	6	204,255 $\pm$ 10,267	193,481	215,029	
Mn	Ouest	30	0,534 $\pm$ 0,325	0,413	0,655	*
	Centre	18	0,333 $\pm$ 0,163	0,252	0,415	
	Est	6	0,317 $\pm$ 0,263	0,041	0,594	
Mo	Ouest	30	3,349 $\pm$ 0,564	3,138	3,559	*
	Centre	18	2,923 $\pm$ 0,828	2,511	3,335	
	Est	6	2,841 $\pm$ 0,299	2,527	3,155	
Zn	Ouest	30	7,644 $\pm$ 3,930	6,177	9,112	***
	Centre	18	16,319 $\pm$ 9,765	11,463	21,174	
	Est	6	15,243 $\pm$ 0,501	14,718	15,769	

NS : statistiquement non significatives, * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$

L'analyse de la variance ne montre aucune différence significative ($p > 0.05$) des teneurs entre les marques fabriquées dans les trois régions de l'ouest, le centre et l'est pour l'élément toxique Hg, et les éléments essentiels Ca, Mg.

La concentration moyenne atteint (0,068 $\pm$ 0,082) mg.kg⁻¹ pour le Cd, (1,291 $\pm$ 0,664) mg.kg⁻¹ pour le Cr, (20,903 $\pm$ 12,726) mg.kg⁻¹ pour Fe, (0,534 $\pm$ 0,325) mg.kg⁻¹ pour Mn et (3,349 $\pm$ 0,564) mg.kg⁻¹ pour Mo dans les marques de conserves de Thon fabriqué dans la région de l'ouest est plus élevée que celle enregistrée dans les marques de conserves de Thon

fabriqué dans les régions de centre et de l'est, ces derniers montrent des concentrations moyennes similaires.

L'analyse de la variance a montré une différence significative des teneurs entre les marques de la région de l'ouest avec le centre et l'est mais pas de différence significative des teneurs entre les marques de la région de centre et l'est pour l'élément toxique Cd et les éléments essentiels Cr, Fe, Mn et Mo ($p > 0.05$).

L'analyse de la variance a montré une différence très significative $p (< 0,001)$ des teneurs entre les marques fabriquées dans les trois régions de l'ouest, le centre et l'est pour l'élément essentiel Zn. La concentration moyenne de Zn ($16,319 \pm 9,765$) mg.kg^{-1} est plus élevée dans les marques de conserves de Thon fabriqué dans la région de centre, suivi par les concentrations moyenne des marques de la région de l'est avec ($15,243 \pm 0,501$) mg.kg^{-1} et en dernier par la concentration moyenne des marques de la région de l'ouest ($7,644 \pm 3,930$) mg.kg^{-1} .

6.4. Discussion

6.4.1. Contamination de Thon en conserve par les éléments trace métalliques et comparaison avec la littérature

La pollution des environnements peut provenir de sources naturelles, comme les fuites de métaux de la croûte terrestre, et d'activités humaines, tel que les eaux usées municipales et agricoles les rejets industriels et les déchets solides (Arisekar *et al.*, 2022a).

Durant la période de sécheresse et pendant la saison des pluies, le vent et le courant d'eau véhiculent divers composants chimiques vers les lacs, les ruisseaux et les rivières, y compris des métaux lourds, des métaux et des Métalloïdes (Custodio *et al.*, 2020). Ces rivières et ces vents sont associés à l'accumulation de métaux et de métalloïdes dans les mers et les océans, se transformant pour le plancton, les animaux marins et les poissons consommés par l'homme (Landrigan *et al.*, 2020).

Le Thon était connu comme un poisson carnivore et prédateur, doté de comportements migratoires, capable d'accumuler d'importantes quantités de métaux (Al-Mughairi *et al.*, 2013 ; Ashraf, 2006).

De nombreux facteurs peuvent influencer la concentration d'éléments traces chez les poissons, y compris la durée de contact avec les polluants présents dans l'eau et dans certaines cas la composition chimique de l'eau (**Valbonesi et al., 2021**). Parmi les autres facteurs contribuant à la contamination pendant la manipulation et la transformation, mentionnons l'âge, le sexe, le tissu cible, la taille corporelle, le poids, le cycle de reproduction, les espèces de poissons, la zone de capture, les méthodes de transport, d'entreposage et de transformation, ainsi que leur milieu et leur composition (**Herrmann et al., 2016 ; Arisekar et al., 2022b ; Rajeshkumar et al., 2018**). De plus, les concentrations de contaminants présents dans différentes variétés de poissons en conserve peuvent varier selon le métabolisme et le régime alimentaire (**Storelli, 2005**).

L'activité métabolique constitue également un des facteurs déterminants de la concentration en métaux lourds dans les tissus des poissons. L'accumulation chez les individus jeunes tend généralement à être plus importante que chez les individus plus âgés, en raison de leur taux métabolique souvent très élevé (**Kim et Kang, 2015**).

La concentration des métaux lourds diminue à mesure que l'âge et la taille du poisson s'accroissent, car l'activité métabolique baisse proportionnellement (**Liu et al., 2015**).

L'environnement constitue également un élément qui peut profondément influencer le processus d'accumulation des métaux dans les poissons. Les organismes benthiques, qui habitent la couche basse de la colonne d'eau, ont une propension à concentrer des niveaux plus élevés de métaux lourds en comparaison aux organismes pélagiques (**Hosseini et al., 2015**). De plus, le pH, la température, la dureté, la salinité, les nutriments, la matière organique, le carbone organique ainsi que les conditions environnementales influencent la biodisponibilité et le niveau de bioaccumulation des métaux dans l'écosystème marin (**Batvari et al., 2016**).

La saison de pêche joue un rôle crucial dans la fluctuation de l'accumulation des métaux lourds, selon Rajeshkumar et al, ont démontré que l'accumulation saisonnière de métaux dans les muscles, les branchies, le foie, les reins et l'intestin de l'espèce *Carassius carassius* s'intensifie significativement en hiver et en été comparativement au printemps et à l'automne (**Rajeshkumar et al., 2018**).

Le type de métal (taille moléculaire, spéciation chimique, biodisponibilité, mobilité) influence également la bioaccumulation. En effet, les métaux dont la vitesse d'absorption dépasse celle de l'élimination tendent à s'accumuler dans le corps. Généralement, une élimination faible des éléments traces est attribuée à leur séquestration par les métallothionéines (**Ouro-Sama et al., 2014 ; Luczyński et al., 2018 ; Batvari et al., 2016**).

Des recherches ont associé la présence de métaux lourds dans les conserves de Thon à la pollution marine due aux eaux résiduaires, à l'eau exploitée pour l'agriculture, et à la contamination survenant lors de la manipulation et de la transformation des conserves (**Al Ghouli et al., 2020 ; Domingo et al., 2007**).

Les changements dans les caractéristiques physicochimiques durant le stockage affectent la qualité des aliments et diminuent leur sécurité. D'un autre côté, l'utilisation de boîtes en métal pour l'emballage et la dégradation croissante des écosystèmes aquatiques amplifient le danger de contamination du Thon par les éléments traces métalliques (**Bonyadian et al., 2012 ; Cheung et Chan, 1999**).

Les métaux traces peuvent causer des impacts négatifs sur la santé, comme des troubles de la reproduction, des malformations du développement et des allergies (**Arisekar et al., 2024**). Des études récentes ont démontré la bioaccumulation des métaux nocifs dans les fruits de mer, amplificateur leur concentration chez l'humain via la chaîne alimentaire (**Kumar et al., 2019, Wang et al., 2021**).

Dans le cadre de cette étude, les résultats obtenus des différents métaux lourds dosés dans le Thon en conserve consommé en Algérie ont montré des moyennes inférieures aux seuils limites réglementaires national (arrêté interministériel du 05 janvier 2011) (**JORDP, 2011**) (**Annexe 02**). Et international européen (règlement (UE) N° 1881/2006) (**Union Européenne, 2006**). Sauf pour le cadmium dans certaines marques de conserves de Thon ($0,2598 \text{ mg.kg}^{-1}$) présente des teneurs plus élevées aux seuils fixé à 0.10 mg.kg^{-1} par la réglementation Algérien (**JORDP, 2011**). De plus, nous avons obtenu des teneurs en Cu, Ni, Pb et As inférieures à la limite de détection. En comparaison avec les études publiées et avec les normes nationales et internationales ci-dessous tableau 11 nous avons retenue :

Tableau 11: Comparaison les valeurs moyennes obtenues des éléments traces métalliques dans le Thon en conserves consommé en Algérie avec les résultats de la littérature

Eléments	Hg	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn	As	Références
Pays														
Nos résultats d'Algérie (mg.kg ⁻¹)	0,0186–0,0991	49,11–298,80	0,0045–0,2598	0,128–2,125	< 0,009	8,556–55,94	121,271–379,17	0,077–1,293	2,105–3,953	<0,015	< 0,040	2,86–35,9042	< 0,053	Étude actuelle
Iran (mg.kg ⁻¹)	0,005–0,790		0,01–0,037								0,02–0,71			Sadighara <i>et al.</i> , 2022
Iran (mg.kg ⁻¹)		398,22 – 448,47												Daraci <i>et al.</i> , 2021
Brazil (mg/130 g)		0,01 ± 0,003 à 9,2 ± 2,6			0,008 ± 0,002 à 0,1 ± 0,01	1 ± 0,06 et 4 ± 0,2						0,01 et 0,05	0,2 ± 0,003 et 0,3 ± 0,01	De Lima <i>et al.</i> , 2021
Liban (µg.g ⁻¹)												0.300-121.120		Al Ghoul <i>et al.</i> , 2020
Pologne (mg.kg ⁻¹)	0,0369–0,0784		0,0088–0,0754	0,543–0,719				0,137–0,205		0,032–0,079	0,014–0,296		0,709–0,963	Kowalska <i>et al.</i> , 2020
Philippines (µg.g ⁻¹)	0,07													Pacoma <i>et Yap-Dejeto</i> , 2019
Iran (mg.kg ⁻¹)			0.00-0.27					0.02-1.40			0.02-5.50	4.05-36.22		Hosseini <i>et al.</i> , 2015
Ghana (µg.g ⁻¹)	<0,01 à 0,20		<0,01 à 0,45								0,01 à 1,44			Okyere <i>et al.</i> , 2015
Maroc (µg.g ⁻¹)	0,0378–0,5243		0,0032–0,0834								0,0043–0,0856			Chahid <i>et al.</i> , 2015
Espagne (mg.kg ⁻¹)	0,276–0,558													González-Estecha <i>et al.</i> , 2013
Jordanie (mg.kg ⁻¹)	0,06–0,57		< 0,01–0,63							0,03–2,85	0,004–0,24		0,11–1,56	Ababneh <i>et Momani</i> , 2012
Canada (mg.kg ⁻¹)			0,020–0,025								0,011–0,089			Mahalakshmi <i>et al.</i> , 2012
Turquie (mg.kg ⁻¹)			0,01–0,02								0,09–0,45	8,20–12,4		Mol, 2011
Arabie Saoudite (µg.g ⁻¹)	0,18–0,86		0,08–0,66	0,10–0,571	0,02–0,33					0,09–0,48	0,14–0,82			Ashraf, 2006
USA (États-Unis d'Amérique) (mg.kg ⁻¹)	0,02–0,74		0,0–0,05	0,0–0,30	0,01–5,33	0,01–88,4		0,01–2,55		0,0–0,78	0,0–0,03	0,14–97,8	0,0–1,72	Ikem <i>et Egiebor</i> , 2005

Concernant nos analyses de mercure dans les conserves de Thon commercialiser en Algérie ne présentent pas des niveaux supérieurs et les concentrations sont inférieures aux limites autorisées, Conformément au règlement (UE) 1881/2006, et à l'arrêté interministériel du 05 janvier 2011, le niveau maximal autorisé de teneur en mercure dans le Thon est de 0,5 à 1,0 mg.kg⁻¹ (**Union Européenne, 2006 ; JORA, 2011**).

La valeur maximale de Hg déterminé dans notre étude est de 0,0991 mg.kg⁻¹, était faible par rapport à la teneur maximal de Hg 0,790 mg.kg⁻¹ signalé en Iran par **Sadighara *et al* en 2022**, en Maroc 0,5243 µg.g⁻¹ (**Chahid *et al.*, 2015**), en Espagne 0,558 mg.kg⁻¹ (**González-Estecha *et al.*, 2013**), en Jordanie 0,57 mg.kg⁻¹ (**Ababneh et Momani, 2012**), en Arabie Saoudite 0,86 µg. g⁻¹ (**Ashraf, 2006**), aux États-Unis 0,74 mg.kg⁻¹ (**Ikem et Egiebor, 2005**), à Ghana 0,20 µg.g⁻¹ (**Okyere *et al.*, 2015**), en Iran par **Sobhanardakani (2017)** avec 0,13 µg.g⁻¹, en Tenerife (Espagne) par **Castellano-Baquero *et al* (2025)** avec 0,858 mg.kg⁻¹, et en Galice (nord-ouest de l'Espagne) par **García *et al* (2016)** avec 0,715 mg kg⁻¹.

Des résultats similaires trouvé en Pologne par **Kowalska *et al.*, en 2020** avec une valeur de mercure 0,0784 mg.kg⁻¹, en Philippines avec 0,07 µg. g⁻¹ (**Pacoma et Yap-Dejeto, 2019**), et en Brazil 0,071 µg. g⁻¹ (**Alva *et al.*, 2020**).

Le mercure a une forte tendance à la bioconcentration dans la chaîne alimentaire, en tant que cation méthyl mercurique (CH₃-Hg⁺), en moindre concentration dans une eau peu active (lacs, baies fermées...), il peut aisément être stocké par les bactéries qui se trouvent dans les sédiments, le convertissent en une substance soluble dans les graisses. Les bactéries qui alimentent le plancton, qui elles-mêmes sont des proies pour des poissons carnivores tels que les Thons et les requins, génèrent une chaîne alimentaire de bioconcentration notable des niveaux de mercure présents dans l'eau vers les poissons gras carnivores, qui constituent la nutriment humaine (Les niveaux chez les organismes trophiques supérieurs s'accroissent en raison de la bioamplification au sein de la chaîne alimentaire) (**Alva *et al.*, 2020 ; Picot, 2002**).

Cet élément se concentre dans le cerveau, les reins et les cheveux. Il a aussi la capacité de nuire aux systèmes gastro-intestinal et immunitaire. Une concentration excessive de mercure dans le corps provoque des intoxications sévères et des affections chroniques, qui mènent souvent au décès (**Kowalski *et al.*, 2012 ; Gandhi *et al.*, 2017**).

Au Japon et en Irak, les catastrophes liés à des intoxications aiguës et chroniques au MeHg, à haute concentration ont eu d'importantes conséquences sur l'état de santé, en particulier des troubles de développement mental, une paralysie cérébrale, une perte auditive, une cécité et une dysarthrie chez les enfants exposés. Il a été confirmé que l'exposition prénatale au mercure affecte le développement neurologique des enfants, même dans des populations exposées à des niveaux de mercure plus bas (**Grandjean et al., 1997, Davidson et al., 1998, Jedrychowski et al., 2006**).

Des hautes concentrations d'Hg dans les poissons peuvent être liées à sa bioaccumulation. Il est donc possible que les variations des teneurs soit attribuée à l'âge du poisson employé dans les boîtes de conserve (**Silva et al., 2020**).

Le niveau de mercure dans les poissons est associé à leur emplacement dans la chaîne alimentaire. De ce fait, les poissons prédateurs de grande taille et qui vivent longtemps, tels que les espèces de Thon, présentent des niveaux plus élevés (**Castellano-Baquero et al., 2025**).

Plusieurs facteurs peuvent influencer la teneur en Hg dans les produits nutritifs. La zone géographique où le Thon est capturé joue un rôle crucial dans l'évaluation du niveau de pollution au Hg (**Chahid et al., 2015**). Des recherches anciennes ont prouvé que le niveau de Hg dans le poisson en conserve n'était pas influencé par son emballage (**Pawlaczyk et al., 2020**).

Selon **Kowalska et al (2020)**, il est essentiel de contrôler la concentration de cet élément dans différents aliments, notamment les produits de la mer qui constituent l'une des principales sources d'introduction du mercure dans l'organisme.

Dans la présente étude, la concentration de cadmium est un peu élevée dans quelques marques de Thon en conserve avec une teneur maximale de 0,2598 mg.kg⁻¹. Des teneur inférieure à nos résultats ont été apporté en Iran 0,037 mg.kg⁻¹ (**Sadighara et al., 2022**), en Pologne 0,0754 mg.kg⁻¹ (**Kowalska et al., 2020**), au Marok 0,0834 µg/g⁻¹ (**Chahid et al., 2015**), au Canada 0,025 mg.kg⁻¹ (**Mahalakshmi et al., 2012**), en Turquie 0,02 mg/kg⁻¹ (**Mol, 2011**), aux États-Unis d'Amérique 0,05 mg.kg⁻¹ (**Ikem et Egiebor, 2005**), en Iran en 2017 par **Sobhanardakani** 0,10 µg. g⁻¹.

Selon Hosseini *et al* (2015), les teneurs moyennes de cadmium $0,27 \text{ mg.kg}^{-1}$ dans l'ensemble des échantillons de Thon en conserve produites en Iran était supérieures à nos résultats actuels et généralement dépasse les limites admis par l'Union européenne (Union Européenne, 2005).

D'autres valeurs de cadmium supérieures à nos résultats était apportée en Jordanie par Ababneh et Momani (2012) avec $0,63 \text{ mg.kg}^{-1}$, en Arabie Saoudite par Ashraf (2006) avec $0,66 \text{ } \mu\text{g. g}^{-1}$, à Ghana par Okyere *et al* (2015) avec $0,45 \text{ } \mu\text{g. g}^{-1}$, au Nigéria par Iwegbue (2015) $0,83 \text{ } \mu\text{g. g}^{-1}$.

Sobhanardakani a rapporté que le Thon a la capacité d'accumuler une quantité importante de cadmium en se nourrissant d'autres espèces comparativement à d'autres espèces (Sobhanardakani, 2017).

La concentration prédominante de Cd dans les poissons se retrouve au niveau du foie et des reins (Sobhanardakani, 2017), Cela implique que sa concentration dans les muscles serait réduite. Le cadmium est un métal nuisible et empoisonnant pouvant se transférer dans l'organisme par le biais de l'alimentation. Il possède une caractéristique cumulative dans l'organisme et entraîne des lésions significatives au niveau des tubules rénaux, ce qui conduit à une sécrétion augmentée de protéines de faible poids moléculaire, perturbe le métabolisme du calcium et de la vitamine D, et exerce une toxicité nerveuse ainsi qu'une action détruisant sur le système osseux. Le cadmium aggrave les troubles cardiovasculaires et l'hypertension, entraîne des lésions hépatiques, perturbe le fonctionnement des glandes reproductrices et diminue la robustesse de l'organisme. Le cadmium entraîne aussi une entrave à l'assimilation du zinc du cuivre, du manganèse et du fer par le corps (Herrera-Herrera *et al.*, 2019 ; Mohammadi *et al.*, 2021 ; Czebot et Skrzycki, 2010).

Dans cette recherche, les évaluations réalisées ont révélé des concentrations d'arsenic inférieures à la limite de détection $0,053 \text{ mg.kg}^{-1}$. Selon De Lima *et al* (2021), tous les échantillons de Thon en conserve commercialisé pour la consommation humaine au Brésil ont montré la présence d'arsenic avec teneur maximal de $0,03 \text{ mg/130 g}$

D'après Ikem et Egiebor (2005), deux échantillons de Thon en conserve contenant jusqu'à $1,72 \text{ mg.kg}^{-1}$ excédaient la limite permise en Australie d' $1 \text{ } \mu\text{g/g}$ d'arsenic inorganique (sur base de poids humide). L'étude de Kowalska *et al* (2020) a montré des valeurs d'arsenic

de $0,963 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ qui ne dépassaient pas les niveaux maximaux admissibles d'arsenic en Pologne dans les poissons par $4,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Szkoda, 2009).

Ababneh et Momani (2012), ont apporté une concentration maximale d'arsenic de $1,56 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dans le Thon en conserve vendu en Jordanie. Andayesh *et al* (2015) ont notifié une concentration de $1,452 \text{ mg/kg}$ dans le Thon en boîte issu du commerce de Téhéran.

Les algues marines peuvent absorber l'arséniate contenu dans l'eau de mer et de le convertir en arsénite. Les algues libèrent de l'arsénite dans l'eau de mer, qui est une substance nocive pour le phytoplancton marin, les invertébrés et les poissons. Les tissus des poissons et des invertébrés marins contiennent une forte concentration en arsenic. Le principal composé organoarsenic présent dans les fruits de mer n'est pas toxique ni cancérigène pour les mammifères. Ainsi, l'arsenic marin représente un danger négligeable pour les consommateurs de produits marins (Neff, 1997).

L'introduction d'arsenic inorganique dans le corps humain provoque des dysfonctionnements rénaux et hépatiques, des perturbations du système digestif et une réduction de la masse corporelle, susceptible d'engendrer des processus néoplasiques (Kowalska *et al.*, 2020).

Par ailleurs, l'exposition à l'arsenic est liée aux cancers du foie, des poumons, de la prostate et de la vessie (Hong *et al.*, 2014).

L'arsenic a été classé par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) comme cancérigène pour l'homme et est également susceptible d'entraîner des pathologies neuro-cardiovasculaires, des troubles anémiques, une thrombocytopénie et une leucopénie, du diabète, ainsi que des effets cytotoxiques et génotoxiques (Shankar *et al.*, 2014).

Du fait de l'absence de garanties légales et de régulations au sein de l'UE et le Journal officiel de la république Algérienne, concernant la limitation du taux d'arsenic dans les aliments, il est délicat de discuter les résultats (Union Européenne, 2006 ; JORA, 2011).

Les apports journaliers garanties, fixés par l'UL (Underwriters Laboratories) pour les hommes, les femmes, les femmes en état de grossesse et les enfants, n'ont pas encore été définis. (FAO et WHO, 2011).

Les concentrations de plomb indiquées dans cette étude sont inférieures à la limite de détection $0,040 \text{ mg/kg}^{-1}$, et inférieures aux seuils limites réglementaires nationaux de plomb dans le Thon, qui de $0,3 \text{ mg/kg}^{-1}$ (arrêté interministériel du 05 janvier 2011) (**JORA, 2011**).

Des teneurs de plomb élevées ont été rapportées en Iran $0,71 \text{ mg.kg}^{-1}$ (**Sadighara et al., 2022**), en Pologne $0,296 \text{ mg.kg}^{-1}$ (**Kowalska et al., 2020**) en Iran 5.50 mg.kg^{-1} (**Hosseini et al., 2015**), à Ghana $1,44 \text{ } \mu\text{g. g}^{-1}$ (**Okyere et al., 2015**). Au Maroc $0,0856 \text{ } \mu\text{g. g}^{-1}$ (**Chahid et al., 2015**), en Jordanie $0,24 \text{ mg.kg}^{-1}$ (**Ababneh et Momani, 2012**), au Canada $0,089 \text{ mg.kg}^{-1}$ (**Mahalakshmi et al., 2012**), en Turquie $0,45 \text{ mg.kg}^{-1}$ (**Mol, 2011**), en Arabie Saoudite $0,82 \text{ } \mu\text{g. g}^{-1}$ (**Ashraf, 2006**), en Iran par Sobhanardakani (2017) avec $0,75 \text{ } \mu\text{g. g}^{-1}$, au Nigéria $2,56 \text{ } \mu\text{g. g}^{-1}$ (**Iwegbue, 2015**).

Selon (**Sobhanardakani et al., 2017**), le plomb détruit les globules rouges, affaiblit les os, diminue la résistance, freine l'absorption de l'iode, indispensable au bon fonctionnement de la thyroïde, crée des dépôts toxiques dans le corps, causant de nombreux problèmes et maladies, induit une diminution de l'appétit, engendre des coliques et des crampes musculaires, nuit aux reins, entraîne une paralysie, augmente la pression artérielle, altère le métabolisme des éléments cruciaux notamment le fer, le zinc, le sélénium et le cuivre.

Le plomb nuit à la moelle osseuse et perturbe les fonctions du cerveau en entravant la libération de neurotransmetteurs et la création de synapses. Cela pourrait aussi causer des problèmes d'apprentissage et une dégradation de la qualité de l'intelligence (**Hosseini et al., 2015**).

Le Thon a la capacité d'accumuler des concentrations importantes de Pb (**Sadighara et al., 2022**). Les processus de stockage et de fabrication des produits alimentaires comme la conserve sont à l'origine de la présence de plomb. Des récipients, émaillés de plomb ou en alliage plomb-étain (faux étains), pourraient libérer du plomb lorsqu'ils entrent en contact avec des aliments (**Danel, 1997**). L'usage de soudure pour la production des boîtes de conserve est une cause identifiée de la contamination alimentaire par le plomb lors du processus de mise en conserve (**Arisekar et al., 2024**).

Concernant le chrome, notre étude a montré des teneurs maximales un peu élevées de $2,125 \text{ mg.kg}^{-1}$. Nos teneurs de chrome étaient plus au moins supérieures aux résultats de

littérature rapporté par **Fathabad (2015)** en Tehran avec teneur de 0,90–1,87 mg·kg⁻¹ et par **Gu et al (2014)** en Chine avec teneur de 0,08–1,28 mg·kg⁻¹, par **Tuzen et Soylak (2007)** en Turquie avec une concentration de 1,08 mg·kg⁻¹.

Des valeurs de chrome beaucoup plus inférieures à notre recherche était indiqué par **Kowalska et al (2020)** avec concentration de 0,719 mg·kg⁻¹, par **Ashraf (2006)** avec concentration de 0,571 µg. g⁻¹, par **Ikem et Egiebor (2005)** avec concentration de 0,30 mg·kg⁻¹. par **Rodriguez-Mendivil et al (2019)** avec concentration de 0,65 mg·kg⁻¹.

Des valeurs supérieures à nos résultats signalés par **Iwegbue (2015)** au Nigéria avec une plage de 0,66 à 14,39 µg. g⁻¹. Bien que le chrome soit un élément essentiel nécessaire pour l'alimentation humaine, à l'état d'oxydation supérieure présente un grand danger tératogène et mutagène pour la santé humaine (**Orłowski et al., 2006**). Les niveaux limites établis par l'Apport Nutritionnel de référence (ANREF) ne sont pas définis pour le chrome (**Oria et al., 2019**). La conservation et le stockage des aliments dans des boîtes métalliques peuvent augmenter la concentration de cet élément (**Minczewski et al., 2001**).

La concentration de Mn observées dans notre travail (1,2928 mg.kg⁻¹) était plus faible que le niveau observé par **Fathabad (2015)** avec valeurs 2,70 mg·kg⁻¹, par **Bouffleur et al (2013)** avec 1.42 mg·kg⁻¹, par **Hosseini et al (2015)** avec 1.40 mg·kg⁻¹, par **Ikem et Egiebor, (2005)** avec 2,55 mg·kg⁻¹ et par **Iwegbue (2015)** avec 2,33 µg/g.

Des valeurs de manganèse inférieure à nos teneurs ont été montrées par **Kowalska et al (2020)** avec 0,205 mg·kg⁻¹, par **Tuzen et Soylak (2007)** avec 0,90 mg·kg⁻¹, par **Al-Rajhi (2014)** avec 0,0029 mg·kg⁻¹ et par **Boadi et Twumasi (2011)** avec 0,057 mg·kg⁻¹.

Le manganèse joue un rôle crucial dans le métabolisme du corps. Il contribue aux transformations des hydrocarbures et des lipides, et stimule l'activité de certaines enzymes, notamment celles qui facilitent l'assimilation de diverses vitamines durant le processus métabolique. Il est également essentiel pour maintenir une structure osseuse adéquate et joue un rôle crucial dans la production de thyroxine. Il est indispensable d'apporter quotidiennement de petites doses de manganèse pour favoriser la croissance et la santé des enfants, tout en veillant à ne pas dépasser 3,0 à 9,0 mg. Toutefois, à des doses élevées, cela peut entraîner des hallucinations, des troubles de la mémoire et des dommages nerveux

(Minczewski *et al.*, 2001 ; Pacha, 2009 ; Agence des substances toxiques et du registre des maladies, 2004).

Dans notre recherche, les concentrations de manganèse trouvées dans le Thon en boîte étaient inférieures aux limites recommandées par l'Apport Nutritionnel de Référence (ANREF) : 2mg/jour pour les enfants, 6 à 11mg/jour pour les hommes et femmes adultes, et entre 9 et 11mg/jour pour les femmes enceintes ou qui allaitent (Oria *et al.*, 2019).

Les concentrations de Zinc dans la présente étude ($35,9042 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) étaient généralement en accord avec la littérature, où les concentrations de Zn indiqué dans nos résultats été proche des teneurs rapportés pour le Thon en conserve en Iran avec concentration de $36.22 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Hosseini *et al.*, 2015), et en Turquie avec $34,4 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Tuzen et Soylak, 2007).

Les teneurs inférieure de Zn à celles que nous avons obtenue dans les conserves de Thon étaient les suivantes : pour le Brazil $0,05 \text{ mg}/130 \text{ g}$ par De Lima *et al* (2021) et $4,72 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ par (Bouffleur *et al* (2013), pour le Turquie $12,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Mol, 2011), pour Iran $12,61 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Sobhanardakani, 2017), et pour Nigéria $5,35 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Iwegbue, 2015).

Et les teneurs supérieures de Zn été enregistré aux États-Unis d'Amérique avec valeur de $97,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Ikem et Egiebor, 2005), et en Liban $121.120 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Al Ghouli *et al.*, 2020).

D'après Roney (2005) et Plum *et al* (2010), Le zinc est impliqué dans une multitude de processus biochimiques chez l'être humain et l'animal, il a un impact important sur l'homéostasie et la réponse immunitaire. Toutefois, une exposition excessive au zinc est associée à des effets toxiques.

Le zinc, un composant principal employé pour empêcher la rouille du fer et de l'acier, peut se déplacer vers les aliments (Popovic *et al.*, 2018 ; Nouredine *et al.*, 2019). D'après la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) et l'OMS (Organisation mondiale de la santé), le seuil permis de zinc est fixé à 50 mg/kg de poids corporel par jour (FAO/WHO, 2017).

Selon les valeurs établies par UL (Underwriters Laboratories), l'apport quotidien recommandé en zinc est de 40 mg pour les hommes/femmes et femmes enceintes, tandis que pour les enfants, il est de 5 mg par jour (FAO/WHO, 2004).

Dans notre recherche, la valeur indiquée est en dessous du niveau de zinc permis par l'UL (Underwriters Laboratories), ce qui signifie qu'elle est sans risque pour la consommation humaine.

Le Ni analysé dans notre étude était inférieures à la limite de détection $<0,015 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Selon d'autre recherche de la littérature, des valeurs de Ni supérieurs à nos résultats ont été indiqué par **Kowalska et al en (2020)** avec $0,079 \text{ mg.kg}^{-1}$, par **Ababneh et Momani (2012)** avec $2,85 \text{ mg.kg}^{-1}$, par **Ashraf (2006)** avec $0,48 \text{ } \mu\text{g. g}^{-1}$, par **Ikem et Egiebor (2005)** avec $0,78 \text{ mg.kg}^{-1}$, par **Al-Rajhi (2014)** avec $0,0018 \text{ mg.kg}^{-1}$, par **Fathabad (2015)**, $1,04 \text{ mg.kg}^{-1}$, par **Bouffleur et al (2013)** 0.91 mg.kg^{-1} , et par $34,2 \text{ } \mu\text{g. g}^{-1}$ au Nigéria (**Iwegbue, 2015**).

L'absence de nickel empêche la croissance et entraîne une diminution du niveau d'hémoglobine dans le sang, ainsi que des altérations de l'épiderme et des problèmes de pigmentation. Un manque de cet élément affecte la fonction hépatique, tandis qu'une ingestion excessive de nickel peut diminuer les concentrations d'autres éléments dans le corps, comme le manganèse, le magnésium, et le zinc (**Wolak et al., 1995 ; Terelak, 2000**).

Dans cette recherche, le niveau maximal de calcium du Thon en conserve établi à $298,80 \text{ mg.kg}^{-1}$, était supérieur à celui cité par **De Lima et al (2021)** qui mentionnait $9,2 \text{ mg/130g}$, et aussi à la concentration du Thon en conserver brésilien estimée à environ 20 mg/kg^{-1} (**Bouffleur et al., 2013**).

Une teneur de Ca supérieure à nos résultats été montré par **Daraei et al (2021)** avec $448,47 \text{ mg.kg}^{-1}$. Les niveaux de calcium mesurés dans nos échantillons de Thon en conserve étaient inférieurs de l'apport tolérable provisoire (ATP) quotidien (1000 ppm) établi par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Agence de protection de l'environnement (EPA). De plus, ils demeuraient également sous la limite autorisée fixée par UL (Underwriters Laboratories) à 2500 mg/jour (**Oria et al., 2019 ; Daraei et al., 2021**). De ce fait, les niveaux de calcium identifiés dans cette étude ne posent aucun danger pour la consommation de Thon en conserve disponible à l'échelle nationale.

Le Thon est un aliment riche en calcium, peut contribuer à satisfaire les besoins quotidiens de l'homme lorsqu'il est combiné avec d'autres types d'aliments (**Uusi-Rasi et al., 2013**). Le calcium est un minéral crucial, et une ingestion suffisante est associée à un faible

danger de problèmes d'hypertension, de diminution de la tension artérielle, de réduction du niveau de cholestérol, d'atténuation de l'ostéoporose. En revanche, il est lié à la création de calculs aux reins et à des infarctus du myocarde chez les individus âgés lorsqu'il est présent en forte concentration (**Cormick et Belizán, 2019**).

Nos résultats de Fe était $55,94 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dans les conserves de Thon.

Des niveaux de Fe inférieurs à nos analyses étaient signalé par **De Lima et al (2021)** avec $4 \text{ mg}/130 \text{ g}$, ainsi que par **Bouffleur et al (2013)** avec $15,08 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Cependant **Ikem et Egiebor (2005)** ont montré des niveaux supérieurs avec $88,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.et **Iwegbue (2015)** avec $95,78 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

D'après **De Lima et al (2021)** et (**Al Ghoul et al (2020)**), la détection de fer dans les conserves de Thon peut être due à la migration de cet élément depuis l'emballage de la boîte vers le poisson, De plus, leur concentration élevée dans les échantillons de Thon en conserve est capable d'engendrer des effets négatifs sur la santé.

Selon les recommandations de L'UL (Underwriters Laboratories) la quantité de fer conseillée pour les hommes, les femmes et les femmes enceintes est de $45 \text{ mg}/\text{jour}$ de fer, alors qu'elle est de $40 \text{ mg}/\text{jour}$ pour enfants, en outre, la FAO/OMS a fixé la limite d'apport quotidien acceptable à $56 \text{ mg}/\text{jour}$ pour un adulte pesant 70 kg . (**FAO/WHO, 2000**). Par rapport à notre étude, toutes les concentrations de fer mesurées dans les conserves de Thon étaient inférieures des seuils établis par l'UL et la FAO/OMS, et ne posent aucun risque toxique.

Le niveau approprié de fer est lié avec la respiration maximale d'oxygène et à la performance physique, au transfert d'électrons, à la production d'hémoglobine, à la défense immunitaire, à la lutte contre l'anémie, au développement durant la grossesse, à la synthèse de l'acide désoxyribonucléique, à la régulation de la santé du microbiote intestinal, au croissance neurologique (**Abbaspour et al., 2014 ; Pasricha et al., 2014**).

Le Cu dans notre étude été inférieures à la limite de détection $< 0,009 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Des teneurs de Cu supérieures été rapporté par **De Lima et al (2021)** avec $0,1 \text{ mg}/130 \text{ g}$, par **Ashraf (2006)** $0,33 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, par **Ikem et Egiebor (2005)** avec $5,33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, par **Bouffleur et al (2013)** avec $0,96 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, et par **Iwegbue (2015)** avec $1,31 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Une ingestion convenable de cuivre contribue aux avantages pour la santé, liés à un bon fonctionnement du système cardiovasculaire, une diminution du taux de sucre dans le sang, du cholestérol et des niveaux de lipides (**Gonoodi et al., 2018**). N'a aucun lien avec l'arthrite ou le cancer (**Bost et al., 2016**). Malgré l'importance cruciale du cuivre, la FAO/OMS ont établi une limite d'apport quotidien tolérable de 0,5 mg/kg/jour, ce qui correspond à 35 mg par jour pour un adulte pesant 70 kg (**Gonoodi et al., 2018**). Une consommation élevée de cuivre est liée à une défaillance mitochondriale (**Mehta et al., 2006**). À des dommages au foie et à la maladie d'Alzheimer (**Brewer, 2015**). Les troubles génétiques affectant le métabolisme du cuivre peuvent entraîner une carence en cuivre (syndrome de Menkes) ou une toxicité (maladie de Wilson) (**De Romaña et al., 2011**).

La teneur en Mo obtenue dans ce travail $3,953 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ est un peu plus élevé aux données rapportées pour le Thon en conserve Brésilien qui été inférieures à la limite de détection (**Bouffleur et al., 2013**). Les concentrations de Mg dans la présente étude étaient $379,17 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, généralement supérieur à celles signalées par **Bouffleur et al (2013)** avec teneur de $156 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Les teneurs que nous avons déterminées pour le Mo étaient légèrement au-dessus des valeurs recommandées par l'Apport Nutritionnel de Référence (ANREF). Le seuil tolérable pour le Molybdène est de $2 \text{ }\mu\text{g/j}$, tandis que celui du Magnésium il n'est déterminable que pour l'apport issus d'une substance pharmacologique (fixé à 350mg/j) (**Oria et al., 2019**).

Le molybdène joue un rôle crucial en tant que cofacteur essentiel pour de nombreuses enzymes, bien que sa toxicité potentielle chez l'homme ne soit pas encore clairement établie (**Novotny, 2011**).

Le Magnésium est indispensable à diverses fonctions physiologiques vitales, comme le bon fonctionnement cardiaque, le tonus vasculaire, la fonction nerveuse ainsi que la contraction et la relaxation musculaires. De plus, il est essentiel pour la bonne forme osseuse. À des concentrations accrues, le magnésium peut provoquer une dégradation neuromusculaire, une chute du rythme cardiovasculaire et des épisodes de respiration irrégulière (**Jahnen-Dechent et Ketteler, 2012**).

Généralement, la concentration d'éléments chimiques dans les poissons en conserve peut être liée à une plus forte présence de ces métaux et métalloïdes dans diverses sources hydriques telles que lacs, ruisseaux, rivières, mers et océans, en grande partie due aux actions

humaines (Palma-Lara *et al.*, 2020 ; Srivastava *et al.*, 2017). De ce fait, la présence de métaux dans le poisson est associée à la contamination environnementale, étant donné que le poisson a tendance à concentrer les polluants présents dans son environnement (Eriksson, 2002).

Diverses recherches ont démontré la contamination des mers et des produits marins par les métaux lourds dans de nombreuses zones du monde. L'ingestion de fruits de mer contaminés peut entraîner des complications majeures de santé chez les individus. Avec l'augmentation de la consommation de produits marins, particulièrement le poisson et le Thon en boîte, il est essentiel de prévenir la pollution et d'assurer une bonne qualité des produits marins (Daraei *et al.*, 2021).

6.4.2. Effet des variables sur les teneurs des éléments trace métalliques dans les échantillons de Thon en conserve

À travers notre recherche, nous avons remarqué que le Thon en conserve à la tomate contenait des niveaux de Ca, Mn et Fe plus élevés par rapport au Thon en conserve à l'huile. De plus, la teneur moyenne en Zn était supérieure dans le Thon en conserve à l'huile comparé au Thon en conserve à la tomate. En ce qui concerne les variations dans les conserves de Thon selon la structure, nous avons observé que la concentration moyenne de Cd dans les conserves de Thon type miettes dépasse celle trouvée dans les conserves de Thon entier.

La teneur moyenne en Mg dans le Thon en conserves entier est plus élevée comparée à celle de conserve du Thon en miettes. Au cours de notre étude, nous avons constaté que la teneur moyenne en Cd, Cr, Fe, Mn et Mo dans les marques de conserves de Thon produites dans la région ouest dépasse celle mesurée dans les marques de Thon en boîte fabriquées dans les de centre et de l'est.

La teneur moyenne de zinc est supérieure dans les marques de conserves de Thon produites dans la région de centre, ensuite suivie par la concentration moyenne de la région de l'est, et enfin celle de la région de l'ouest.

La concentration moyenne plus élevée en Fe des marques fabriqué dans la région de l'ouest peut être expliqué par l'utilisation des canettes riches en fer. En revanche la valeur élevée de zinc dans les marques de conserves de Thon produites dans la région de centre peut être due aux revêtements internes de la boîte.

Uniquement quelques recherches ont mentionné des données qui montrent des variations dans certains niveaux d'éléments traces, lorsqu'on établit une comparaison entre les poissons conservés à l'huile et ceux conservés dans la tomate.

Selon **De Lima *et al* (2021)**. Le type de structure et le solvant étaient les facteurs prédominants (95,79%, $p < 0,0001$) responsables des variations de calcium dans les échantillons, avec une concentration élevée en calcium observée uniquement dans les échantillons solides. Ainsi ensuite le solvant et la structure qui ont principalement influencé la variation du cuivre dans les échantillons, représentant 61,4 % ($p < 0,0001$), suivis par l'interaction avec les marques (28,74 %, $p = 0,0001$) ; on a observé des niveaux de cuivre plus élevés dans les échantillons râpés et ceux immergés dans l'huile. La marque était à l'origine de 3,88 % des variations ($p = 0,04$). Les variations de fer étaient attribuées à la structure et au solvant (81,94 % ; $p < 0,0001$), à la marque (8,045 % ; $p < 0,0001$) et à l'interaction entre ces facteurs (7,525 %, $p = 0,018$). Les quantités de zinc ont varié en fonction de la structure et du solvant (52,04%, $p < 0,0001$), puis par l'interaction entre ces facteurs (33,70%, $p < 0,0001$). L'interaction entre les facteurs (33,70%, $p < 0,0001$) et la marque (13,43%, $p < 0,0001$).

Dans une autre recherche menée par **Al Ghoul *et al* (2020)** au Liban, concernant l'impact du milieu de couverture sur la présence de métaux lourds (Zn) dans les échantillons de Thon en conserve, il a été démontré qu'il n'existe pas de différence significative, entre l'eau, l'huile et l'huile mélangée avec le piment (valeur $P1 \frac{1}{4} 0,880$). L'influence de la marque sur la concentration de métaux lourds (Zn) dans diverses marques achetées dans des établissements commerciaux à Beyrouth, au Liban, a révélé que les niveaux de Zn variaient avec des moyennes entre 2,98 et 11,586 $\mu\text{g/g}$. Leur recherche a donc montré une inégalité notable entre les marques A, B, C, D et E avec une valeur $P1 < 0,001$. Toutefois, les valeurs moyennes de Zn pour la proximité des dates de production/d'expiration varient entre 4,423 $\mu\text{g/g}$ et 10,446 $\mu\text{g/g}$, ils ont noté une différence notable entre la proximité de la date de production pour les catégories 0–6, 6–12 et 18–24 (valeur $P1 \frac{1}{4} 0,026$). À travers leur étude, ils ont préconisé de consommer du Thon durant les six premiers mois suivant sa date de fabrication.

D'après **Bouffleur *et al* (2013)**, la concentration de la plupart des éléments (Mg, Zn, Ca, Mn, Ni, Cu) était supérieure dans le Thon conservé à l'huile par rapport à celui conservé en saumure. L'analyse statistique a révélé des différences significatives ($P < 0,05$) pour tous ces éléments. L'unique exception concerne le Fer où son niveau était plus bas dans le Thon

conservé dans l'huile, Et d'ailleurs notre résultat pour Fe était plus faible dans conserve à huile et pour le Zn élevé dans le Thon à l'huile, alors nos résultats concordent bien avec ceux de Bouffleur et ses collaborateurs.

Bouffleur *et al* (2013) ont aussi remarqué une variation notable dans les niveaux de Mg et Zn entre trois marques de Thon en conserve (valeur $p < 0,05$). D'après, lui, cette variation peut être due à plusieurs facteurs tels que les espèces et le nombre d'espèces de poissons utilisées par le fabricant, les étapes de transformation, le type de boîtes de conserve et les conditions de d'entreposage. En outre, une tendance à l'augmentation de la concentration en Fe a été notée en relation avec la durée du stockage. L'analyse de ce résultat indique une légère montée de cet élément pour les marques qui employaient des emballages riches en fer. De ce fait, ce résultat suggère une interaction potentielle entre la boîte en métal et son contenu lors d'une longue durée de stockage.

D'après une recherche menée par **Tarley *et al* (2001)**, les sardines en boîte dans la sauce tomate contiennent un niveau de fer supérieur comparativement à celles conservées dans l'huile de soja.

Pawlaczyk *et al* (2020). Ont rapporté que la quantité de Hg ne dépend pas du contenu des canettes. Ainsi, il n'existe pas de différence significative, entre la teneur en Hg du Thon en conserve dans l'huile et celui en conserve dans l'eau. En outre, la marque n'aura pas d'impact sur la quantité d'Hg. Autrement, la recherche de **Dantas *et al* (2008)** concernant les concentrations en Cr et Fe du Thon en conserve selon la durée de conservation a révélé une progression notable de ces éléments.

Terbeche *et al* (2022). Ont remarqué une hausse notable de Al, Fe ; Pb, Cr, Ni, Sn dans les miettes de Thon à la sauce tomate pendant le stockage et le vieillissement artificiel (55°C, 47 jours). Ils nous ont expliqué que la contamination et la lixiviation des éléments traces métalliques étaient associées aux modes et à la température de cuisson, et à la durée de conservation qui peut provoquer une contamination significative des aliments en boîte par la dissolution du contenant. En outre, le vieillissement et l'acidité peuvent provoquer une élévation moyenne de 15 % des divers éléments traces métalliques. Ils ont suggéré donc que l'utilisation de matériaux d'emballage composites nanopolymères dans les produits industriels, alimentaires et agricoles représente une alternative meilleure aux matériaux d'emballage classiques comme le verre, le papier et les métaux.

Les boîtes de conserve en métal peuvent avoir des soudures qui risquent de contaminer les aliments qu'elles contiennent **(Viala et Botta, 2007)**.

L'emploi de couches internes peut limiter la migration des métaux tels que le cadmium l'aluminium, le fer et le plomb vers les denrées alimentaires **(Simal-Gándara, 1999)**. La sélection appropriée du matériau d'emballage doit prendre en considération les éléments du produit fini et toutes leurs interactions potentielles, ainsi que l'effet qui en provient sur la qualité et la sûreté des aliments. Lors de la sélection d'un emballage alimentaire, il est impératif de se conformer aux lois et réglementations actuelles qui peuvent nécessiter une évaluation de la migration globale et spécifique pour garantir la sûreté du matériau d'emballage **(Terbeche et al., 2022)**.

7. Chapitre 4 : Santé humaine et prévention des risques alimentaires (évaluation du risque)

7.1. Introduction

Bien que les niveaux de métaux lourds examinés dans les échantillons de poissons testés n'aient pas excédé les seuils autorisés par la législation Algérienne et internationale. Il est crucial d'effectuer une analyse du risque chimique associé à ces polluants, car l'apparition d'un risque ne se base pas uniquement sur les niveaux de métaux lourds dans les poissons, mais également sur la quantité de poissons ingérée par individu, le poids du consommateur, la fréquence et la durée de consommation, ainsi que la dose orale de référence (**Javed et Usmani, 2016**). De nombreuses recherches médicales ont démontré que la présence d'éléments traces métalliques, surtout le cadmium, le plomb et le mercure, provoque divers effets néfastes sur la santé humaine. Les éléments métalliques peuvent intégrer le corps humain via diverses routes : voie orale (ingestion), qui est la plus courante pour les substances toxiques (aliments et eaux pollués) ; voie pulmonaire (inhalation), qui représente le principal mode d'exposition pour les recycleurs ; et voie cutanée (absorption). L'objectif de ce chapitre est de déterminer dans quelles mesures et pour quelles quantités la consommation des conserves de Thon entraîne un risque pour le consommateur Algériens. Dans un premier temps, nous modélisons le risque associé à la consommation de produits marins contenant des ETM. Ensuite, nous déduisons une dose quotidienne (DJE) ou hebdomadaire (DHE) d'exposition aux ETM, en nous basant sur les concentrations de ces métaux et la quantité de poissons consommée. Parallèlement, nous avons estimé un quotient de danger (THQ) des ETM. Finalement, en comparant les DJE ou DHE et le THQ avec des normes internationales, nous mettons en évidence le risque pour la santé des consommateurs.

7.2. Évaluation du risque sanitaire des éléments métalliques

L'évaluation du risque sanitaire fait partie de l'analyse d'impact. Il s'agit d'une méthode fondée sur l'appréciation de la toxicité et de l'exposition, qui contribue à la description, à l'évaluation et à la prévention de problématiques de santé complexes. Elle sert à évaluer les impacts sur la santé qui pourrait être affectée par l'exposition à des produits chimiques cancérigènes (à effets sans seuil) et non cancérigènes (à effets avec seuil). La démarche d'évaluation du risque pour la santé humaine comporte quatre étapes fondamentales : l'identification des dangers, l'évaluation de la toxicité (dose-réponse), l'estimation des expositions, et la caractérisation des risques.

7.3. Identification des dangers

Principalement qualitative, l'identification des dangers vise à inventorier les substances chimiques potentiellement toxiques, et à définir leurs concentrations. Il s'agit d'une phase qui souligne les impacts à long terme, notamment sur le plan environnemental. C'est la multiplication des doses qui dérègle les organismes plutôt qu'une forte dose aiguë (**Bourrelrier et Berthelin, 1998**).

7.4. Évaluation de la toxicité

Son objectif est de repérer les composantes dans la matrice analysée et de caractériser le type de lien entre l'exposition à la substance chimique et un impact. Les indices de référence toxicologiques (VTR) désignent les mesures qui caractérisent la relation entre l'exposition humaine à une substance toxique et apparition ou gravité d'un effet nuisible observé (**Sabine et al., 2006**). En ce qui concerne les expositions par inhalation à des substances avec limites, des doses de référence (RfDs) ou doses journalières autorisées ou tolérables (DJA ou DJT exprimées en mg/kg/j) ont été déterminées comme étant VTR.

7.5. Estimation des expositions

Elle offre la possibilité de repérer l'environnement ou les environnements pollués par les substances chimiques, les groupes exposés (catégorie, volume, poids) et d'évaluer l'ampleur (concentration dans le milieu), la fréquence et la durée des expositions (durée de contact avec le produit en jours et en années). Dans cette étude, l'évaluation de l'exposition a été effectuée en calculant la dose quotidienne d'exposition (DJE en mg/kg/j) des métaux présents dans les aliments ingérés par les adultes de la région étudiée.

7.6. Évaluation du risque sanitaire

Lors d'une ingestion régulière de produits alimentaires, les polluants métalliques peuvent engendrer des conséquences sanitaires pour l'homme, à ce titre, l'US-EPA (United States Environmental Protection Agency) a développé une démarche méthodologique pour évaluer le risque sanitaire par ingestion dans le cadre d'une l'étude d'impact. En l'absence de modèle d'évaluation du risque cancérigène et non cancérigène pour la santé humaine en Algérie, nous nous sommes inspirés du modèle soulevé par l'Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis (USEPA). Il est basé sur le calcul des paramètres suivants :

l'estimation de la dose journalière d'exposition (DJE), le quotient de danger (THQ) et l'indice de danger (HI) (Zhelyazkov *et al.*, 2018).

7.7. Caractérisation des risques

C'est l'étape ultime de la démarche de l'évaluation des risques sanitaires. Elle permet de synthétiser en intégrant toutes les données recueillies au cours des trois premières étapes afin d'arriver à des estimations quantitatives des indices de risque et de danger. Elle exprime le ou les risques cancérigènes ou non cancérigènes, attendus sur une population en fonction des expositions.

« C'est l'estimation de l'incidence et de la gravité des effets indésirables susceptibles de se produire dans une population humaine ou une composante de l'environnement en raison de l'exposition, réelle ou prévisible, à une substance ; la caractérisation peut comprendre « l'estimation du risque », c'est-à-dire la quantification de cette probabilité » (Bastami *et al.*, 2014).

Modèle 1 : Estimation de la dose Journalière d'exposition

Afin de déterminer le risque pour la santé humaine à long terme via l'exposition aux métaux lourds (As, Cd, Pb et Hg.....) en consommant la conserve de Thon en Algérie, la dose journalière d'exposition (DJE) ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$) de la population Algérienne a été évaluée comme suit :

$$EDI = \frac{(C \times IR \times ED \times EF)}{(BW \times AT)}$$

C correspond à la concentration de contaminant dans les produits ($\mu\text{g.g}^{-1}$)

IR est le taux d'ingestion de Thon en conserve (kg/personne/jour). (Une boîte par semaine pesant 70 g) ; 60 g

EF est la fréquence d'exposition (365 jours/an) pour les adultes jusqu'à 70 ans ;

BW est le poids corporel (pour les adultes : 70 kg) ;

AT est la durée de vie moyenne (10 950 jours).

DE correspond à la durée d'exposition (30 ans pour les adultes)

Modèle 2 : Détermination du Quotient de danger (THQ) (Caractérisation du risque)

Ce deuxième modèle fournit une grandeur nommée le quotient de danger (THQ). Le quotient de danger (THQ) permet l'évaluation du potentiel des risques non cancérogènes associés à une exposition à long terme aux contaminants (ici les métaux lourds provenant des poissons). Il représente le rapport entre l'apport quotidien chronique des métaux (DJE) en ($\mu\text{g} / \text{kg}/\text{jour}$) et la dose de référence orale (RfD) exprimée également en ($\text{mg}/\text{kg}/ \text{jour}$) (**Al-Mahaqeri et Ahmad, 2015**). Le THQ indique le niveau de risque associé à l'exposition aux polluants. Il est calculé selon l'équation suivante.

$$THQ = \frac{(EF \times ED \times C)}{(RFD \times BW \times AT)}$$

C correspond à la concentration de contaminant dans les produits ($\mu\text{g. g}^{-1}$)

EF est la fréquence d'exposition (365 jours/an) pour les adultes jusqu'à 70 ans ;

BW est le poids corporel (pour les adultes : 70 kg) ;

AT est la durée de vie moyenne (10 950 jours).

DE correspond à la durée d'exposition (30 ans pour les adultes)

RfD est la dose de référence orale

Le tableau 12 ci-dessous montre les doses orales de référence pour les métaux étudiés fixées par l'Agence de protection de l'environnement des Etats Unis (US EPA).

Tableau 12: Valeurs de dose de référence (RfD) pour l'équation (2)

Elément chimic	Hg	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn	As
RfD	0.001	Nd	0.001	0.003	0.04	0.007	Nd	0.14	0.005	0.002	0.0035	0.3	0.0003

En utilisant toutes les analyses des éléments des échantillons de Thon en conserve, la somme du THQ des éléments chimiques individuels a été calculé le quotient de risque cible total (TTHQ).

$$TTHQ = \sum_{k=0}^n THQ_i$$

$$TTHQ = THQ_{Hg} + THQ_{Ca} + THQ_{Cd} + THQ_{Cr} + THQ_{Fe} + THQ_{Mg} + THQ_{Mn} + THQ_{Ni} + THQ_{Pb} + THQ_{Zn} + THQ_{As}$$

Interprétation des résultats

Si le THQ ou le TTQH est inférieur à 1, alors la consommation ou exposition est supposée sans risque. Par contre, si le THQ ou le TTQH est supérieur à 1 indique que la consommation entraîne un dépassement des valeurs toxicologiques de référence (VTR), donc un risque non négligeable (Temmar, 2016).

7.8. Résultats et discussion.

Afin de fournir des connaissances cruciales concernant les éventuelles carences nutritionnelles et/ou la qualité alimentaire d'une population, il a été pensé que des investigations sur l'ensemble du régime alimentaire constituent un outil fiable. De plus, le Thon en conserve peut être une source précieuse de nutriments, tout en contenant également des substances chimiques potentiellement nocives. En supposant une consommation de 10 g par jour de Thon en conserve, cette enquête fournit une estimation des valeurs d'apport alimentaire (VAA) par personne pour les composants essentiels et nocifs de différents Thons en conserve commercialisés en Algérie. Ces valeurs ont ensuite été comparées à celles fournies par l'Organisation mondiale de la santé OMS/FAO. Le tableau 13 affiche l'apport potentiel en éléments chimiques et les besoins quotidiens en éléments chimiques provenant de différentes conserves de Thon.

Les données présentées dans le tableau 13 indiquent que les niveaux de Cr et Mo sont approximativement équivalents aux limites permises fixées par l'OMS/FAO pour les hommes et les femmes adultes. Les enfants de moins de 3 ans ne sont également pas conseillés de consommer la quantité suggérée car elle dépasse la limite permise. Sur cette base, le taux de consommation de ces Thons en conserve doit être soigneusement surveillé et géré pour prévenir toute toxicité potentielle. Par conséquent, il est crucial de surveiller les quantités de Cr et Mo dans les denrées alimentaires et de prendre les mesures nécessaires pour réduire les niveaux de composants nocifs dans les denrées alimentaires Algériennes.

Les études sur l'évaluation des risques pour la santé fournissent une bonne indication de la probabilité d'exposition humaine à un polluant. Le potentiel de danger pour les humains résultant de la consommation d'un aliment ciblé contaminé par une substance particulière est évalué à l'aide du calcul du quotient de risque cible (THQ). Dans le cas où le THQ est

inférieur à 1, l'aliment consommé n'a pas d'effets néfastes aigus sur la santé (**Djedjibegovic et al., 2020**).

D'après le tableau 14, le THQ de l'élément Hg avait la valeur la plus élevée dans la marque TC4t (0,0142 mg.kg⁻¹), tandis que le cadmium et le chrome avaient la valeur la plus élevée dans la marque TC5o (0,3710 mg.kg⁻¹ et 0,01012 mg.kg⁻¹, respectivement). La valeur du THQ du Fe était plus élevée que celle des autres éléments, et les valeurs les plus élevées du THQ du fer et du manganèse ont été enregistrées pour eux dans la marque TC5t (0,7335 et 0,0013), respectivement. Le plus grand THQ pour le zinc a été enregistré dans la marque TC10o avec une valeur de 0.0171 mg.kg⁻¹, et le plus haut THQ pour le molybdène se trouve dans la marque TC2t avec une valeur de 0,1129 mg.kg⁻¹. Il convient de noter que le fer avait la valeur THQ la plus élevée parmi toutes les substances analysées.

D'autre part, puisque toutes les valeurs de THQ ≤ 1 pour tous les éléments analysés, cela signifie qu'il n'y a aucune probabilité défavorable de survenue d'effets. Dans cette étude, la valeur TTHQ la plus élevée a été trouvée pour TC5t (0.9341), ce qui est trois fois plus élevé que la valeur la plus basse des marques examinés, TC9t (0.2829). Cependant, selon le tableau 15, toutes les valeurs enregistrées étaient inférieures à 1 (≤ 1), ce qui signifie qu'il n'y a aucun risque associé à la consommation de Thon en conserve en Algérie.

Tableau 13: Comparaison entre les apports alimentaires en éléments chimiques des échantillons de Thon en conserve d'Algérie et la dose journalière tolérable

Échantillons		Hg (µg/d/p ers)	Ca (mg/d/p ers)	Cd (µg/d/p ers)	Cr (µg/d/p ers)	Cu (mg/d/p ers)	Fe (mg/d/p ers)	Mg (mg/d/p ers)	Mn (mg/d/p ers)	Mo (µg/d/p ers)	Ni (mg/d/p ers)	Pb (µg/d/p ers)	Zn (mg/d/p ers)	As (µg/d/p ers)
	1t	0.5070	1.6472	0.8840	14.8720	-	0.1287	2.2276	0.0043	38.5740	-	-	0.0576	-
	2t	0.4650	1.1385	0.6630	3.6030	-	0.0856	1.5413	0.0033	39.5320	-	-	0.0286	-
	3t	0.3140	1.1538	0.1100	5.7220	-	0.1617	1.7381	0.0045	36.6600	-	-	0.0319	-
	4t	0.9910	2.4473	1.7210	8.1750	-	0.2009	1.7934	0.0046	35.3020	-	-	0.0602	-
	5h	0.3750	0.8207	2.5980	21.2460	-	0.1639	1.2127	0.0013	34.4620	-	-	0.0742	-
	5t	0.2910	2.6192	-	17.8910	-	0.3594	1.8550	0.0129	37.6360	-	-	0.0506	-
	6h	0.5890	0.8390	0.1580	10.3670	-	0.1145	2.1363	0.0008	31.1440	-	-	0.1479	-
	6t	0.3170	2.9880	0.2870	6.4030	-	0.1761	1.9488	0.0056	25.6800	-	-	0.1570	-
	7h	0.0000	1.0515	0.1020	19.6380	-	0.1939	1.9734	0.0019	21.2880	-	-	0.0913	-
	7t	0.4450	1.7732	0.0630	20.7090	-	0.2431	2.3930	0.0057	31.5700	-	-	0.0821	-
	8h	0.4770	0.5911	0.0450	14.9540	-	0.0925	1.9062	0.0012	21.5440	-	-	0.0945	-
	8t	0.7000	2.9591	0.3690	20.3470	-	0.1953	2.4366	0.0053	34.5980	-	-	0.1436	-
	9h	0.8830	0.4911	0.0490	1.7340	-	0.0893	1.5783	0.0018	37.9510	-	-	0.0879	-
	9t	0.3350	1.6506	0.1200	1.4500	-	0.0997	1.7328	0.0044	21.2830	-	-	0.1003	-
	10h	0.4450	1.2219	0.5960	1.2850	-	0.1132	1.4580	0.0025	38.9700	-	-	0.3590	-
	10t	0.2290	0.6913	0.1010	2.1290	-	0.1649	1.9636	0.0048	21.0540	-	-	0.1939	-
	11h	0.1860	1.6022	0.4600	12.1340	-	0.1305	3.7918	0.0082	25.6840	-	-	0.1455	-
	11t	0.2330	1.4190	0.2310	5.1060	-	0.2225	2.3485	0.0066	34.1560	-	-	0.1424	-
AJ T	A	-	700	-	11	0.7	7	80	1.2	17	0.2	-	3	-
	B	40	1000	25	35	0.9	8	420	2.3	45	1.0	250	11	150
	C	40	1000	25	25	0.9	18	310	1.6	45	1.0	250	8	150
	D	40	1000	25	30	0.9	27	350	2.0	50	1.0	250	11	150
	E	40	1000	25	45	0.9	9	310	2.6	50	1.0	250	12	150

AJT : apport journalier tolérable non signalé, **A** : Enfants 1–3 ans, **B** : Hommes 19-50 ans, **C** : Femmes 19-50 ans, **D** : Femmes enceintes 19-50 ans, **E** : Lactation 19-50 ans

Tableau 14: Valeurs du quotient de risque cible (THQ) des éléments destinés à la consommation pour différentes marques de conserves de Thon

Échantillon Id	Hg	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn	As
1t	0.0072	0.0000	0.0126	0.0708	0.0000	0.2627	0.0000	0.0004	0.1102	0.0000	0.0000	0.0027	0.0000
2t	0.0066	0.0000	0.0095	0.0172	0.0000	0.1746	0.0000	0.0003	0.1129	0.0000	0.0000	0.0014	0.0000
3t	0.0045	0.0000	0.0016	0.0272	0.0000	0.3301	0.0000	0.0005	0.1047	0.0000	0.0000	0.0015	0.0000
4t	0.0142	0.0000	0.0246	0.0389	0.0000	0.4101	0.0000	0.0005	0.1009	0.0000	0.0000	0.0029	0.0000
5h	0.0054	0.0000	0.0371	0.1012	0.0000	0.3344	0.0000	0.0001	0.0985	0.0000	0.0000	0.0035	0.0000
5t	0.0042	0.0000	0.0000	0.0852	0.0000	0.7335	0.0000	0.0013	0.1075	0.0000	0.0000	0.0024	0.0000
6h	0.0084	0.0000	0.0023	0.0494	0.0000	0.2336	0.0000	0.0001	0.0890	0.0000	0.0000	0.0070	0.0000
6t	0.0045	0.0000	0.0041	0.0305	0.0000	0.3593	0.0000	0.0006	0.0734	0.0000	0.0000	0.0075	0.0000
7h	0.0040	0.0000	0.0015	0.0935	0.0000	0.3958	0.0000	0.0002	0.0608	0.0000	0.0000	0.0043	0.0000
7t	0.0064	0.0000	0.0009	0.0986	0.0000	0.4961	0.0000	0.0006	0.0902	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000
8h	0.0068	0.0000	0.0006	0.0712	0.0000	0.1887	0.0000	0.0001	0.0616	0.0000	0.0000	0.0045	0.0000
8t	0.0100	0.0000	0.0053	0.0969	0.0000	0.3985	0.0000	0.0005	0.0989	0.0000	0.0000	0.0068	0.0000
9h	0.0126	0.0000	0.0007	0.0083	0.0000	0.1822	0.0000	0.0002	0.1084	0.0000	0.0000	0.0042	0.0000
9t	0.0048	0.0000	0.0017	0.0069	0.0000	0.2035	0.0000	0.0005	0.0608	0.0000	0.0000	0.0048	0.0000
10h	0.0064	0.0000	0.0085	0.0061	0.0000	0.2311	0.0000	0.0003	0.1113	0.0000	0.0000	0.0171	0.0000
10t	0.0033	0.0000	0.0014	0.0101	0.0000	0.3365	0.0000	0.0005	0.0602	0.0000	0.0000	0.0092	0.0000
11h	0.0027	0.0000	0.0066	0.0578	0.0000	0.2663	0.0000	0.0008	0.0734	0.0000	0.0000	0.0069	0.0000
11t	0.0033	0.0000	0.0033	0.0243	0.0000	0.4540	0.0000	0.0007	0.0976	0.0000	0.0000	0.0068	0.0000
Max	0.0142	-	0.0371	0.1012	-	0.7335	-	0.0013	0.1129	-	-	0.0171	-
Min	0.0027	-	-	0.0061	-	0.1746	-	0.0001	0.0602	-	-	0.0014	-

Tableau 15: Évaluation des risques sanitaires totaux liés à la consommation de différentes marques de conserves de Thon

Échantillon Id	TTHQ
1t	0.4667
2t	0.3225
3t	0.4701
4t	0.5920
5h	0,5802
5t	0.9341
6h	0.3897
6t	0.4799
7h	0.5601
7t	0.6967
8h	0.3336
8t	0.6169
9h	0.3166
9t	0.2829
10h	0.3807
10t	0.4213
11h	0.4145
11t	0.5900

*CONCLUSIONS ET
RECOMMANDATIONS*

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les produits de la mer transformés sont devenus de plus en plus populaires grâce à leur facilité d'utilisation, leur disponibilité et leur durée de conservation étendue. Ils sont largement consommés à travers le monde, en raison leur haute valeur nutritionnelle.

Ces produits marins, notamment ceux issus des espèces de Thon, peuvent constituer un risque toxicologique en raison de leur contamination par des éléments traces et de la consommation moyenne par individu.

Les éléments traces sont perçus comme le principal facteur de pollution pour les organismes marins, en raison de leur toxicité et de leur capacité à s'accumuler.

Dans les pays industrialisés et en développement, la question de la pollution alimentaire par divers contaminants est aujourd'hui considérée comme un enjeu majeur.

La surveillance de la sécurité alimentaire constitue l'un des paramètres essentiels pour la sauvegarde de la santé publique.

En Algérie, les informations relatives aux valeurs des éléments traces métalliques présents dans le Thon en conserve commercialisé à l'échelle nationale sont rares voir absente.

La présente étude a été effectuée en Algérie. Elle a pour objectif d'évaluer la production et la consommation de conserves de Thon chez les Algériens, déterminer les teneurs en éléments traces dans le Thon en conserve commercialisé sur le marché Algérien et vérifier leur conformité relativement aux normes réglementaires et évaluer le risque pour la santé des consommateurs lié à la consommation de Thon en conserve.

Les résultats sont tirés sur la base des éléments traces identifiés dans les conserves de Thon, mesurés par spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES) et spectrophotométrie d'absorption atomique à vapeur froide (CV-AAS), une comparaison est effectuée avec les seuils établis par la FAO/OMS, en tenant compte également des variations liées au liquide de conservation, de la structure de viande de Thon entier ou entier, la région de production des marques et du temps de conservation.

De plus, nous avons utilisé des modèles d'évaluation des apports alimentaires quotidiens (EDI) par individu et au calcul du quotient de risque alimentaire (THQ) et du total de risques (TTHQ) pour les échantillons de Thon en conserve analysés, nous avons examiné dans quelle mesure et pour

quelles quantités, ces produits marins pourraient représenter un danger pour le consommateur Algérien.

À l'issue de cette analyse et en tenant compte des résultats obtenus, nous pouvons établir les points suivants :

- ✓ Le secteur de la transformation des produits marins est indispensable pour l'exploitation des ressources maritimes, apportant par conséquent un bénéfice à l'économie et à la sécurité alimentaire.
- ✓ Les données analytiques obtenues à partir l'évaluation de la consommation des conserves de Thon en Algérie ont montré une large consommation de ce produit y compris les enfants, les femmes enceintes et les femmes qui allaitent.
- ✓ Une connaissance moyenne à faible des consommateurs en ce qui concerne la fréquence de consommation, critères d'achats et la méthode de conservation de Thon en conserve.
- ✓ Plus de la moitié des individus interrogées en Algérie ont exprimé leur satisfaction concernant la présentation du Thon en conserve, tandis que 55,43% d'entre elles ont affirmé que le prix du Thon en conserve était élevé.
- ✓ Les différents éléments traces dosés dans le Thon en conserve consommé en Algérie ont montré des moyennes inférieures aux seuils limites réglementaires national et international européen. Sauf pour les niveaux de molybdène et de chrome étaient légèrement élevés, le cadmium dans certaines marques de conserves de Thon (0,2598 mg.kg⁻¹) présente des teneurs plus élevées aux seuils fixé à 0.10 mg.kg⁻¹, par ailleurs, tous les échantillons analysés contiennent des concentrations moyennes en Cu, Ni, Pb et As inférieures à la limite de détection.
- ✓ De plus, les résultats de cette recherche ont indiqué qu'il y avait des écarts significatifs dans les niveaux d'éléments présents dans les boîtes de Thon consommées en Algérie, en fonction du type de Thon entier ou en miettes, des deux variétés de liquides d'enrobage tomate et huile, ainsi que des marques proposées dans chaque région.
- ✓ Toutes les valeurs pour le quotient de risque ciblent total (TTHQ) étaient en dessous de 1 (≤ 1), ce qui souligne qu'il n'existe aucun danger lié à la consommation de Thon en boîte en Algérie.

Cette étude a abouti à la conclusion que ces résultats sont d'une grande importance et offrent des informations actuelles et inédites sur la présence des éléments traces dans les conserves de Thon, ainsi que sur l'assurance que le consommateur Algérien n'est pas soumis au danger des métaux lourds toxiques en consommant ces produits.

Bien que les niveaux de métaux lourds mesurés ne franchissent pas les seuils limites et que le consommateur ne soit pas exposé à un risque, nous pouvons suggérer certaines mesures qui aideraient à prévenir une éventuelle toxicité. Ces recommandations sont détaillées ci-après:

- ✓ Pour préserver la santé des consommateurs, il est essentiel de contrôler régulièrement et rigoureusement la présence de métaux nocifs dans le poisson en boîte.
- ✓ Étudier la présence de métaux lourds dans l'eau de mer et particulièrement contrôler leurs niveaux dans les régions où la pollution est plus importante.
- ✓ En particulier les groupes à risque faible (tels que les adolescents et les adultes) que ceux à risque élevé (comme les femmes enceintes et les enfants) doivent réduire leur consommation de poisson en conserve, car une ingestion fréquente peut entraîner une accumulation de métaux et des risques considérables pour la santé.
- ✓ Il est impératif que les autorités de régulation effectuent régulièrement un contrôle de la concentration de métaux lourds et d'autres polluants dans les denrées alimentaires, tout en imposant des normes de sécurité rigoureuses pour préserver la santé du public.
- ✓ En général, il est indispensable de diminuer les niveaux de polluants environnementaux provenant des centrales électriques ainsi que d'autres sources d'émissions et de rejets industriels pour limiter l'introduction de contaminants dans les milieux aquatiques.
- ✓ Il est nécessaire d'effectuer davantage de recherches et d'évaluations de la qualité des produits marins dans plusieurs pays afin de fournir plus de données et contribuer à la préservation de la santé humaine.
- ✓ Il faudra également mener d'autres recherches incluant des données détaillées sur la consommation de Thon en boîte au sein de certaines populations, ainsi que sur l'espèce de poisson, sa taille et l'endroit où il a été pêché.

Ces recherches ont mis en évidence la présence d'ETM dans les conserves de Thon. Cela donne lieu à des perspectives de recherche futures intéressantes.

Face à la demande toujours croissante des conserves de Thon, l'activité de transformation est améliorée par les fermes d'engraissements de Thon. Ce procédé d'élevage est très intéressant et un investissement extraordinaire qui permet la disponibilité et l'accès à une matière première locale.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Aakame R B (2015).** Caractérisation hydro-chimique, toxicologique et évaluation des risques sanitaires des eaux souterraines de la région de Sidi-Kacem (Maroc). Thèse de Doctorat de l'Université Mohammed V (Maroc), 224p.
- **Aaseth J, Ajsuvakova O P, Skalny A V, Skalnaya M G, Tinkov A A (2018).** Chelator combination as therapeutic strategy in mercury and lead poisonings. *Coordination Chemistry Reviews*, 358: 1–12.
- **Ababneh F A, Al-Momani I F (2013).** Levels of mercury, cadmium, lead and other selected elements in canned tuna fish commercialised in Jordan. *Int J Environ Anal Chem* DOI: 10.1080/03067319.2012.672981.
- **Abbaspour N, Hurrell R, Kelishadi R (2014).** Review on Iron and Its Importance for Human Health. *J. Res. Med. Sci*, 19, 164–174.
- **Abdelouahab N (2010).** Etude des effets neurotoxiques de l'exposition simultanée au mercure et aux organochlorés chez des consommateurs de poissons. Thèse de doctorat en science biologique. Université du Québec à Montréal, Canada. 210 p.
- **Abolghait S, Garbaj A (2015).** *Open Vet J* 5, 2.
- **Agah H et al (2007).** Concentrations totales de mercure et de méthylmercure dans les poissons du golfe Persique et de la mer Caspienne. *Water Air Soil Pollut*.
- **Agence des substances toxiques et du registre des maladies (2004).** Division de toxicologie, Clifton Road, NE, Atlanta, GA, disponible à l'adresse <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/>
- **Ahoulé D G M (2016).** Performances comparatives des techniques de nanofiltration et d'osmose inverse pour le traitement d'eau de consommation contaminée à l'arsenic au Burkina Faso. Thèse de doctorat en génie des procédés. Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement ; Université de Montpellier, France. 136 p.
- **Aksas H (2013).** Etudes cinétiques et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels. Thèse de doctorat. Université M'HAMEHD BOUGARA-Boumerdes. 161pages.
- **Al Alawi A M, Majoni S W, Falhammar H (2018).** Magnésium et santé humaine : perspectives et orientations de recherche. *Journal international d'endocrinologie*. 9041694.
- **Al Ghoul L, Abiadb M G, Jammould A, Mattae J, El Darra N (2020).** Zinc, aluminium, tin and Bis-phenol a in canned tuna fish commercialized in Lebanon and its human health risk assessment. *Heliyon* 6 doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04995>
- **Ala A, Walker A P, Ashkan K, Dooley J S, Schilsky M I (2007).** Wilson's disease. *The Lancet*, 369,397-408.
- **Algérie presse service (APS) (2023).** <https://www.aps.dz/economie/158663-Thon-rouge-l-algerie-a-peche-la-totalite-de-son-quota-annuel>, consulté le 13/12/2024.

- **Alloway B J, Ayres D C (1997).** Chemical Principles of Environmental Pollution. Blackie Academic and Profesional, an imprint of Chapman and Hall, London, p. 394.
- **Al-Mahaqeri S A, Ahmad A K (2015).** Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Fish Species Collected from Catchments of Former Tin Mining. International Journal of Research Studies in Science. Engineering and Technology, 2(4): 9-21.
- **Al-Mughairi L *et al* (2013).** Évaluation de la concentration et de l'exposition au mercure dans le poisson commercial et d'autres fruits de mer commercialisés à Oman J. Food Sci.
- **Al-Rajhi M A (2014).** Determination the concentration of some metals in imported canned food and chicken stock, American Journal of Environmental Sciences, vol. 10, no. 3, pp. 283–288,2014.
- **Alva C V, Mársico E T, Ribeiro R d O R, Carneiro C D S, Simões J S, M D S (2020).** Concentrations et évaluation des risques pour la santé du mercure total dans le Thon en conserve commercialisé dans le sud-est du Brésil. J. Composition alimentaire. Anal. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103357>
- **Amara A, Bisson M, Hulot C, Marescaux N (2016).** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Plomb et ses dérivés inorganiques. <http://www.ineris.fr/hml>, consulté le 28/11/2016., 170 p.
- **Andayesh S, Hadiani M R, Mousavi Z, Shoeibi S (2015).** Lead, cadmium, arsenic and mercury in canned tuna fish marketed in Tehran, Iran. Food Additives an Contaminants : Part B Surveillance;8(2):93–98. <https://doi.org/10.1080/19393210.2014.993430>
- **Andujar P, Bensefa-Colas L, Descatha, A (2010).** Intoxication aiguë et chronique au cadmium, La Revue de Médecine Interne, 31(2) : 107–115.
- **Angot H (2016).** Cycle atmosphérique du mercure dans des zones reculées de l'Hémisphère Sud : cas de la couche limite marine subantarctique et du continent Antarctique. Océan, Atmosphère. Thèse de doctorat. Université Grenoble Alpes, France. 317 p.
- **Anon (2017).** <https://www.delamaris.si/healthy-diet/that-fish-are-an-important-source-of-vitamins-and-minerals>.
- **ANSES (2010).** Rapport sur la consommation des poissons, mollusques et crustacés : Aspects nutritionnels et sanitaires pour l'Homme. p. 130.
- **ANSES (2013).** Agence Nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail. Exposition au plomb : effets sur la santé associés à des plombémies inférieures à 100µg/l. rapport d'expertise collective, Edition Scientifique. . 2013.
- **Appert N (1810).** L'Art de conserver pendant plusieurs années toutes les substances animales et végétales. Paris.
- **Arisekar U, Robinson J S, Rajendran S, Geevaretnam J, Shanmugam S, Natarajan A, Abdulrahman A, Karthikeyan P (2022a).** Contamination par des éléments potentiellement toxiques

et son élimination par les herbes aquatiques dans le système fluvial : une approche comparative. Recherche environnementale. Volume 206. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112613>

- **Arisekar U, Shakila R J, Shalini R, Jeyasekaran G, Padmavathy P, Sukumar D (2022b).** Effet de différentes méthodes de traitement thermique sur les métaux potentiellement toxiques dans les fruits de mer *Penaeus vannamei*, et évaluation des risques pour la santé humaine associée. Journal de la composition et de l'analyse des aliments Volume 105, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104259>
- **Arisekar U, Shalini R, Shakila R J, Sundhar S, Banu A M A, Ibrahimi S A, Umamaheshwari T (2024).** Métaux traces dans les produits de la mer commerciaux (en conserve, marinés et fumés) : comparaison, exposition et évaluation des risques pour la santé. journal : Recherche alimentaire internationale. Volume 178, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.113969>
- **Armstrong VC, Holliday M G, Schrecker T F (1981).** Tap water consumption in Canada. Rapport 82-EHD-80 de la Direction de l'hygiène du milieu, Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social, Ottawa.
- **Ashitey E, Flake L (2010).** Réseau mondial d'information sur l'aquaculture. Guide de l'exportateur. Rapport GAIN n° GH1002. P. 16
- **Ashraf W (2006).** Levels of selected heavy metals in tuna fish. Arab J Sci Eng 31:89
- **Assad M (2017).** Transfert des éléments traces métalliques vers les végétaux : mécanismes et évaluation des risques dans des environnements exposés à des activités anthropiques. Thèse de doctorat. Université Bourgogne, France. 217p.
- **Astorg P, Couthouis A, Bertrais S, Arnault N, Meneton P, Guesnet P, Alessandri J M, Galan P, Hercberg S (2008).** Association of fish and long-chain n-3 polyunsaturated fatty acid intakes with the occurrence of depressive episodes in middle-aged French men and women. Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids. 78 : p. 171-82.
- **ATSDR (2012).** Toxicological profile for Cadmium. <https://www.atsdr.cdc.gov/>
- **ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Aug 2007).** Toxicological profile for arsenic. U.S. Department of health and human services, Atlanta, Georgia.
- **Babelhadj B, Benaissa A (2020).** La consommation des produits de la pêche : cas de la région de Ouargla, Algérie. Afrique SCIENCE 17(4) 114 – 124. ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>
- **Badassan T (2021).** Evaluation de la contamination des éléments traces dans les eaux et sédiments de la lagune de Lomé et bioaccumulation chez deux espèces de poisson Thèse En vue de l'obtention du doctorat de L'Université de Toulouse. Institut National Polytechnique de Toulouse.
- **Balami S, Sharma A, Karn R (2019).** Significance of Nutritional value of fish for human health. Malaysian Journal of Halal Research; 2(2):32-34. DOI : 10.2478/mjhr-2019-0012.
- **Barceloux D G (1999).** Copper. Journal of Toxicology : Clinical Toxicology, 37 (2), 217-30.

- **Barceloux D G, Barceloux D (1999).** Molybdène. Journal de toxicologie : Toxicologie clinique, 37(2), 231-237. <https://doi.org/10.1081/CLT-100102422>
- **Barnabas k, Mbofung C M F (2009).** Contribution à l'évaluation de la contamination par les métaux lourds, de trois espèces de poissons, des sédiments et des eaux du lac tchad. Alimentation et Nutrition. hal-00825482.
- **Bastami K D, Bagheri H, Kheirabadi V, Zaferani G G, Teymori M B, Hamzehpoor A, Soltani F, Haghparsat S, Harami S R M, Ghorghani N F, Ganji S (2014).** Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments along southeast coast of the Caspian Sea. Marine Pollution Bulletin, 81(1): 262–267.
- **Batvari B P D, Sivakumar S, K Shanthi K, Kui-Jae Lee K-J, Oh,B-T, Krishnamoorthy R R, Kamala-Kannan S (2016).** Heavy metals accumulation in crab and shrimps from Pulicat lake, north Chennai coastal region, southeast coast of India. Toxicology and Industrial Health, 1–6.
- **Behanzin G J, Adjou E S, Yassoufou A G, Dahouenon A E, Sezan A (2014).** Effet des sels de métaux lourds (chlorure de Cobalt et chlorure de Mercure) sur l'activité des hépatocytes, Journal Applied Biosciences, Vol 83, pp 7499-7505.
- **Belanger D (2009).** Utilisation de la faune macrobenthique comme bioindicateur de la qualité de l'environnement marin côtier.maître en écologie internationale : maîtrise en biologie incluant un cheminement de type cours en écologie internationale. Canada, 67.
- **Benguedda-rahall W (2012).** Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême Ouest Algérien. Thèse de Doctorat de l'Université de Tlemcen, Algérie, 146p.149p.
- **Bentahar Y (2016).** Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse. Autre. Thèse de doctorat. Université Côte d'Azur, France. 268 p.
- **Bertrand A, Bard FX, Josse E (2002).** Tuna food habits related to the micronekton distribution in French Polynesia. Marine Biology 140 : 1023–1037 DOI 10.1007/s00227-001-0776-3.
- **Beyersmann D, Hartwig A (2008).** Carcinogenic metal compounds : recent insight into molecular and cellular mechanisms. Arch. Toxicol. 82 :493–512.
- **Biney C, Amuzu A T, Calamari D, Kaba N, Mbome I L, Naeve H, Ochumba O, Osibanjo O, Radegonde V, Saad M A H (1995).** Revue de la pollution dans l'environnement aquatique africain : Etude des métaux lourds. Archives de documents de la FAO, Département de pêches. Rome.
- **Bisson M R, Diderich C, Hulot N, Houeix G, Lacroix J P Lefèvre, Leveque S, Magaud H, Morin A (2005).** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Zinc et ses dérivés. France : INERIS. <http://www.ineris.fr/hml>

- **Bisson M, Bureau J, Houeix N, Jolibois B, Gay G, Lefèvre J P et Tack K (2012).** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Manganèse et ses dérivés. INERIS, [http : //www.ineris.fr/hml](http://www.ineris.fr/hml), consulté le 16/10/2016, 81 p.
- **Bisson M, Bureau J, Houeix N, Jolibois B, Gay G, Lefèvre J P, Tack K (2005).** Fiche de données toxicologiques et environnementales des 209 substances chimiques : Chrome et ses dérivés. INERIS, 81p.
- **Bisson M, Houeix N, Gay G, Jolibois B, Lefèvre J P, Magaud H, Morin A, Tissot S (2006).** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Nickel et ses dérivés. France : INERIS, <http://www.ineris.fr/hml>.
- **Bisson M, Houeix N, Gay G, Lacroix G, Lefèvre J P, Magaud H, V. Migne, Morin A, Tissot S (2005).** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Cuivre et dérivés. INERIS –DRC-02-25590-02DF54.doc. INERIS.
- **Bjornberg K A et al (2003).** Méthylmercure et mercure inorganique chez les femmes enceintes suédoises et dans le sang de cordon ombilical : influence de la consommation de poisson. Journal Environ Health Perspect.
- **Bliefert C, Perraud R (2008).** Chimie de l'environnement. Air, Eau, Sols, Déchet. 2è édition de Boeck. Bruxelles, 478p.
- **Blum WE (1990) :** Pollution des sols par métaux lourds. Sixième conférence ministérielle européenne sur l'environnement. Bruxelles.
- **Boadi N, Twumasi S (2011).** Heavy metal contamination in canned fish marketed in Ghana,” American Journal of Scientific and Industrial Research, vol. 2, no. 6, pp. 877–882.
- **Bodin N (2005).** Contamination des crustacés décapodes par les composés organohalogénés : Etude détaillée de la bioaccumulation des PCB chez l'araignée de mer Maja Brachudactyla. Thèse de doctorat : Océanologie Biologique, 309
- **Boislève J B, (2016).** Métabolisme et physiopathologie du magnésium. <https://sante-vivante.fr/>
- **Bonyadian M, Moshtaghi H, Nematellahi A, Naghavi Z (2012).** Investigation of heavy metals of lead, tin, copper and cadmium in canned sh produced in Iran. Journal of Food Science and Technology, 27.
- **Bost M, Houdart S, Oberli M, Kalonji E, Huneau J F, Margaritis I (2016).** Dietary Copper and Human Health: Current Evidence and Unresolved Issues. J. Trace Elem. Med. Biol, 35, 107–115.
- **Bouchereau, J M (1992)** Estimation des émissions atmosphériques de métaux lourds en France pour le Cr, le Cu, Le Ni, Le Pb et le Zn. Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA), Paris.
- **Boufleur L A, dos Santos C E I, Debastiani R, Yoneama M L, Amaral L, Dias J F (2013).** Elemental characterization of Brazilian canned tuna fish using particle induced X-ray emission (PIXE). J. Food Compos. Anal. 30 (1), 19–25.

- **Brewer G J (2015).** Copper-2 Ingestion, Plus Increased Meat Eating Leading to Increased Copper Absorption, Are Major Factors Behind the Current Epidemic of Alzheimer's Disease. *Nutrients*, 7, 10053–10064.
- **Brown T L, LeMay H E, Bursten B E, Murphy C, Woodward P (2017).** Chemistry : The Central Science. 14^e édition, Pearson. ISBN : 9780134414232.
- **Brun L A, Maillet J, Hinsinger P, Pépin M (2001).** "Evaluation of copper availability to plants in copper-contaminated vineyard soils." *Environmental Pollution*, 111(2), 293-302.
- **Budnik L T, Casteleyn L (2019).** Mercury pollution in modern times and its socio-medical consequences. *Science of the Total Environment*, 654: 720–734
- **Bur T (2008).** Impact anthropique sur les éléments traces métalliques dans les sols agricoles de midi-pyrenees. Implications en termes de limites et de charges critiques. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT), Toulouse, France, 399p.
- **Bury N, Grosell M (2003).** «Iron acquisition by teleost fish comp», *Biochem. Physiol*, C.135, 97-105.
- **Bush J A, Mahoney J P, LMarkowitz H (1995).** Studies on copper metabolism. XVI. Radioactive copper studies in normal subjects and in patients with hepatolenticular degeneration. *J Clin Invest*, 34, 1766-1778.
- **Bushnell P G, Holland K N, 1997.** Thonidés. *Virginia Mar. Res. Bull.*, 29 (1 et 2) : 3-6.
- **Buzard G S, Kasprzak K S (2000).** Possible roles of nitric oxide and redox cell signaling in metal-induced toxicity and carcinogenesis : a review. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 19 :179–199.
- **Calmon P, Métivier J M (2003).** FICHE RADIONUCLÉIDE Molybdène 99 et environnement, Direction de l'environnement et de l'intervention – Service d'étude du comportement des radionucléides dans les écosystèmes.
- **Calne D B, Chu N S, Huceny C C, Lu C S, Glanow W (1994).** Manganism and idiopathic parkinsonism: similarities and differences. *Neurology*, 44, 1583-86.
- **Campling L (2012).** “The Tuna ‘Commodity Frontier’ : Business Strategies and Environment in the Industrial Tuna Fisheries of the Western Indian Ocean.” *Journal of Agrarian Change* 12 (2–3) : 252–278.
- **Canadian Environmental Protection Act Priority Substances List Assessment (2007).** Report chromium and its compounds.
- **Carocci A, Catalano A, Lauria G, Sinicropi M S, Genchi G (2016).** Lead Toxicity, Antioxidant Defense and Environment. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 238:45-67.
- **Casas S (2005).** Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis* en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat de l'Université du Sud Toulon Var, France. 276, 301,314 p.

- **Castellano-Baquero M, Paz-Montelongo S, Rubio C et al (2025).** Teneur totale en mercure dans le Thon en conserve : évaluation des risques. Journal de la composition et de l'analyse des aliments. Volume 143. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107599>
- **Castro-González M I, Méndez-Armenta M (2008).** Métaux lourds : implications associées à la consommation de poisson. Environ. Toxicol. Pharmacol, 26 p. 263-271 <https://doi.org/10/cjxr78>
- **CCME (2015).** Conseil canadien des ministres de l'environnement. Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : Environnement et santé humaine - nickel. Extrait de la publication n 1300 ; ISBN1-896997-36-8.
- **Chahid A, Hilali M, Benlhachemi A, Bouzid T (2015).** Heavy metals content of canned tuna fish: estimated weekly intake. Moroccan J. Chem. 3 N°1
- **Chahid. A (2016).** Quantification des éléments traces métalliques (cadmium, plomb et mercure total) de certains produits de la pêche débarqués dans la zone Essaouira-Dakhla : Evaluation des risques sanitaires. Thèse Pour l'obtention du grade de doctorat national. Université Ibn Zohr faculté des sciences.
- **Chang L W et al (1997).** Etude ultrastructurale des effets latents du méthylmercure sur le système nerveux après expositions prénatales. Journal Environnement Res
- **Chaouali N, Nouioui A, Aouard M, Smaoui O, Amira D, Hedhili A (2017).** Mise au point et validation d'une méthode de dosage du plomb dans les matrices végétales par spectrométrie d'absorption atomique. Toxicologie Analytique & Clinique, 30(1) : 35-42.
- **Chemerinski D (2013).** "Emerging Tuna Markets of the Upcoming Decade: A Look at the Surprising '3G' Countries." InfoFish International 4: 6.
- **Chen J, Jayachandran M, Bai W, Xu B (2022).** Une revue critique sur les bienfaits pour la santé de la consommation de poisson et de ses constituants bioactifs, journal Chimie alimentaire, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130874>
- **Cheung R Y, Chan K M (1999).** Metal concentrations in tissues of rabbit sh (Siganus oramin) collected from Tolo Harbour and Victoria Harbour in Hong Kong. Marine Pollution Bulletin, 39(1-12), 234-238.
- **Chiffolleau J F (2001).** La contamination métallique, Programme Scientifique Seine-Aval. Editions IFREMER, Région Haute Normandie, France, 39p.
- **Cilliers L, Retief F (2014).** Lead Poisoning and the Downfall of Rome: Reality or Myth?. History of Toxicology and Environmental Health, 1 : 118–126.
- **CIRC (2006).** Centre International de Recherche sur le Cancer. Évaluation des risques de cancérogénicité pour l'Homme. Dérivés inorganiques et organiques du plomb. 87 : 5-12.
- **Clandinin M et al (2002).** Les préparations à base d'acide docosahexaénoïque (GHA) et d'acide arachidique (AA) favorisent de meilleurs scores de croissance et de développement chez les nourrissons de très faible poids à la naissance. Journal pédiatrie Res.

- **Clarkson T W, Magos L (2006).** The toxicology of mercury and its chemical compounds. Crit. Rev. Toxicol., 36 : 609-662.
- **Clozel D, Derrien J, Riffault J (2008).** Atelier Santé Environnement : Evaluation des risques liés à l'exposition aux poussières de manganèse. Mémoire d'Ingénieur du Génie Sanitaire, Ecole des Hautes études en Santé Publique, France, 79p.
- **Colas L B, Andujar P, Descatha A (2011).** Intoxication par le mercure. La Revue de Médecine Interne, 32(7) : 416–424.
- **Comité mixte FAO/WHO d'experts des additifs alimentaires (2000).** World Health Organization. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants: Fifty-Third Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives ; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2000.
- **Comité mixte FAO/WHO d'experts des additifs alimentaires (2004).** World Health Organization. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants : Sixty-First Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives; World Health Organization: Geneva, Switzerland; Volume 61, ISBN 92-4-120922-4.
- **Cormick G, Belizán J M (2019).** Calcium Intake and Health. Nutrients, 11, 1606.
- **Corneillat M (2007).** Instrumentation en ICP-AES, UFR Sciences et Techniques, Université de Bourgogne. <http://master-cac.u-bourgogne.fr/telecharger/expose5.ppt>
- **Cort J L (1990).** Biología y pesca del atún rojo, Thunnus thynnus (L.), del Mar Cantábrico. Inst. Español Ocean., Publ. Esp., 4 : 272 p.
- **Counter S A, Buchanan L H (2004).** Mercury exposure in children: a review. Toxicol. Appl. Pharmacol. 198 :209–230.
- **Crichton R R, Wilmets, Legsyer R, Ward R J (2002).** «Molecular and cellular mechanisms of iron homeostasis and toxicity in mammalian cells», J. Inorg. Biochem, 91, 9-18.
- **Custodio M, Cuadrado W, Peñaloza R, Montalvo R, Ochoa S, Quispe J (2020).** Human Risk from Exposure to Heavy Metals and Arsenic in Water from Rivers with Mining Influence in the Central Andes of Peru. Water, 12, 1946.
- **Czeczot H, Skrzycki M (2010).** Cadmium-element completely unnecessary for the organism. Advances in Hygiene and Experimental Medicine, vol. 64, pp. 38–49.
- **Danel V (1997).** Intoxication par le plomb, physiopathologie, épidémiologie, diagnostic.
- **Danis B, Bustamente P, Cortet O, Teyssie J, Fowler S, Warnau M, (2005).** Bioaccumulation of PCB in the cuttlefish Sepia officinalis from seawater, sediment and food pathways. Environ Pollut, 134.
- **Dantas F B H, Dantas S T, Saron E S, Faria, E V, Kiyataka P H M (2008).** Evaluation of DRD cans for una fish packing. Brazilian Journal of Food Technology 11, 234-240.

- **Daraei M, Kalantari H, Khoragani Z N (2021).** Determining the Lithium and Calcium Concentrations in Canned Tuna Fish in Iran. International Journal of Chemistry ; Vol. 13, No. 2. <https://doi.org/10.5539/ijc.v13n2p35>
- **Dauchy S A (2016).** Ecosystèmes microbiens des poissons tropicaux, Thunnus albacares et Sciaenops ocellatus, après abattage et incidence sur la qualité des produits. Thèse de doctorat de l'Université des Antilles en sciences agronomiques, biotechnologies agro-alimentaires. p. 326.
- **Davidson P W et al (1998).** Effets de l'exposition prénatale et postnatale au méthylmercure provenant de la consommation de poisson sur le développement neurologique : résultats à l'âge de 66 mois dans l'étude sur le développement de l'enfant de Seychelles. Journal JAMA
- **De Lima N V, Granja Arakaki D, Melo E S d P, Machate D J, do Nascimento V A (2021).** Assessment of Trace Elements Supply in Canned Tuna Fish Commercialized for Human Consumption in Brazil. Int. J. Environ. Res. Public Health 2021, 18, 12002. <https://doi.org/10.3390/ijerph182212002>
- **Debeer J, Nolte F, Lord C W, Bell J W (2021).** Processing Tuna, Scombridae, for Canning. Marine Fisheries Review. DOI : 10.7755/MFR.83.3-4.1
- **Décret n°55-241 du 10 février (1955).** Pris pour l'application en ce qui concerne le commerce des conserves et semi-conserves alimentaires de la loi du 1er août 1905, modifiée et complétée sur la répression des fraudes Version de : 03 avril 1997.
- **Dehaut A (2014).** Evaluation de la qualité fraîcheur du poisson par des approches biochimiques (SPME-GC/MS) et Moléculaires (q PCR). Thèse de doctorat de l'Université de Lille I en Ingénierie des fonctions biologiques. p. 243.
- **Del Valle H B, Yaktine A L, Taylor C L, Ross A C (2011).** Apports nutritionnels de référence en calcium et en vitamine D. Institut de médecine.
- **Denis F (2011).** Mise en application de processus analytique complexe. Analyse de métaux par ICP-AES, Université Strasbourg, IUT Robert Schuman – Département chimie.
- **Dergal N B (2015).** Evaluation des systèmes de management de la sécurité et de la qualité de l'aquaculture du tilapia du Nil "Oreochromis niloticus" dans l'Ouest Algérien. Thèse de doctorat de l'Université d'Oran 1 en Aquaculture et Contrôle de Qualité. ISBN 9782875430601. p. 244.
- **DeRomaña D L, Olivares M, Uauy R, Araya M (2011).** Risks and Benefits of Copper in Light of New Insights of Copper Homeostasis. J. Trace Elem. Med. Biol, 25, 3–13.
- **Deslous-Paoli J M (1982).** Toxicité des éléments métalliques dissous pour les larves d'organismes marins : Données bibliographiques. Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 45, (1),73-83.
- **Desrochers-Couture M (2017).** Impacts d'une exposition prénatale et postnatale au plomb sur le quotient intellectuel de jeunes enfants canadiens. Mémoire de maîtrise. Université de Quebec, Canada. 96 p.

- **Dev S, Babitt J L (2017).** Overview of iron metabolism in health and disease. Scholarly Review, 21, 15p.
- **Diagne I (2012).** Contamination des moules et des sédiments des cotes de la région de Dakar par certains métaux (cadmium, chrome, plomb) : application au dosage du cadmium, chrome, plomb par la spectrométrie d'émission atomique par arc électrique. DEA, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 58.
- **Dione C T (2022).** Détermination de la teneur des polluants organiques et des métaux lourds dans les poissons provenant des baies de la côte de Dakar (Soumbédioune et Hann). Chimie analytique. Université de Strasbourg ; Université Cheikh Anta Diop (Dakar). Français. NNT : 2022STRAF042.
- **Diop M.B (2008).** Sélection et caractérisation de souches bactériennes aptes à améliorer la technique de conservation des poissons par salaison au Sénégal. Thèse de Doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 213 p.
- **Djedjibegovic J, Marjanovic A, Tahirovic D et al (2020)** Heavy metals in commercial fish and seafood products and risk assessment in adult population in Bosnia and Herzegovina. Sci Rep 10:13238
- **Domingo J L, Bocio A, Marti Cid R, Lobet J M (2007).** Benefits and risks of fish consumption : Part II. RIBEPEIX, a computer program to optimize the balance between the intake of omega-3 fatty acids and chemical contaminants in. Toxicology 230 (2-3), 227-233.
- **Duhamel J F, Leportier M, Bureau F, Madjidi A, Nivot S, Verine C, Drosdowsky M (1988).** Le molybdène chez l'enfant : rappel physiologique et carences observées dans la pathologie digestive grave et les anomalies congénitales de son métabolisme. Nutr. Clin. Matabol ; 2 :5-8.
- **Duquesne S (1992).** Bioaccumulation métallique et métallothioneine chez trois espèces de poissons du littoral Nord-Pas de Calais. Thèse de Doctorat de l'Université de l'Ille, France. 275p.
- **Durand L (2014).** Ecologie et diversité des bactéries thermophiles formant des spores dans les conserves alimentaires. Thèse de doctorat. Université Montpellier II.
- **Dutra Maia P (2008).** Le rôle des échanges entre le fleuve Amazone et la plaine d'inondation dans les processus de transport, de spéciation et de piégeage du mercure. Thèse de doctorat. Université de Toulouse, France. 234 p.
- **El Azzi D (2012).** Transfert de polluants organiques et inorganiques dans les hydrosystèmes en période de crue : interaction avec les matières en suspension et la matière organique. Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, France. 347p.
- **Elin R J (1988).** Magnesium metabolism in health and disease. Dis Mon 34 : 161–218
- **Elizalde M R (2017).** Sources et devenir du méthylmercure dans l'Océan Austral : utilisation des oiseaux marins modèles et des isotopes stables du mercure. Thèse de doctorat. Université de La Rochelle, France. 253 p.

- **Emami Khansari F, Ghazi-Khansari M, Abdollahi M (2005).** Heavy metals content of canned tuna fish. Food Chem. ;93:293–6.
- **Engel P (2010).** Magnesium AT A GLANCE. reviewed and revised by Angelika Friedel on 22.05.2017. www.nutri-facts.org.
- **Eriksson B K (2002).** Long-Term Changes in Macroalgal Vegetation on the Swedish Coast: An Evaluation of Eutrophication Effects with Special Emphasis on Increased Organic Sedimentation. Ph.D. Thesis, Acta Universitatis Upsaliensis, Uppsala, Sweden.
- **Ethic Ocean (2023).** Guide des espèces - à l'usage des professionnels. www.guidedesespeces.org consultée le 06/12/2024.
- **European Union (EU) (2005).** Commission regulation as regards heavy metals, Amending Regulation 466/2001 ; 2005, no 78/2005,
- **Evstatiev R, Gasche C (2012).** Iron sensing and signalling. Gut., 61, 933–952.
- **Expirata.fr (2025).** Le guide de conservation des aliments. <https://expirata.fr/conservation/poissons/duree-conservation-Thon/> consulté le 11/06/2025
- **FAO (2010).** “Développement de la coopération dans le secteur de la pêche en méditerranéen”, 18 – 23
- **FAO (2022).** The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO ; ISBN 978-92-5-136364-5.
- **FAO, OMS (2002).** Human Vitamin and Mineral Requirements : Report of a joint FAO/WHO expert consultation Bangkok, Thailand, Rome, Food and Nutrition Division, 286 p, chap. 11 « Calcium », p. 151–172.
- **FAO/OMS (1995).** Evaluation de certains additifs alimentaires et contaminants : quarante-quatrième rapport du Comité mixte FAO/OMS d’experts des additifs alimentaires. OMS série de rapports techniques ; 859
- **FAO/OMS (2010).** Comité mixte d’experts des additifs alimentaires de l’Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture (FAO)/Organisation mondiale de la Santé. Résumé et conclusions des 72Nd Réunion du Comité mixte FAO/OMS d’experts des additifs alimentaires. JECFA/72/Sc, Rome, Italie (2010), p. 1-16. www.who.int/entity/foodsafety/chem/summary72_rev.pdf
- **FAO/WHO (2011).** WHO Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Foods. Available online : <https://www.fao.org/fao-whocodexalimentarius/committees/committee/en/?committee=CCCF>
- **FAO/WHO J (2017).** Standards programme Codex contaminants in foods. J. Chem. Inf. Model. 34, 1–30.
- **Fassel V A, Kniseley R N (1974).** Inductively coupled plasma. Optical emission spectroscopy Anal Chem 46 :1110A – 1120a

- **Fathabad A E (2015).** Evaluation of toxic metals in canned fish market in Tehran, International Journal of Pharma Sciences and Research, vol, 6, no, 5, pp, 818–822.
- **Favier A, Maljournal B (1980).** Molybdène. In : Problèmes actuels de biochimie appliquée. Masson éd., Paris ; 11 ° série : 46-54.
- **Fernandes A C, Medeiros C O, Bernardo G L, Ebone M V, Di Pietro P F, De Assis M A A, Vasconcelos F d A G d (2012).** Benefits and Risks of Fish Consumption for the Human Health. Rev. Nutr. 2012, 25, 283-295.
- **Ferrua N et al., (2007).** On-line preconcentration and determination of mercury in biological and environmental samples by cold vapor- atomic absorption spectrometry. Journal of Hazardous Materials, 2007. 141 (3): p. 693-699.
- **Fewtrell M S, Abbott A R, Kennedy K, Singhal A, Morley R, Caine E, Jamieson C, Cockburn F, Lucas A Lucas (2004).** Essai randomisé en double aveugle portant sur la supplémentation en acides gras polyinsaturés à longue chaîne avec de l'huile de poisson et de l'huile de bourrache chez les nouveau-nés prématurés. Journal Pédiatrie. Volume144. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2004.01.034>
- **Fillion M, Blais J M, Yumvihoze E, Nakajima M, Workman P, Osborne G, Chan H M (2014).** Identification of environmental sources of lead exposure in Nunavut (Canada) using stable isotope analyses. Environment International, 71: 63–73.
- **Fishman D, Donzé, N, Tschudi-Monn F, Augsburger M (2014).** Intoxication au mercure. [https : // web 2. hopitalvs. ch/ fr/ ichv/ Documentation Doc/ 2014-01 Mercure_F.pdf](https://web2.hopitalvs.ch/fr/ichv/DocumentationDoc/2014-01/Mercure_F.pdf)
- **Fontagné D, Médale F (2010).** Les lipides des poissons d'aquaculture et leurs facteurs de variation. OCL 17(4).
- **Food and Nutrition Board (2001).** Institute of Medicine. Molybdenum. In: Dietary Reference Intakes for vitamin A, vitamin K, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. Washington (DC): National Academies Press. p. 420–41.
- **Förstner U, Wittman G (1983).** Metal pollution in the aquatic environment. Berlin, SpringerVerlag.
- **Friberg L, Nordberg GF, Vouk VB (1979).** Handbook on the toxicology of metals. Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam-New York-Oxford.
- **Gady I (2000).** Toxicologie du Cuivre. Application à l'eau de boisson. Thèse de l'Université de Limoges, France, 133p.
- **Gandhi N, Drouillard K G, Arhonditsis G B, Gewurtz S B, Bhavsar S P (2017).** Les avis sur la consommation de poisson dans les Grands Lacs protègent-ils suffisamment contre les mélanges chimiques ? Environ Health Perspect 125 :586-593 ; <https://doi.org/10.1289/EHP104>
- **Gao S, Mostofa M G, Quamruzzaman Q, Rahman M, Sua L, Hsueh Y, Weisskopf M, Coull B, Christiani D (2019).** Gene-environment interaction and maternal arsenic methylation efficiency during pregnancy. Environment International, 125 : 43–50.

- **García M Á, Núñez R, Alonso J, Melgar M J (2016).** Mercure total dans le Thon frais et transformé commercialisé en Galice (nord-ouest de l'Espagne) en relation avec l'exposition alimentaire. *Environ Sci Pollut Res* 23, 24960–24969 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7634-9>
- **Garcia-Leston J, Méndez J, Pa'saro E, Laffon B (2010).** Genotoxic effects of lead : an updated review. *Environ. Int.* 36 :623–636.
- **Gerstenberger S L, Martinson A, Kramer J L (2010).** *Environ Toxicol Chem* 29, 2.
- **Ghaedi M, Shokrollahi A, Kianfar A H, Mirsadeghi A S, Pourfarokhi A, Soylak M (2008).** The determination of some heavy metals in food samples by flame atomic absorption spectrometry after their separation-preconcentration on bis salicyl aldehyde, 1,3 propan diimine (BSPDI) loaded on activated carbon. *J Hazard Mater* ;154 :128–34.
- **Ghaly A E., Ramakrishnan V V., Brooks M S., Budge SM., Dave D (2013).** Fish processing wastes as a potential source of proteins, amino acids and oils: A critical review. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 5(4), 107-129. <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000110>
- **Gillett R (2016).** “Pole-and-Line Tuna Fishing in the World : Status and Trends.” IPNLF Technical Report 6.
- **Girardet J P (2012).** Bénéfices nutritionnels et risques potentiels de la consommation de poisson. *Réalités pédiatriques*. 172 : p. 4.
- **Gómez V, Callao M P (2006).** Chromium determination and speciation since 2000. *Analytical Chemistry*, 25, 1006-1015.
- **Gonoodi K, Moslem A, Darroudi S, Ahmadnezhad M, Mazloun Z, Tayefi M, Zadeh S A T, Eslami S, Shafiee M, Khashayarmanesh Z, et al (2018).** Serum and Dietary Zinc and Copper in Iranian Girls. *Clin. Biochem*, 54, 25–31.
- **González-Estecha M, Martínez-García MJ, Fuentes-Ferrer M, et al (2013).** Mercury in canned tuna in Spain. Is light tuna really light ? *Food and Nutrition Sciences*. DOI: 10.4236/fns.2013.47A007. <https://www.researchgate.net/publication/273986088>
- **Goodale B C, Walter R, Pelsue S R, Thompson W D (2008).** The cytotoxicity and genotoxicity of hexavalent chromium in medaka (*oryzias latipes*) cells. *Aquatic. Toxicol.* 87, 60-67.
- **Goujon M, Majkowski J (2025).** Caractéristiques biologiques du Thon. <https://www.fao.org/fishery/en/16082/en> . FAO. Consulté le 13/01/2025
- **Goullé J-P, Guerbet M (2016).** Recensement des niveaux d'intoxications mortelles par l'arsenic, le chrome, le mercure, le plomb, le thallium. *Doi* : 10.1016/j.toxac. 28, 16–27.
- **Goyer R (2001).** Lead. In: Bingham E., Cohn B., Powell C., editors. *Patty's toxicology*. New-York: John Wiley and Sons, 611–675.
- **Gravel J P, Hall G G, Madras S (1967).** *Éléments de chimie moderne*. Mc Graw –Hill. Editeurs Montréal.

- **Gu J, Lou Y, Zhao G (2014).** Determination and safety evaluation of heavy metals in canned fish from Liaoning province, Asian Journal of Chemistry, vol, 26, no, 3, pp, 915–917.
- **Guillotreau P, Squires D, Sun J, Compean G A (2016).** “Local, Regional and Global Markets: What Drives the Tuna Fisheries?” Reviews in Fish Biology and Fisheries, November. doi :10.1007/s11160-016-9456-8.
- **Guitton J E, Chassot P, Taconet J, Barde L, Floch P, Cauquil, Billet N (2016).** “Atlas Mondial Des Pêcheries Thonières.” UMR MARBEC. http://halieut.agrocampus-ouest.fr/sirs_sardara/index.php?action=fiche&type_code=ME&atl_version=0&idlang=fr.
- **Gunnar F, Nodberg B A, Nodberf FW, Friberg L (2007).** Handbook on the toxicologie of metals. 3eme edition. Academic Press, 1024. ISBN : 978-0123694133.
- **Guo H R, Wang N S, Hu H, Monson R R (2004).** Cell type specificity of lung cancer associated with arsenic ingestion. Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention,13, (4), 638-43.
- **Hamilton A, Lewis A, McCoy M A, Havice E, Campling L (2011).** Market and industry dynamics in the global tuna supply chain. Pac. Is. Forum Fish. Agency, 394 p. (avail. at <https://www.ffa.int/node/567> and accessed 24 Dec. 2016).
- **Harte J., et al (1991).** Toxics A to Z Guide to Everyday Pollution Hazards, U.o.C. Press, Editor. Oxford, England. p. 478.
- **He K, et al (2004).** Fish consumption and incidence of stroke : a meta-analysis of cohort studies. Stroke. 35(7) : p. 1538-42.
- **Herrera-Herrera C, Fuentes-Gandara F, Zambrano-Arévalo A et al (2019).** Risques pour la santé associés à la présence de métaux lourds dans le poisson importé dans une ville côtière de Colombie. Biol Trace Elem Res 190, 526 à 534. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1561-1>
- **Herrmann H, Nolde J, Berger S, Heise S (2016).** Écotoxicité aquatique du lanthane – Examen et tentative de dérivation de critères de qualité de l’eau et des sédiments. Écotoxicologie et sécurité environnementale. Volume 124. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.09.033>
- **Hirose K, et al (2003).** Dietary factors protective against breast cancer in Japanese premenopausal and postmenopausal women. Int J Cancer. 107(2) : p. 276-82.
- **Holick MF, Binkley NC, Bischoff-Ferrari HA, Gordon CM, Hanley DA, Heaney RP, Murad MH, Weaver CM (2011).** Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: an Endocrine Society Clinical Practice Guideline. J Clin Endocrinol Metab ;96 :1911–30.
- **Hong Y S, Song K H, Chung J Y (2014).** Health Effects of Chronic Arsenic Exposure. J. Prev. Med. Public Health, 47, 245–252.
- **Hossain M B, Shanta T, B Ahmed A S S, Hossain M K, Semme S A (2019).** Baseline study of heavy metal contamination in the Sangu River estuary, Chattogram, Bangladesh. Marine Pollution Bulletin, 140 : 255–261.

- **Hosseini M, Nabavi S M B, Nabavi S N, Pour N A (2015).** Heavy metals (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Fe, and Hg) content in four fish commonly consumed in Iran: risk assessment for the consumers. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(5):237.
- **Hosseini S V, Sobhanardakani S, Miandare H K, Harsij M, Regenstien M J (2015).** Determination of toxic (Pb, Cd) and essential (Zn, Mn) metals in canned tuna fish produced in Iran. *J Environ Heal Sci Eng*. DOI 10.1186/s40201-015-0215-x
- <http://www.nutranews.org/>
- **Hu J, Mao Y, White K (2002).** Renal cell carcinoma and occupational exposure to chemicals in Canada. *Occupational Medicine*, 52, 157-64.
- **Huang T L, et al (2005).** Benefits of fatty fish on dementia risk are stronger for those without APOE epsilon4. *Neurology*. 65(9) : p. 1409-14.
- **Ifremer (2001).** L'institut français de recherche entièrement dédié à la connaissance de l'océan.
- **Ikem A, Egiebor N O (2005).** Assessment of trace elements in canned fishes (mackerel, tuna, salmon, sardines and herrings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America). *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(8), 771-787. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.11.002>
- **INERIS (2006).** Base de données FICHES TOXICOLOGIQUES : Arsenic et composés minéraux. Fiche toxicologique n°192. France : INERIS. www.inrs.fr/fichetox.
- **Ineris (2010).** Action substance : chrome hexavalent, n°DRC-09-104007-13140A.
- **INRS (2008).** « Fer et ses composés ». *Cancer environnement*. <https://www.cancer-environnement.fr/>.
- **INRS (2013).** Base de données, Fiche toxicologique (294), Edition 16.
- **INRS (2014).** Fiche toxicologique Mercure et composés minéraux. Institut national de recherche et de sécurité. http://lmfa.ec-lyon.fr/lmfa/lmfa.007/lmfa.007.002/19_Mercure.pdf.
- **INRS (2018).** « Base de données FICHES TOXICOLOGIQUES : Plomb et composés minéraux ». n°59. Fiche toxicologique. France : INRS. www.inrs.fr/fichetox.
- **INRS (2020).** Base de données FICHES TOXICOLOGIQUES. Zinc et composés minéraux. Fiche toxicologique n°75. www.inrs.fr/fichetox
- **INRS (2021).** Base de données FICHES TOXICOLOGIQUES. Nickel et composés. Fiche toxicologique n°68. www.inrs.fr/fichetox
- **INRS (2022).** Base de données FICHES TOXICOLOGIQUES. Cadmium et composés minéraux. Fiche toxicologique n°60. www.inrs.fr/fichetox
- **ISSF (International Seafood Sustainability Foundation) (2019).** Interactive Stock Status Tool (avail. at <https://iss-foundation.org/about-tuna/status-of-the-stocks/interactive-stock-status-tool/> , accessed 26 June 2019).

- **Iwegbue C M A (2015).** Concentrations en métaux dans certaines marques de poisson en conserve au Nigéria : estimation des apports alimentaires et des quotients de danger cibles. *Environ Monit Assess* 187, 85 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4135-5>
- **Iwegbue C M A, Nwajei G E, Arimoro F O, Eguavoen O (2009).** Characteristic levels of heavy metals in canned sardines consumed in Nigeria. *Environmentalist* ;29 :431–5.
- **Jahnen-Dechent W, Ketteler M (2012).** Magnesium Basics. *Clinical Kidney Journal* DOI : 10.1093/ndtplus/sfr163
- **Javed M, Usmani N (2016).** Accumulation of heavy metals and human health risk assessment via the consumption of freshwater fish *Mastacembelus armatus* inhabiting, thermal power plant effluent loaded canal. *Springer Plus*, 5 (1): 776.
- **Jedrychowski W, Jankowski J, Flak E, Skarupa A, Mroz E, Sochacka–Tatara E, Lisowska–Miszczyk I et al (2006).** Effets de l'exposition prénatale au mercure sur les fonctions cognitives et psychomotrices chez les nourrissons d'un an : étude de cohorte épidémiologique en Pologne *Annales d'épidémiologie*. Volume 16. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2005.06.059>
- **Jedrychowski W, Le juge Perera Jankowski F, Rauh V, Flak E, Caldwell K L, et al. (2007).** Consommation de poisson pendant la grossesse, taux de mercure dans le sang de cordon ombilical et développement cognitif et psychomoteur des nourrissons suivis au cours des trois premières années de la vie : étude épidémiologique de Cracovie. *Environnement International*. Volume 33. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.06.001>
- **Jica, Matet, Onned (2008).** Compte rendu du séminaire Conjoint Algérie Japon pour une gestion efficace de l'Environnement. Alger, 102.
- **Jomova K, Valko M (2011).** Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology*., 283, 65–87.
- **JORDP (2011).** Arrêté interministériel du 30 Moharram 1432 correspondant au 5 janvier 2011 fixant les seuils limites de présence de contaminants chimiques, microbiologiques et toxicologiques dans les produits de la pêche et de l'aquaculture. *Journal officiel de la république Algérienne* N° 25/2011.
- **Joseph J, Klawe W, Murphy P (1988).** Thon et marlins - poissons sans pays. 4ième édition, Commission interaméricaine du Thon tropical (éd.), La Jolla, Californie : 69 p.
- **Justel-Rubio, Ana, Victor Restrepo (2015).** “A Snapshot of the Large-Scale Tropical Tuna Purse Seine Fishing Fleets at The Beginning of 2015.” ISSF Technical Report 2015---05. ISSF. <http://issf-foundation.org/download-monitor-demo/download-info/issf-technical-report-2015-05-a-snapshot-of-the-large-scale-tropical-tuna-purse-seine-fishing-fleets-at-the-beginning-of-2015/>.
- **Kabata-Pendias A, Pendias H (2001).** Trace elements in soils and plants. 3rd CRC Press, Boca Raton, London, New-York, Washington D.C.

- **Kaimoussi A, Mouzdahir A, Bakkas S, Chafik A, (1998).** Contribution à l'étude de la pollution métallique de l'estuaire d'Oum ErRbia à Azemmour (Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, (21), 95-102.
- **Karine N, (1996).** Contamination métallique des sédiments des cours d'eau du bassin Artois-Picardie et son impact sur la contamination des chairs et des foies de poissons, mémoire de DEA, hydrologie, hydrogéologie, géostatistiques et géochimie 1995-1996, laboratoire de géologie appliquée. Université PIERRE et MARIE CURIE, PARIS VI. 92.
- **Kawamoto T (2022).** Un défi pour estimer la demande mondiale de Thon en conserve et son impact sur la gestion future des ressources en Thon à l'aide du modèle gamma. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105016>
- **Khan S, Sharma B, Chawla P, Bhatia R (2021).** La spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES) : une technique analytique puissante pour l'analyse élémentaire, publier dans méthodes d'analyse des aliments. DOI :10.1007/s12161-021-02148-4ID du corpus : 240358100
- **Kim E H, Kim I K, Kwon J Y, Kim S W, Park Y W (2006).** The effect of fish consumption on blood mercury levels of pregnant women. Yonsei Med. J. 47 :626–633.
- **Kim J H, Kang J C (2015).** The lead accumulation and hematological findings in juvenile rock fish *Sebastes schlegelii* exposed to the dietary lead (II) concentrations. Ecotoxicology and Environmental Safety, 115: 33–39.
- **Kord A, Hadjari M, Benfares R, Itchir R, Boudjemaa K (2024).** Aperçu sur l'Industrie de Transformation des Productions Halieutiques en Algérie. Rapport de synthèse de l'enquête nationale sur l'état des lieux des industries de transformation des productions halieutiques - Janvier 2024. Maison des universitaires pour l'édition. Décembre 2024
- **Kowalska G, Pankiewicz U, Kowalski R (2020).** Determination of the Level of Selected Elements in Canned Meat and Fish and Risk Assessment for Consumer Health. Journal of Analytical Methods in Chemistry, Doi :10.1155/2020/2148794.
- **Kowalski R, Kowalska G, Baj T (2012).** The risk assessment of mercury poisoning after consuming teas and cereal products,"Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, Sectio DDD: Pharmacia, vol, 25, no, 2, pp, 76–78.
- **Kozic D, Svetel M, Petrovic B, Dragasevic N, Semnic R, Kostic V S (2003).** Imaging of the brain in patients with hepatic form of Wilson's disease. European Journal of Neurology, 10, 587-92.
- **Kris-Etherton P M, Harris W S, Appel L J (2002).** Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. Circulation. 106 : p. 2747-2757.
- **Kumar A, Bajpeyee AK, Yadav CB (2020).** Effects of Dietary vitamin-C on Biochemical and Morphometric parameters of *Labeo rohita*. International Journal of Biological Innovations. 2020 ; 2(2):174-177. <https://doi.org/10.46505/IJBI.2020.2214>.

- **Kumar V, Parihar R D, Sharma A, Bakshi P, Sidhu G P S, Bali A S et al., (2019).** Évaluation mondiale de la teneur en métaux de MT dans les masses d'eau de surface : une méta-analyse utilisant les indices de pollution par les métaux de MT et des analyses statistiques multivariées. Journal : Chimiosphère. Volume 236. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124364>
- **La Rocca B, Houeix N, Andres S (2010).** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Arsenic et ses dérivés iorganiques. INERIS, <http://www.ineris.fr/hml>
- **Landrigan P J, Stegeman J J, Fleming L E, Allemand D, Anderson D M, Backer L C, Brucker-Davis F, Chevalier N, Corra L, Czerucka D et al (2020).** Human Health and Ocean Pollution. Ann. Glob. Health 2020, 86, 151.
- **Lauren D J, Mc Donald D G (1987).** Acclimation to copper by rainbow trout, *Salmo gairdneri* : Physiology.Can. J. Fish Aquat. Sci., 44, 99-104.
- **lavielle M, Layé S (2010).** Acides gras poly-insaturés (omega 3, omega 6) et fonctionnement du système nerveux central. Innovations Agronomiques. 10 : p. 25-42.
- **Le Roux, Shotyk W (2005).** Biogeochemistry and cycling of lead. Met. Ions Biol. Syst. 43:239-275.
- **Lee B K, K D Ahn K D, Lee G S (2000).** A comparaison of different lead biomarkers in their association with lead-related symptoms. International Archives of Occupational and Environmental Health, 73, (5), 298-304.
- **Lefèvre F, Bugeon J (2015).** Quelles exigences de qualités pour les poissons d'élevage et issus de la pêche ? INRA Productions Animales, INRA Editions. 28(2) : p. 119-124 <hal-01225260v2>.
- **Lehmann I, Sack U, Lehmann J (2011).** Metal ions affecting the immune system. Met. Ions Life Sci. 8 :157–185.
- **Lenoir T (2011).** Thèse de Doctorat : Mécanismes de rétention du cuivre dans les sols : Évaluation statistique des approches macroscopiques et spectroscopiques, 267.
- **Liu J-L, Xu X-R, Ding Z-H, Peng J-X, Jin M-H, WangY-S, HongY-G, Yue W-Z (2015).** Heavy metals in wild marine fish from South China Sea: levels, tissue- and species-specific accumulation and potential risk to humans. Ecotoxicology, 24(7-8):1583-92.
- **Llobet J M, et al (2003).** Concentrations of arsenic, cadmium, mercury, and lead in common foods and estimated daily intake by children, adolescents, adults, and seniors of Catalonia, Spain. J Agric Food Chem. 51(3) : p. 838-42.
- **Luczyński J, Paszczyk B, Luczyński M J (2018).** Fish as a bioindicator of heavy metals pollution in aquatic ecosystem of Pluszne Lake, Poland, and risk assessment for consumer's health. Ecotoxicology and Environmental Safety, 153, 60–67.
- **Machate D J, Figueiredo P S, Marcelino G, Guimarães R d C A, Hiane P A, Bogo D, Pinheiro V A Z, De Oliveira L C S, Pott A (2020).** Fatty Acid Diets: Regulation of Gut Microbiota Composition and Obesity and Its Related Metabolic Dysbiosis. Int. J. Mol.Sci. 2020, 21, 4093.

- **Mahalakshmi M, Balakrishnan S, Indira K, Srinivasan M (2012).** Characteristic levels of heavy metals in canned tuna fish. *J Toxicol Env Heal Sci* 4:43–45
- **Manahan S E (2006).** Toksykologia Srodowiska, Aspekty Chemiczne I 'Biochemiczne, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, Poland.
- **Maratray F (1992).** Molybdène et alliages. Les techniques de l'ingénieur, Paris.
- **Martin W, Russell M J (2003).** On the origins of cells: A hypothesis for the evolutionary transitions from abiotic geochemistry to chemoautotrophic prokaryotes, and from prokaryotes to nucleated cells. *Philos Trans R Soc Lond, B, Biol Sci.*, 358, 59–83.
- **Martin-Garin A, Simon O (2004).** Fiche Radionucléide : Cadmium 109 et environnement. Direction de l'environnement et de l'intervention- Service d'étude du comportement des radionucléides dans les écosystèmes IRSN. 14p.
- **MATE (2001).** Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. “ Rapport national sur la diversité biologique marine et côtière”, 50 p.
- **Mc -Laughlin M J, Singh B R (1999).** Cadmium in the sol and plants. Springer science and businesses media. 271 p.
- **McCluney J K, Anderson C M, Anderson J L (2019).** The fishery performance indicators for global tuna fisheries. *Natl. Commun.* 10(1):1641 (doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09466-6>)
- **McGeer J C, Brix K V, Skeaff J M, DeForest D K, Brigham S I, Adams W J, Green A (2003).** "Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentration for metals: implications for hazard assessment of metals in the aquatic environment." *Environm. Toxicol. Chem.* 22(5): 1017-1037.
- **Médale F (2004).** Caractéristiques nutritionnelles des poisons et facteurs de variations 10ème Journée Sciences du Muscle et Technologies des Viandes. p. 87-93.
- **Médale F (2008).** Le poisson : quels enjeux pour sa consommation ? Lettre scientifique de l'Institut Français pour la nutrition. N°130. P20.
- **Mehta R, Templeton D M, O'Brien P J (2006).** Mitochondrial Involvement in Genetically Determined Transition Metal Toxicity: II. Copper Toxicity. *Chem. Biol. Interact.*, 163, 77–85.
- **Mei J, Ma X, Xie J (2019).** Review on Natural Preservatives for Extending Fish Shelf Life. *Foods* 2019, 8, 490.
- **Mertz W (1974).** Newer essential trace elements, chromium, tin, vanadium, nickel and silicon. *Proc. Nutr. Soc.*, 33: 307.
- **Messaoudi M, Benarfa A, Ouakouak H, Begaa S (2022)** Determination of some chemical elements of common spices used by Algerians and possible health risk assessment. *Biol Trace Elem Res* 200:2498–2509.
- **Minczewski J, Marczenko Z, Chemia Analityczna- 1, Podstawy Teoretyczne I Analiza Jakościowa, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa (2001).** Poland.

- **Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques Algérie (2008).** Schema directeur de développement des activités de la pêche et de l'aquaculture horizon 2025. ISBN 978-9947-0-2266-5.
- **Ministère des affaires étrangères (2004).** Carte Algérie grande ville <https://www.carte-algerie.com/carte-algerie-grande-ville.html>
- **Miquel M G (2001).** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (Dir). Rapport Sénat n°261 : 360. 265p. <http://www.senat.fr/rap/100-261/100-2611.pdf>.
- **Mishra (2020).** Significance of fish nutrients for human health. International Journal of Fisheries and Aquatic Research. ISSN : 2456-7248 ; Impact Factor : RJIF 5.44. www.fishjournals.com Volume 5 ; Issue 3; 2020; Page No. 47-49.
- **Miyake, Peter M, Guillotreau P, Jenny Sun C H, Ishimura G (2010).** “Recent Developments in the Tuna Industry- Stocks, Fisheries, Management, Processing, Trade and Markets.” FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER 543. Rome : FAO.
- **Mohamed E M, Fekhaoui M, Abidi A E., Yahyaoui A (2013).** Contamination métallique d'Anguilla anguilla au niveau de l'estuaire de LOUKKOS(Maroc), bulletin de l'institut scientifique, Rabat, section sciences de la vie, (35), 111-118.
- **Mohammadi F, Marti A, Nayebzadeh K, Hosseini S M, Tajdar-oranj B, Jazaeri S (2021).** Effet du lavage, du trempage et du pH en combinaison avec les ultrasons sur le rancissement enzymatique, l'acide phytique, les métaux lourds et les coliformes du son de riz. Chimie alimentaire. Volume 334. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127583>
- **Mol S (2011).** Levels of selected trace metals in canned tuna fish produced in Turkey. J Food Compos Anal 24:66–69
- **MSC (2024).** Marine Stewardship Council. <https://www.msc.org/be/fr-be/comment-agir/especes-de-poissons-populaires-en-belgique/Thon> consultée le 06/12/2024.
- **Müller J, Sigel R K, Lippert B (2000).** Heavy metal mutagenicity: insights from bioinorganic model chemistry. J. Inorg. Biochem. 79 :261–265.
- **Nakib L (2001).** Mise au point d'une technique d'extraction des éléments traces métalliques dans les produits de la mer et leurs dosages par spectrophotométrie d'absorption atomique, mémoire, département des sciences vétérinaires, Université Mentouri de Constantine (Algérie) 118.
- **Narin I, Soylak M, Elci L, Dog˘an M (2000).** Determination of trace metal ions by AAS in natural water samples after preconcentration of pyrocatechol violet complexes on an activated carbon column. Talanta .; 52:1041–6.
- **Ndiaye B (2010).** Etude du profil de la contamination des sédiments marins à Dakar par les métaux lourds : Application au dosage du cuivre, zinc, nickel par la spectrophotométrie UV-visible et du plomb par spectrométrie d'émission atomique. DEA, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 44

- **Neff J M (1997).** Ecotoxicology of Arsenic in the Marine Environment. Environ. Toxicol. Chem. 16, 917–927. <https://doi.org/10.1002/etc.5620160511>
- **Neghli N Nouar A (2014).** Estimation de l'âge des spécimens de Thon rouge (*THUNNUS THYNNUS*) pêchés sur les côtes Algériennes. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 70(1) : 232-240.
- **Nirmala R V, Abinaya R Velpandian V (2019).** Preliminary screening of heavy metal analysis of a siddha poly herbal formulation “siringipaerathi chooranam” through a scientific technique ICP-OES. World Journal of Pharmaceutical Research DOI : 10.20959/wjpr20199-15393. ISSN 2277–7105.
- **NOAA (2015).** National Océanic Atmospheric Administration
- **NOAA (2024).** National océanic and atmospheric administration. <https://oceanservice.noaa.gov/facts/pelagic.html>, consulté le 03/11/2024.
- **Norat T, et al (2005).** Meat, fish, and colorectal cancer risk : the European Prospective Investigation into cancer and nutrition. J Natl Cancer Inst. 97(12) : p. 906-16.
- **Norodom B (2016).** L'arsenic, un poison d'actualité. Diplôme d'Etat de docteur en pharmacie, France, Université de Rouen. 90p.
- **Noureddine E M S, Ouaini R, Matta J, Chebib H, Cladiere M, Camel V (2019).** Simultaneous migration of bisphenol compounds and trace metals in canned vegetable food. Food Chem. 228–238. DOI : 10.1016/j.foodchem.2019.02.116
- **Novotny J A (2011).** Molybdenum nutriture in humans. J Evid Compl Alt Med 2011 ;163 :164–8.
- **Nriagu J O (1978).** The biogeochemistry of lead in the environment; Part A. Ecological cycles. Leads in soils, sediments and major rock types. New york, Elsevier/North-holland Biomedical Press., 15-72.
- **Nyland J F, Wanga S B, Shirley, D L Santos E O, Ventura A M, De Souza J M, Silbergeld E K (2011).** Fetal and maternal immune responses to methyl mercury exposure: A cross-sectional study. Environmental Research, 111(4): 584–589.
- **Oceanic Development, Poseidon Aquatic Resource Management Ltd, et MegaPesca Lda (2005).** “The European Tuna Sector : Economic Situation, Prospects and Analysis of the Impact of the Liberalisation of the Trade.” FPA 12/TUN/05
- **Okyere H, Voegborlo R B, Agorku S E (2015).** Exposition humaine au mercure, au plomb et au cadmium par la consommation de maquereau, de Thon, de pilchard et de sardine en conserve, Chimie alimentaire. Volume 179 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.038>
- **OMS (1991).** Nickel. Environmental Health Criteria, Geneva, 1991.
- **OMS (2017).** Questions-réponses : Campagne de sensibilisation dans le cadre de la semaine d'action internationale pour la prévention de l'intoxication au plomb 22-28 octobre 2017. Organisation Mondiale de Santé, http://origin.who.int/ipcs/lead_campaign/QandAs_2017_fr.pdf.
- **OMS/IPCS (1998).** Environnemental Health Criteria n°200 : copper. World Health Organisation, International Programme on Chemical Safety. www.inchem.org/fullest.htm.

- **Oria M, Harrison M, Stallings VA (2019).** Dietary Reference Intakes (DRIs) : Tolerable Upper Intake Levels, Elements, Food and Nutrition Board, National Academies. Available online : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545442/table/appJ_tab9/ (consulté le 5 mai 2025).
- **Orłowski C, Podstawy Toksykologii, J. K. Piotrowski, Ed.,Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa (2006).** Poland.
- **Ouro-Sama K (2019).** Régime alimentaire et étude écotoxicologique liée aux éléments traces d'un poisson Siluriforme (*Chrysichthys nigrodigitatus*, Lacépède, 1803) du complexe Lac Togo-Lagune d'Aného. Thèse de doctorat de l'Université de Lomé, Lomé, Togo. 256p.
- **Ouro-Sama K, Solitoke H D, Gnandi K, Afiademanyo K M, Bowessidjaou E J (2014).** Assessment and health risks of bioaccumulation of heavy metals in fish species of the Togolese lagoon system. *Vertigo. The electronic journal in the environmental sciences*, 14 (2).
- **Özcan S, Bakirdere S, Ataman O Y (2016).** Speciation of Arsenic in Fish by High-Performance Liquid Chromatography-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Analytical Letters*, 4 (15): 2501-2512.
- **Özyurt G, Sakarya Y, Çağlayan U (2025).** Analyse complète de la teneur en métaux nutritifs et toxiques du Thon en conserve : implications pour la sécurité et la santé des consommateurs. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106893>
- **Pacha J (2009).** Zarys Toksykologii Klinicznej, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiello' nskiego, Krak' ow, Poland.
- **Pacoma AU et Yap-Dejeto L G (2019).** Health risk assessment: total mercury in canned tuna and in yellowfin and frigate tuna caught from Leyte Gulf and Philippine Sea. *Sci Diliman* 31(2):82–88. <https://journals.upd.edu.ph/index.php/sciencediliman/article/view/7136>
- **Palma-Lara I, Martínez-Castillo M, Quintana-Pérez J C, Arellano-Mendoza M G, Tamay-Cach F, Valenzuela-Limón O L, García-Montalvo E A, Hernández-Zavala A (2020).** Arsenic Exposure: A Public Health Problem Leading to Several Cancers. *Regul.Toxicol. Pharmacol*, 110, 104539.
- **Pariselle H (1956).** Cours de chimie (tome 2. Métaux), Masson.
- **Pasricha S R, Low M, Thompson J, Farrell A, De-Regil L M (2014).** Iron Supplementation Benefits Physical Performance in Women of Reproductive Age : A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Nutr.*, 144, 906–914.
- **Pawlaczyk A et al (2020).** *Molecules* 25, 24.
- **Payen P (2007).** Evaluation des risques liés à la consommation des produits de la pêche à pied récréative en Basse-Normandie. Mémoire d'ingénieurs du génie sanitaire de l'école nationale de la santé publique, 57.
- **Pempkowiak J, Sikora A, Biernacka E (1999).** Speciation of heavy metals in marines sediments vs their bioaccumulation by mussels. *Chemosphere*. 39 :313-321.

- **Péré J P (1999).** Techniques spectroscopiques en biochimie analytique : Centre Régionale de Documentation Pédagogique d'Aquitaine. Biologie et technique, 1999: p. 150.
- **Philippe Grandjean P, Weihe P, White R F, Debes F, Araki S, Yokoyama K, Murata K, Sorensen N, Dahl R, Jorgensen FP J (1997).** Déficit cognitif chez les enfants de 7 ans exposés au méthylmercure avant la naissance. Neurotoxicologie et tératologie. Volume 19. [https://doi.org/10.1016/S0892-0362\(97\)00097-4](https://doi.org/10.1016/S0892-0362(97)00097-4)
- **Phillips D J H, Rainbow P S (1994).** Biomonitoring of trace aquatic contaminants. 2nd edition,. Chapman & Hall, London. 378p.
- **Pichard A (2003).** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, plomb et ses dérivés. INERIS, 90.
- **Pichard A (2003).** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, cuivre et ses dérivés. INERIS.
- **Pichard A (2005).** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Zinc et ses dérivés. INERIS.
- **Picot A (2002).** Expert européen de toxicologie. Le trio mercure, plomb, cadmium. Les métaux lourds : de grands toxiques.
- **Pillière F (2007).** Département Etudes et assistance médicales, INRS. Tableaux de maladies professionnelles. Journal Officiel n° 291 du 15 Décembre 2007.
- **Planas O (2021).** Calcium : propriétés physiques et chimiques. <https://energie-nucleaire.net/energie/energie-chimique/element-chimiques/calcium>. Date de Publication : 26 août 2021. Dernière révision : 18 novembre 2024. Consulté le 12/01/2025
- **Plum L M, Rink L, Haase H (2010).** The Essential Toxin: Impact of Zinc on Human Health. Int. J. Environ. Res. Public Health, 7,1342–1365.
- **Popovic A R, Relic D J, Vranic D V, Babic-Milijasevic J A, Pezo L L, Dinovic Stojanovic J M (2018).** Canned sea fish marketed in Serbia: their zinc, copper, and iron levels and contribution to the dietary intake. Arhiv Za Higijenu Rada I Toksikologiju.
- **Pravina P, Sayaji D, Avinash M (2013).** Calcium and its Role in Human Body. International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences ISSN: 2229-3701
- **Qasim B H (2015).** Détermination, spéciation et biodisponibilité des éléments traces métalliques dans les sols contaminés et technosols. Thèse de Doctorat de l'Université d'Orléans. 279p.
- **Rajeshkumar S, Liu Y, Zhang X, Ravikumar B, Bai G, Li X (2018).** Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Taihu Lake in China. Chemosphere, 191 :626-638.
- **Rees M (2010).** Le chat, animal sentinelle en toxicologie ; Etude de deux intoxications majeures : méthylmercure et ciguatera. Thèse de doctorat. Ecole nationale vétérinaire de Lyon, France. 150 p.

- **Rieu D (2012).** Composition des poissons : protéines, lipides, vitamine D, iode.... Arch Pediatr. 19 : p. 36-37.
- **Rodriguez-Mendivil D D, Garcia-Flores E, Temores-Pena J, Toyohiko Wakida F (2019).** Health risk assessment of some heavy metals from canned tuna and fish in Tijuana, Mexico, Health Scope, vol. 8, no. 2, Article ID e78956.
- **Roney N (2005).** Toxicological Profile for Zinc. Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Atlanta, GA, USA.
- **Rucker R B, Parker H E, Rogler J C (1969).** "Effect of copper deficiency on chick bone collagen and selected bone enzymes." Journal of Nutrition, 98, 57-63.
- **RUSSO R, LO VOI A, DE SIMONE A, SERPE F P, ANASTASIO A, PEPE T, CACACE D, SEVERINO L (2012).** Heavy Metals in Canned Tuna from Italian Markets. Journal of Food Protection, doi: 10.4315/0362-028X.JFP-12-346.
- **Sadighara P, Mofid V, Mahmudiono T, Rahmani A, Tajdar-Oranj B, Peiasteh-Roudsari L, Farhangfar A, Moradi M, Fakhri Y (2022).** Concentration of heavy metals in canned tuna fish and probabilistic health risk assessment in Iran. Int J Environ Anal Chem 1–11. [https:// doi. org/ 10.1080/03067319.2022.2045589](https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2045589).
- **Sakamoto M, Tatsuta N, Izumo K, Phan P T, Vu L D, Yamamoto Y, Nakamura M, Nakai K, Murata K (2018).** Health Impacts and Biomarkers of Prenatal Exposure to Methylmercury: Lessons from Minamata, Japan. Toxics, 6(3) : 45.
- **Saley T C (2017).** Introducing the arsr regulated arsenic stimulon. Master of sciences, Land Resources and Environmental Science. Montana state university, Bozeman, Montana, United States. 80 p.
- **Salomon A, Detave M, Fievet A, Ammirati C, Dupont H (2012).** À propos d'un cas d'intoxication volontaire à l'arsenic. Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation, 31, 928–929.
- **Saris N E, Mervaala E, Karppanen H, Khawaja J A, Lewenstam A (2000).** Magnésium. Une mise à jour sur les aspects physiologiques, cliniques et analytiques. Clinica chimica acta ; journal international de chimie clinique. 294(1-2) : 1–26.
- **Schaefer KM, Fuller DW, Block BA (2009).** Vertical movements and habitat utilization of skipjack (*Katsuwonus pelamis*), yellowfin (*Thunnus albacares*), and bigeye (*Thunnus obesus*) tunas in the equatorial eastern Pacific ocean, ascertained through archival tag data. In: Nielsen JL, Arrizabalaga H, Frago N, Hobday A, Lutcavage M, Sibert J (eds) Tagging and tracking of marine animals with electronic devices. Springer, Netherlands, pp 121–144.
- **Schlekat T H, Chandler G T, Shaw T J (2001).** Acute toxicity of five sediment-associated metals, individually and in a mixture, to the estuaries meiobenthic harpacticoid copped. Mar Environ RES, 51: 247-264.

- **Schoenemann H M, Failla M L, Steele N C (1990).** "Consequences of severe copper deficiency are independent of dietary carbohydrate in young pigs." *American Journal of Clinical Nutrition*, 52, 147-154.
- **Schroeder H A, Balassa J J, Tipton I H (1970).** Essential trace metals in man : molybdenum. *J. Chron. Dis* ; 23 : 481-99
- **Schuermann G, Markert B (1998).** *Ecotoxicology, Ecological Fundamentals, Chemical Exposure, and Biological Effects*. John Wiley and Sons Inc. and Spektrum Akademischer Verlag,, 1998: p. 900.
- **Selmi S, Monser L, Sadok S (2008).** The influence of local canning process and storage on pelagic sh from Tunisia: fatty acid profiles and quality indicators. *Journal of Food Processing And Preservation*, 32(3), 443-457
- **Semczuk M, Semczuk-Sikora A (2001).** New data on toxic metal intoxication (Cd, Pb, and Hg in particular) and Mg status during pregnancy. *Med. Sci. Monit.* 7 :332–340.
- **Shankar S, Shanker U, Shikha (2014).** Arsenic Contamination of Groundwater: A Review of Sources, Prevalence, Health Risks, and Strategies for Mitigation. *Sci. World J* , e304524.
- **Shiels HA, Galli GLJ, Block BA (2015).** Cardiac function in an endothermic fish: cellular mechanisms for overcoming acute thermal challenges during diving. *Proc R Soc Lond BBiol Sci* 282 :20141989. doi :10.1098/rspb.2014.1989
- **Silva L F O, Crissien L J T, Milanes C, Carlos H. Sampaio (2020).** A three-dimensional nanoscale study in selected coal mine drainage, *Chemosphere*, Volume 248, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125946>
- **Simal-Gándara J (1999).** Selection of Can Coatings for Different Applications. *Food Rev. Int*, 15, 121–137.
- **Sobhanardakani S, Shahmoradi B, Jahangard A (2017),** Assessment of contents and health risk of aluminum and copper through consumption of commercial fruit juices, *Annals of Military and Health Sciences Research*, vol.15, no. 4, Article ID e68743, 2017.
- **Sobhanardakani, S (2017).** Thon et tilapia commun : évaluation des risques pour la santé de la pollution par les métaux par la consommation de poisson en conserve en Iran. *J Consum Prot Food Saf* 12, 157-163 (2017). <https://doi.org/10.1007/s00003-017-1107-z>
- **Sodango T H, Li X, Jinming Sha J, Bao Z (2018).** Review of the Spatial Distribution, Source and Extent of Heavy Metal Pollution of Soil in China : Impacts and Mitigation Approaches. *Journal of Health & Pollution*, 8 (17): 53-70.
- **Solitoke H D (2019).** Dynamique des populations et bioaccumulation des éléments traces chez un Bivalve (*Crassostrea gasar*, Dautzenberg, 1891) du complexe Lac Zowla- Lagune d'Aného au Sud du Togo. Thèse de doctorat de l'Université de Lomé, Lomé, Togo. 192.

- **Srivastava V, Sarkar A, Singh S, Singh P, de Araujo A S F, Singh R P (2017).** Agroecological Responses of Heavy Metal Pollution with Special Emphasis on Soil Health and Plant Performances. *Front. Environ. Sci.* 2017, 5, 64.
- **Stokinger H E (1981).** The Metals. *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*. New York, John Wiley and Sons, 2, 1749-1769.
- **Storelli M M (2008).** Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls (PCBs) via seafood consumption: estimation of target hazard quotients (THQs) and toxic equivalents (TEQs). *Food Chem Toxicol.* 46(8) : p. 2782-8.
- **Storelli M M, Giacomini-Stuffler R, Storelli A, Marcotrigiano G O (2005).** Accumulation of mercury, cadmium, lead and arsenic in Swordfish and Bluefin tuna from the Mediterranean Sea: A comparative study. *Marine Pollution Bulletin* ;50(9):1004–1007.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.06.041>
- **Sumino K, Hayakawa K, Shibata T, Kitamura S (1975).** Heavy metals in normal Japanese tissues. Amounts of 15 heavy metals in 30 subjects. *Arch Environ Health*, 30, (10),487-494.
- **Szkoda J (2009).** Arsenic in food of animal origin-exposure assessment. *Ochrona ´ Srodowiska I Zasob´ow Naturalnych*, vol. 41, pp. 128–134.
- **Tacon AG, Lemos D, Metian M (2020).** Fish for health: improved nutritional quality of cultured fish for human consumption. *Rev Fish Sci Aquacult.* 28 :449–58. doi: 10.1080/23308249.2020.1762163.
- **Tarley C R T, Coltro W K T, Matsushita M, Souza N E (2001).** Characteristic levels of some heavy metals from Brazilian canned sardines (*Sardinella brasiliensis*). *Journal of Food Composition and Analysis* 14,611–617.
- **Taylor V, Goodale B, Raab A, Schwerdtle T et al (2017).** Exposition humaine à des espèces organiques d'arsenic provenant de fruits de mer. *La science de l'environnement global*. Volume 580.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.113>
- **Tchounwou P B, Patlolla A K, Centeno J A (2003).** Carcinogenic and systemic health effects associated with arsenic exposure a critical review. *Toxicologic Pathology*, 31, (6), 575-88.
- **Teck (2018).** Métal de zinc fiche signalétique (FS). Teck Metals Ltd. 7p.
- **Temmar A (2016).** Synthèse d'un support polypyrrole intercalé dans la bentonite. Applications à l'élimination des métaux lourds (Cr6+, Pb2+, Zn2+,Cd2+). Thèse de doctorat. Université Mohamed Bougara, Boumerdes. 146p.
- **Terbeche R, Gharbi S, Rahli F, Ouadah K, Taleb F, Draou N, Rezini Y, Berrebbah Alioua A (2022).** Heavy metals and aluminium intake from stored canned tomato, sardines and tuna in Algeria. *Journal of Applied and Natural Science*, 14(2), 631 - 639. <https://doi.org/10.31018/jans.v14i2.3435>
- **Terelak H (2000).** Pierwiastki ´ Sladowe (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) W Glebach U´ zytk´ ow Rolnych Polski, Pa´ nstwowa Inspekcja Ochrony ´ Srodowiska, Warszawa, Poland.

- **The Diagram Group (2009).** The Facts on File Chemistry Handbook. New York: Revised Edition. 273 p.
- **Timonen M, *et al* (2004).** Fish consumption and depression : the Northern Finland 1966 birth cohort study. *J Affect Disord.* 82(3) : p. 447-52.
- **Tricot A (1999).** Le cadmium. *Encyclopaedia Universalis*, France.
- **Tuzen M, Soy lak M (2007).** Determination of trace metals in canned fish marketed in Turkey. *Food Chemistry*, vol, 101, no, 4:1378–82.
- **U.S. Food and Nutrition Board (1980).** Recommended daily allowances. 9th rev. edition. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- **Uede K, Furukawa F (2003).** Skin manifestations in acute arsenic poisoning from the Wakayama curry poisoning incident. *British Journal of Dermatology*, 149, (4), 757-762.
- **UNEP (2010).** Final review of scientific information on cadmium.
- **Union Européenne (2006).** « Commission régulation » Règlement N° 1881/2006 de la commission du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. *Journal officiel de l'union Européenne*. vol. 49. L 364, pp 5.
- **United Nations (2025).** The Second World Ocean Assessment. Available online : <https://www.un.org/regularprocess/woa2launch> (consulté 03 mai 2025).
- **Usero J, *et al* (2003).** Heavy metals in fish (*Solea vulgaris*, *Anguilla anguilla* and *Liza aurata*) from salt marshes on the southern Atlantic coast of Spain. *Environ. Int.* 29 : p. 949–956.
- **Uusi-Rasi K, Kärkkäinen M U M, Lamberg-Allardt, C J E (2013).** Calcium intake in health maintenance – a systematic review. *Food & Nutrition Research*, 57(1), 21082. <https://doi.org/10.3402/fnr.v57i0.21082>
- **Uzoekwe S A Aigberua A O (2019).** Heavy Metal Distribution and Assessment of Ecological Risk in Surface Waters and Sediment within the Flow stations in Kolo Creek, Nigeria. *Journal of Chemical Society of Nigeria*, 44(5): 809 -824.
- **Valbonesi p, Profita M, Vasumini I, Fabbri E (2021).** Contaminants préoccupants émergents dans l'eau potable : évaluation de la qualité par combinaison d'analyses chimiques et biologiques. *La science de l'environnement global*. Volume 758, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143624>
- **Venkatraman S Chezhian (2015).** Proximate composition of different fish species collected from Muthupet mangroves. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*; 2(6):420-423.
- **Viala A, Botta A. (2007).** Toxicologie. Lavoisier, 2ème édition. Paris, France. 1122p.
- **Vinot I (2004).** Impact des rejets de cuivre et zinc en milieu aquatique: circulation, spéciation, biodisponibilité, bioaccumulation, transfert et toxicité ». Thèse de Doctorat, de l'Université de Metz, France. 441p
- **Walker C, Hopkin S, Sibly R, Peakall D (1996).** Principles of ecotoxicology. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9781439894224>. 344p.

- **Walker J A (2013).** Le plomb. Ministère de l'Énergie et des Mines du Nouveau Brunswick, Division des minéraux et du pétrole, Profil des commercialisables, N°1,6p. http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/en/pdf/Minerals-Minerales/MCP_10-f.pdf
- **Wang Z, Li Y, Kong F, Li M, Xi M, Yu Z (2021).** Comment les facteurs d'amplification trophique (TMF) et les facteurs de bioamplification (BMF) se comportent-ils sur l'estimation de la bioaccumulation des polluants toxiques dans les réseaux trophiques côtiers et marins. *Revue : Études régionales en sciences de la mer*. Volume 44. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101797>
- **Watanabe T, Kiron V, Satoh S (1997).** Trace minerals in fish nutrition. *Aquaculture* ;151(1–4):185–207. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01503-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01503-7)
- **Weaver CM, Munro P (2019).** Calcium. *Adv Nutr* 2019 ;10 :546–548 ; DOI : <https://doi.org/10.1093/advances/nmy086>.
- **Wedler F C (1993).** Biological significance of manganese in mammalian systems. *Progr in medic chem*, 30, 89-133.
- **Welz B, Sperling M (1999).** Atomic Absorption Spectrometry. <https://doi.org/10.1002/9783527611690.ch8>.
- **Wessling-Resnick, M (2017).** Excess Iron: Considerations Related to Development and Early Growth. *Am. J. Clin. Nutr.*, 106,1600S–1605S.
- **Westberry T, Behrenfeld MJ, Siegel DA, Boss E (2008).** Carbonbased primary productivity modeling with vertically resolved photoacclimation. *Glob Biogeochem Cycles* 22 :GB2024. doi :10.1029/2007GB003078.
- **Wigle D T, Lanphear B P (2005).** Human health risks from low-level environmental exposures : no apparent safety thresholds. *PloS Medicine*, 2, (12), 1232-34.
- **Wolak W, Leboda M, Hubicki Z (1995).** Metale Ciężkie W Środowisku I Ich Analiza, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Chełm, Poland.
- **Wulbold, J C A, et al (2002).** Sensitive determination of mercury in tap water by cloud point extraction pre-concentration and flow injection-cold vapor- inductively coupled plasma optical emission spectroscopy. 57 (2): p. 365-374.
- **Xu J, Bravo A G, Lagerkvist A, Bertilsson S, Sjöblom R, Kumpiene J (2015).** Sources and remediation techniques for mercury contaminated soil. *Environment International*, 74: 42–53.
- **Zahnit W, Smara O, Bechki L et al (2022).** Phytochemical profiling, mineral elements, and biological activities of *Artemisia campestris* L. grown in Algeria. *Horticulturae* 8:914
- **Zarski D, Krejszef S, Horváth Á, Bokor Z, Palińska K, Szentes k, Łuczyńska J, Targońska k, Kupren K (2012).** Dynamics of composition and morphology in oocytes of Eurasian perch, *Perca fluviatilis* L., during induced spawning *Aquaculture*. 364-365 : p. 103-110

- **Zhelyazkov G, Yankovska Stefanova, T, Mineva E, Stratev D, Vashin, I, Dospatliev L, Valkova E, Popova T (2018).** Risk assessment of some heavy metals in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) and veined rapa whelks (*Rapana venosa*) for human health. *Marine Pollution Bulletin*, 128: 197–201.

Annexes

استبيان حول استهلاك التونة المعلبة عند الجزائريين

هذا الاستبيان هو جزء من

من مشروع بحث جامعي حول تقييم استهلاك المواطن الجزائري للتونة المعلبة

نرجو من سيادتكم ان تكرمونا بإجاباتكم على الأسئلة المرفقة

ملاحظة: سيتم التعامل مع الإجابات بسرية

نشكركم على المشاركة مسبقا تحياتي الخالصة



أسئلة اجتماعية ديمغرافية

1. هل أنت؟

Une seule réponse possible.

☐ رجل

☐ امرأة

2. كم عمرك؟

Une seule réponse possible.

☐ أقل من 9 سنوات

☐ ما بين 9-19 سنة

☐ ما بين 19-50 سنة

☐ سنة أو أكثر 50

3. كم وزنك؟ (3)

4. ماهي فنك الاجتماعية المهنية؟ (4)

Une seule réponse possible.

- ☐ طالب
- ☐ موظف
- ☐ متقاعد
- ☐ عامل يومي
- ☐ بدون عمل
- ☐ اخر

5. اين تسكن؟ (5)

Une seule réponse possible.

- ☐ شمال شرق
- ☐ شمال غرب
- ☐ شمال وسط
- ☐ جنوب شرق
- ☐ جنوب غرب

6. بالنسبة للمرأة هل انت امرأة حامل؟ (6)

Une seule réponse possible.

- ☐ نعم
- ☐ لا

7. بالنسبة للمرأة هل انت امرأة مرضعة؟ (7)

Une seule réponse possible.

☐ نعم

☐ لا

أسئلة الاستهلاك

8. هل تستهلك التونة المعلبة؟ (8)

Une seule réponse possible.

☐ نعم

☐ لا

9. إذا لا لماذا؟ (09)

10. هل من شخص اخر في المنزل يستهلك التونة المعلبة؟ (10)

*تستطيع اختيار أكثر من إجابة

Plusieurs réponses possibles.

☐ الزوج (ة)

☐ الأطفال

☐ الوالدين

☐ الاخوة

☐ الجد والجدة

11. (11) ما هو معدل استهلاكك للتونة المعلبة؟

Une seule réponse possible.

- ☐ على الأقل مرة في الأسبوع
- ☐ مرتين أو أكثر في الأسبوع
- ☐ على الأقل مرة في الشهر
- ☐ مرتين أو أكثر في الشهر
- ☐ نادرا
- ☐ لا أستهلك

12. (12) في رأيك لماذا تستهلك التونة المعلبة؟

*تستطيع اختيار أكثر من إجابة

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ غنية بالفيتامينات ب12 و د
- ☐ غنية بالبروتينات والدهن خاصة أوميغا 3
- ☐ سهولة الاستعمال في المطبخ
- ☐ متوفرة في كل وقت
- ☐ تخزينها سهل مما يساعد في حفظها لمدة طويلة
- ☐ ثمنها في متناول الجميع

13. (13) ما هي أنواع التونة المعلبة التي تستهلكها بكثرة؟

*تستطيع اختيار أكثر من إجابة

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ التونة المعلبة بالزيت النباتي
- ☐ التونة المعلبة بزيت الزيتون
- ☐ التونة المعلبة بصلصة الطماطم
- ☐ التونة المعلبة بالصلصة الحارة
- ☐ التونة المعلبة بالمايونيز
- ☐ التونة المعلبة طبيعي

14. (14) عندما شراء التونة المعلبة على ماذا تركّز في اقتنائها ؟

*تستطيع اختيار أكثر من إجابة

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ القوام (تونة مفتتة او كاملة)
- ☐ مكونات التونة المعلبة
- ☐ شكل العلبة اعوجاج مثلا
- ☐ انتفاخ غطاء العلبة
- ☐ وجود صدأ في العلبة
- ☐ تاريخ الإنتاج ونهاية الصلاحية
- ☐ لا اركز على اي شيء

15. (15) عند شراء التونة المعلبة هل تفتني اسم علامة معينة؟

Une seule réponse possible.

- ☐ نعم
- ☐ لا

16. (16) اذكر لنا اسم علامة او عدة علامات قمّت بشرائها ؟

17. (17) كيف تقوم بتخزين المعلبات عند شرائها؟

Une seule réponse possible.

- ☐ في الثلاجة
- ☐ في درجة حرارة الغرفة

18. هل انت راض عن العرض للتونة المعلبة في الجزائر؟ (18)

Une seule réponse possible par ligne.

	غير راض على الإطلاق	نوعا ما راض	راض
الجودة	☐	☐	☐
التنوع	☐	☐	☐
الوفرة	☐	☐	☐
الوسم	☐	☐	☐

19. هل انت راض عن سعر التونة المعلبة المباعة في الأسواق الجزائرية؟ (19)

Une seule réponse possible.

- ☐ ثمن مرتفع
- ☐ ثمن مقبول نوعا ما
- ☐ ثمن منخفض

20. ما رأيك في التونة المعلبة المباعة في الأسواق الجزائرية؟ (20)

Ce contenu n'est ni rédigé, ni cautionné par Google.

Google Forms

Questionnaire sur la consommation de conserves de thon chez les Algériens

Ce questionnaire s'inscrit dans le cadre d'une recherche universitaire portant sur :

L'évaluation de la consommation de thon en conserve par le citoyen algérien

Veuillez répondre aux questions ci-jointes

Note : Les réponses seront traitées de manière confidentielle

Merci de votre participation d'avance, mes sincères salutations



Questions socio-démographique

1. 1) êtes-vous?

Une seule réponse possible.

☐ Homme

☐ Femme

2. **2) quelle âge avez-vous?**

Une seule réponse possible.

- ☐ Moins de 9ans
- ☐ Entre 9-19ans
- ☐ Entre 19-50
- ☐ 50 ans ou plus

3. **3) combien pesez vous?**

4. **4) quelle votre catégorie sociale professionnelle ?**

Une seule réponse possible.

- ☐ Étudiant
- ☐ Employé
- ☐ À la retraite
- ☐ Manoeuvre
- ☐ Sans travail
- ☐ Autre

5. **5) Où habitez-vous ?**

Une seule réponse possible.

- ☐ Nord-est
- ☐ Nord-Ouest
- ☐ Centre-nord
- ☐ Sud est
- ☐ Sud-Ouest

6. **6) Pour la femme, êtes-vous une femme enceinte?**

Une seule réponse possible.

☐ Oui

☐ Non

7. **7) Pour la femme, êtes-vous une femme qui allaite?**

Une seule réponse possible.

☐ Oui

☐ Non

Questions de consommations

8. **8) Consommez-vous du thon en conserve ?**

Une seule réponse possible.

☐ Oui

☐ Non

9. **9) Si non pourquoi ?**

10. **10) Quelqu'un d'autre dans la maison consomme-t-il du thon en ? conserve**

Vous pouvez choisir plus d'une réponse *

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Le mari ou la femme
- ☐ Les enfants
- ☐ Les parents
- ☐ Les frères
- ☐ Grand-mère et grand-père

11. **11) Quelle est votre consommation moyenne de thon en conserve ?**

Une seule réponse possible.

- ☐ Au moins une fois par semaine
- ☐ Deux fois ou plus par semaine
- ☐ Au moins une fois par mois
- ☐ Deux fois ou plus par mois
- ☐ Rarement
- ☐ Ne le consommez jamais

12. **12) A votre avis, pourquoi consommez-vous du thon en conserve ?**

**Vous pouvez choisir plus d'une réponse*

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Riche en vitamines B12 et D
- ☐ Riche en protéines et lipides, notamment Oméga 3
- ☐ Facile à utiliser dans la cuisine
- ☐ Disponible tout le temps
- ☐ Il est facile à stocker, ce qui permet de le conserver longtemps
- ☐ Son prix est abordable

13. **13) Quels les types de thon en conserve consommez-vous le plus ?**

*Vous pouvez choisir plus d'une réponse

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Thon en conserve à l'huile végétale
- ☐ Thon en conserve à l'huile d'olive
- ☐ Thon en conserve à la sauce tomate
- ☐ Thon en conserve avec sauce piquante
- ☐ Thon en conserve avec la mayonnaise
- ☐ Thon en conserve au naturel

14. **14) Lorsque vous achetez du thon en conserve, sur quoi vous concentrez-vous?**

*Vous pouvez choisir plus d'une réponse

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ La texture (thon miette ou entier)
- ☐ Ingrédients de thon en conserve
- ☐ La forme de la boîte, (cabossage)
- ☐ Gonflement du couvercle du boîte
- ☐ Fuite des Liquides sortant de la boîte
- ☐ Présence de la rouille sur la boîte
- ☐ Date de fabrication et péremption
- ☐ Je ne me concentre sur rien

15. **15) Lorsque vous achetez du thon en conserve, achetez-vous une marque spécifique ?**

Une seule réponse possible.

- ☐ Oui
- ☐ Non

16. **16) Citez-nous une marque ou plusieurs marques que vous avez acheté ?**

17. **17) Comment conservez-vous le thon en conserve lorsque vous l'achetez ?**

Une seule réponse possible.

- ☐ Dans le réfrigérateur
- ☐ Dans la température ambiante de la chambre

18. **18) Êtes-vous satisfait de la présentation de conserves de thon en Algérie?**

Une seule réponse possible par ligne.

	Pas satisfait du tout	Plutôt satisfait	Satisfait
La qualité	☐	☐	☐
La variété	☐	☐	☐
La disponibilité	☐	☐	☐
L'étiquetage	☐	☐	☐

19. **19) Êtes-vous satisfait du prix du thon en conserve vendu sur le marché algérien ?**

Une seule réponse possible.

- ☐ Prix élevé
- ☐ Prix tout à fait acceptable
- ☐ Bas prix

20. **20) Que pensez-vous du thon en conserve vendu sur les marchés algériens ?**

Ce contenu n'est ni rédigé, ni cautionné par Google.

Google Forms

**MINISTERE DE LA PECHE
ET DES RESSOURCES HALIEUTIQUES**

**Arrêté interministériel du 30 Moharram 1432
correspondant au 5 janvier 2011 fixant les seuils
limites de présence de contaminants chimiques,
microbiologiques et toxicologiques dans les
produits de la pêche et de l'aquaculture.**

Le ministre de la pêche et des ressources halieutiques,

Le ministre de l'agriculture et du développement rural,

Le ministre du commerce,

Vu le décret présidentiel n° 10-149 du 14 Joumada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 90-12 du 1er janvier 1990, modifié et complété, fixant les attributions du ministre de l'agriculture ;

Vu le décret exécutif n° 90-39 du 30 janvier 1990, modifié et complété, relatif au contrôle de la qualité et à la répression des fraudes, notamment son article 19 ;

Vu le décret exécutif n° 2000-123 du 7 Rabie El Aouel 1421 correspondant au 10 juin 2000 fixant les attributions du ministre de la pêche et des ressources halieutiques ;

Vu le décret exécutif n° 02-453 du 17 Chaoual 1423 correspondant au 21 décembre 2002 fixant les attributions du ministre du commerce ;

Vu le décret exécutif n° 04-189 du 19 Joumada El Oula 1425 correspondant au 7 juillet 2004 fixant les mesures d'hygiène et de salubrité applicables aux produits de la pêche et de l'aquaculture ;

Vu le décret exécutif n° 04-319 du 22 Chaâbane 1425 correspondant au 7 octobre 2004 fixant les principes d'élaboration, d'adoption et de mise en œuvre des mesures sanitaires et phytosanitaires (SPS) ;

Vu l'arrêté du 14 Safar 1415 correspondant au 23 juillet 1994, modifié et complété, relatif aux spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires ;

Vu l'arrêté du 24 Rabie El Aouel 1418 correspondant au 29 juillet 1997, complété, fixant les règles sanitaires régissant la production et la mise sur le marché de mollusques bivalves vivants ;

Vu l'arrêté du 12 Joumada Ethania 1427 correspondant au 8 juillet 2006 rendant obligatoire la méthode de détermination de la teneur de l'azote basique volatil total dans les produits de la pêche ;

Vu l'arrêté du 12 Joumada Ethania 1427 correspondant au 8 juillet 2006, rendant obligatoire la méthode de détermination de la teneur en histamine dans les produits de la pêche par chromatographie liquide haute performance ;

Arrêtent :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 5 du décret exécutif n° 04-189 du 19 Joumada El Oula 1425 correspondant au 7 juillet 2004, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les seuils limites de présence de contaminants chimiques, microbiologiques et toxicologiques dans les produits de la pêche et de l'aquaculture.

Art. 2. — Les seuils limites des contaminants chimiques sont fixés à l'annexe I du présent arrêté.

Art. 3. — Les seuils limites des contaminants toxicologiques des mollusques bivalves vivants sont fixés à l'annexe II du présent arrêté.

Art. 4. — Les seuils limites des contaminants microbiologiques des mollusques bivalves vivants sont fixés à l'annexe III du présent arrêté.

Art. 5. — Le présent arrêté sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 30 Moharram 1432 correspondant au 5 janvier 2011.

Le ministre de la pêche et des ressources halieutiques Le ministre de l'agriculture et du développement rural

Abdellah KHANAFU Rachid BENAÏSSA

Le ministre du commerce

Mustapha BENBADA

ANNEXE I

**SEUILS LIMITES DES CONTAMINANTS
CHIMIQUES**

I - Les seuils limites de l'azote basique volatil total «ABVT» et de l'histamine :

Les valeurs des paramètres de l'ABVT pour les produits de la pêche non transformés sont les suivantes :

— 25 milligrammes d'azote/100 grammes de chair pour les sebastes sp, les helicolenus dactylopterus et les sebastichthys capensis.

— 30 milligrammes d'azote/100 grammes de chair pour les espèces appartenant à la famille des pleuronectidae (à l'exception du flétan : hippoglossus sp) ;

— 35 milligrammes d'azote/100 grammes de chair pour les salmo salar, les espèces appartenant à la famille des merlucciidae et les espèces appartenant à la famille des gadidae.

2 - Les seuils limites de l'histamine :

Le seuil limite de l'histamine des produits transformés finis ci-après mentionnés ne s'applique qu'aux espèces des familles des clupéidae, scombridae, scombrosoxidae, pomatomidae et coryphaenidae :

— bâtonnets, les portions et les filets de poissons surgelés-panés ou enrobés de pâte à frire : ne doivent pas contenir plus de 20 mg d'histamine par 100 g ;

— filets de poissons surgelés : ne doivent pas contenir plus de 20 mg d'histamine par 100 g ;

— blocs surgelés de filets de poissons, de chair de poissons hachée et de mélanges de filets et de chair de poissons hachée : ne doivent pas contenir plus de 20 mg d'histamine par 100 g ;

— poissons éviscérés et non éviscérés surgelés : ne doivent pas contenir plus de 20 mg d'histamine par 100 g ;

— sardine et produits types sardines en conserve préparés à partir de poissons frais ou congelés : ne doivent pas contenir plus de 20 mg d'histamine par 100 g ;

— poissons en conserve : ne doivent pas contenir plus de 20 mg d'histamine par 100 g ;

— thon et bonite en conserve : ne doivent pas contenir plus de 20 mg d'histamine par 100 g.

3 - Les seuils limites des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) :

Produits	Teneurs maximales de benzo (a) pyrène (µg / Kg de poids à l'état frais)
Chair musculaire de poissons fumés et produits de la pêche fumés (1) ; Poissons séchés, salés ou en saumure ; Poissons fumés, même cuits avant ou pendant le fumage ; Crustacés même décortiqués vivants, frais, congelés, séchés, salés ou en saumure ; Crustacés non décortiqués cuits à l'eau ou à la vapeur même congelés, séchés, salés ou en saumure ; Mollusques même séparés de leur coquille, vivants, frais, réfrigérés, congelés, séchés, salés ou en saumure ; Crustacés, mollusques préparés ou conservés.	5,0
Chair musculaire de poissons vivants, de poissons frais, congelés et les filets de poissons et autres chairs de poissons (même hachés), frais ou congelés non fumés.	2,0
Crustacés et céphalopodes non fumés.	5,0
Mollusques bivalves vivants.	10,0

NB : Le benzo (a) pyrène pour lequel des teneurs maximales sont mentionnées est utilisé comme marqueur de la présence et de l'effet des HAP cancérigènes.

(1) chair musculaire de poissons fumés et produits de la pêche fumés à l'exception des mollusques bivalves vivants.

4 - Les seuils limites de plomb, cadmium et mercure

Produits	Teneurs maximales (mg/kg de poids à l'état frais)
1 - Plomb (Pb) :	
1.1 - Chair musculaire de poisson ^{(1) (2)} .	0,3
1.2 - Crustacés, à l'exception de la chair brune de crabe et à l'exception de la tête et de la chair du thorax du homard et des crustacés de grande taille semblables (<i>nephropidae</i> et <i>palinuridae</i>).	0,5
1.3 - Céphalopodes (sans viscères).	1,0
1.4 - Mollusques bivalves vivants.	1,5
2 - Cadmium (Cd) :	
2.1 - Chair musculaire de poissons ^{(1) (2)} .	0,05
2.2 - Chair musculaire des poissons suivants ^{(1) (2)} :	0,10
- Bonite (<i>Sarda sarda</i>)	
- Sar à tête noire (<i>Diplodus vulgaris</i>)	
- Anguille (<i>Anguilla anguilla</i>)	
- Mulet lippu (<i>Mugil labrosus labrosus</i>)	
- Chinchard (<i>Trachurus species</i>)	
- Louveteau (<i>Luvarus imperialis</i>)	
- Sardine (<i>Sardina pilchardus</i>)	
- Sardinops (<i>Sardinops species</i>)	
- Thon (<i>Thunnus species</i> , <i>Euthynnus species</i> , <i>Katsuwonus pelamis</i>)	
- Céteau ou langue d'avocat (<i>Dicologlossa cuneata</i>)	
- Maquereau (<i>Scomber species</i>)	
2.3 - Bonitou (<i>Auxis species</i>)	0,2
2.4 - Chair musculaire d'espadon (<i>Xiphias gladius</i>)	0,3
2.5 - Chair musculaire d'anchois (<i>Engraulis species</i>)	0,3
2.6 - Crustacés, à l'exception de la chair brune de crabe et à l'exception de la tête et de la chair du thorax du homard et des crustacés de grande taille semblables (<i>nephropidae</i> et <i>palinuridae</i>).	0,5
2.7 - Céphalopodes (sans viscères)	1,0
2.8 - Mollusques bivalves vivants (à l'exception des huîtres et des coquilles Saint-Jaques)	1,0
3 - Mercure :	
3.1 - Chair musculaire de poissons ^{(1) (2)} .	0,5
3.2 - Crustacés, à l'exception de la chair brune de crabe et à l'exception de la tête et de la chair du thorax du homard et des crustacés de grande taille semblables (<i>nephropidae</i> et <i>palinuridae</i>).	0,5
3.3 - Chair musculaire des poissons suivants ^{(1) (2)} :	1,0
- Baudroies (<i>Lophius species</i>) ;	
- Loup (<i>Anarhichas lupus</i>) ;	
- Bonite (<i>Sarda sarda</i>) ;	
- Anguille (<i>Anguilla species</i>) ;	

Produits	Teneur maximale (mg / kg de poids à l'état frais)
- Empereur, hoplostète orange ou hoplostète de Méditerranée (<i>Hoplostethus species</i>) ; - Grenadier de roche (<i>Coryphaenoides rupestris</i>) - Flétan (<i>Hippoglossus hippo-glossus</i>) ; - Abadèche du cap (<i>Genypterus capensis</i>) ; - Marlin (<i>Makaira species</i>) ; - Cardine (<i>Lepidorhombus species</i>) ; - Mulet (<i>Mullus species</i>) ; - Rose (<i>Genypterus blacodes</i>) ; - Brochet (<i>Esox lucius</i>) ; - Palomète (<i>Orcynopsis unicolor</i>) ; - Capelan de Méditerranée (<i>Tricopterus minutus</i>) ; - Pailona commun (<i>Centroscyms Coelolepis</i>) ; - Raies (<i>Raja species</i>) ; - Grande sébaste (<i>Sebastes marinus, S. mentella, S. viviparus</i>) ; - Voilier (<i>Istiophorus platypterus</i>) ; - Sabre (<i>Lepidopus caudatus aphanopus carbo</i>) ; - Dorade, pageot (<i>Pagellus species</i>) ; - Requins (toutes espèces) ; - Escolier noir ou stromaté (<i>Lepidocybium flavobrunneum</i>) ; - Rouvet (<i>Ruvettus pretiosus</i>) ; - Escolier serpent (<i>Gempylus serpens</i>) ; - Esturgeon (<i>Acipenser species</i>) ; - Espadon (<i>Xiphias gladius</i>) ; - Thon (<i>Thunnus species, Euthynnus species, Katsuwonus pelamis</i>).	
4 - Méthylmercure ⁽³⁾ :	
4.1 -poissons frais à l'exception des poissons prédateurs cités au niveau du point 4-2.	0,5
4.2 - poissons prédateurs tels que le requin, l'espadon, le thon, le brochet et autres.	1,0

NB : (1) Chair musculaire de poissons vivants, de poissons frais, congelés et les filets de poissons et autres chairs de poissons (même hachés), frais ou congelés.

(2) Lorsque le poisson est consommé entier, la teneur maximale s'applique au poisson entier.

(3) Les limites maximales concernant les méthylmercures dans les poissons frais, transformés et dans les produits à base de ces poissons.



Analysis and Risk Assessment of Essential and Toxic Elements in Algerian Canned Tuna Fish

Fawzia Hanis¹ · Mohammed Messaoudi² · Mohammed Bouamra³ · Si Ameur Abdelhadi¹ · Abdelkader Ouanezar² · Abderrahim Malki² · Fahd Arbaoui² · Rahima Lamouri² · Abdelkarim Brahimi² · Abdelkrim Rebiai⁴ · Wafa Zahnit⁵

Received: 25 May 2023 / Accepted: 16 June 2023

© The Author(s), under exclusive licence to Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2023

Abstract

In Algeria, the data and research on the essential and toxic chemical elements in food are limited and insufficient; therefore, the present study focused on evaluating the essential and toxic elements content in different 11 brands with two types (tomato and oil) of canned tuna fish, consumed in Algeria in 2022, by inductively coupled plasma–optical emission spectrometer (ICP-OES), while mercury (Hg) levels were determined by cold vapor atomic absorption spectrophotometry, as well as estimate the probabilistic risk assessment. The elements in canned tuna fish commercialized for human consumption in Algeria were determined by ICP-OES methods. The results showed that the heavy metal concentration in the samples under study ranged from 49.11 to 289.80 mg.kg⁻¹ (Ca), 0.0045 to 0.2598 mg.kg⁻¹ (Cd), 0.128 to 1.21 mg.kg⁻¹ (Cr), 8.55 to 35.94 mg.kg⁻¹ (Fe), 121.27 to 379.17 mg.kg⁻¹ (Mg), 0.0767 to 1.2928 mg.kg⁻¹ (Mn), 2.10 to 3.95 mg.kg⁻¹ (Mo), and 2.86 to 35.90 mg.kg⁻¹ (Zn), whereas Cu, Pb, Cu, Ni, and As were under limit of detection (LOD), while the toxic elements of mercury (Hg) levels were determined by cold vapor atomic absorption spectrophotometry which showed a content ranged from 0.0186 to 0.0996 mg.kg⁻¹. The levels of mineral elements concentration were close to the minimum recommended by Food and Agriculture Organization (FAO). Obtained data for this investigation can be suitable for Algerian food purposes.

Keywords Canned tuna fish · ICP-OES method · Toxic elements · Food · Algeria · Human health

Introduction

Globally, there has been a considerable demand for food supply recently because of population expansion and a rise in consumers' appetites for a greater variety of meals [1].

Among the foods most demanded are red and white meat, such as fish and other seafood [2], as the latter is quick and easy to cook and one of the traditional folk foods in many parts of the world; it is also recommended as part of a healthy, balanced diet by doctors [3]. According to reports cited by the Food and Agriculture Organization (FAO), the average yearly intake per person was predicted around 20.5 kg throughout the year 2021, while the average consumption of seafood in Africa is less than that [4]. In Algeria, for example, the Ministry of Fisheries and Fishing Products stressed the priority of improving individual consumption to the limits of 6.5 kg of seafood by the year 2025 [5, 6].

Many important minerals found in human food are given special attention by bioinorganic researchers because they are crucial for the development of the human body's growth [7]; these minerals include sodium, calcium, potassium, iron, magnesium, and others, which are regarded as essential and indispensable nutrients when consumed in the right amounts [8, 9]. The food also contains other trace elements, commonly known as heavy metals, such as lead, cadmium,

✉ Mohammed Messaoudi
messaoudi2006@yahoo.fr; m.messaoudi@crnb.dz

¹ Reproduction of Farm's Animals Laboratory, Institute of Veterinary Sciences, University of Tiaret, 14000 Tiaret, Algeria

² Nuclear Research Centre of Birine, P.O. Box 180, 17200 Ain Oussera, Djelfa, Algeria

³ University of Ain Temouchent, 46000 Ain Temouchent, Algeria

⁴ Laboratoire VPRS, University of Hamma Lakhdar, B.P.789, 39000 El-Oued, Algeria

⁵ Laboratory of Valorization and Promotion of Saharan Resources (VPRS), Chemistry Department, Faculty of Mathematics and Science of Matter, University Kasdi Merabah, 30000 Ouargla, Algeria

and mercury, that are contrary to its predecessors, it is known for its harmful effects on human health, as well as some pollutants organic and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) [10, 11], where the toxicity of these elements lies in their accumulation in fish tissues and their transmission through the food chain to humans [12]. According to Storelli et al. [13], the liver, brain, kidneys, and nervous system are some human organs that are impacted by Hg, Cd, and Pb toxicity; another hand the exposure of pregnant women to methyl mercury is dangerous to the fetus and the development of its nervous system, it also has permanent effects on various tissues, including embryonic mutations [14].

The presence and accumulation of these toxic metals and compounds in the tissues of fish and seafood raise the question of their source. Certainly, since the start of the industrial revolution at the beginning of the nineteenth century and up until the present, there has been a noticeably increased release of industrial pollutants in the mouths of valleys and seas, which had direct or indirect effects on human and animal health as well as the environment [15–17].

According to a number of studies and scientific publications, there is growing worry over food quality in many parts of the world, as well as the contamination of foods including vegetables, fruits, and seafood with chemical contaminants and heavy metals. Due to these, the harmful components and constituents in food have been recognized. A lot of studies have been conducted around the world about their toxic effects [18–20].

Fish and seafood have good and high nutritional value due to the presence of huge and sufficient amounts of vitamins, proteins, essential amino acids, omega-3, and essential minerals [21–24]. However, as previously mentioned, fish are indeed exposed to some environmental pollutants from heavy metals existing in the sea as a result of human interference [25–27].

Over the past 10 years, a lot of studies have focused on determining the amounts of heavy and hazardous metals in water and food, especially the evaluation of food supply contamination, including canned foods such as tuna, in order to assure food safety [10, 28, 29].

According to Houssein et al. 2015 [15], the amounts of heavy metals (Pb, Cd) and essential elements (Zn, Mn) in canned tuna produced in Iran are above the FAO/HWO's permissible limits [15]. Lima et al. [21] also evaluated the content of trace elements in canned tuna that was marketed in Brazil in 2021, where the results were higher than the FAO permission. In another study, Ababneh et al. evaluated heavy metals in canned tuna marketed in Jordan in 2012 [30]. It was found that there are a number of samples containing mercury and cadmium that are slightly higher than recommended. The findings of these and other studies indicate that consuming tuna over an extended period may have health harms.

Heavy metals have been detected in various organs and tissues of fish that occupy the highest trophic level in marine ecosystems. These metals subsequently enter the human body through ingestion and undergo metabolic processes [27]. Furthermore, the presence of high levels of heavy metals can result in severe ecological imbalances in the surrounding environment, as evidenced by numerous studies. Anthropogenic activities such as domestic and industrial processes introduce heavy metals into aquatic environments, contaminating these natural systems [9]. Metal pollution in aquatic environments can affect humans; thus, seafood contamination levels must be recognized and controlled [16]. Due to their enduring nature, extended biological half-life, and potential toxicity, heavy metals have the potential to pose a significant threat to human health through the periodic consumption of contaminated food. Certain metals, including arsenic, cadmium, lead, and mercury, can potentially cause mutagenic, teratogenic, or carcinogenic effects, resulting in serious health conditions such as cancer. Furthermore, the presence of this factor may lead to mutagenic, teratogenic, and carcinogenic effects in biological entities [31].

Due to the lack of knowledge regarding the mineral components in canned tuna consumed in Algeria and the substantial correlation between seafood consumption and its health impacts, whether favorable or unfavorable, estimating the quantity of harmful heavy metals as well as essential metals is necessary.

The current study focused to providing for the first time new data of some metal elements such as Cd and Hg in eighteen types of tuna marketed in Algeria (oil and tomatoes) that are present in the local market. In addition, this work is part of a global program to study accurately natural food (food, water, animal tissues, and plants) samples relevant to human health and nutrition, where it is expected that the results obtained in this research will help both doctors and those interested in food.

Experimental

Sampling and Sample Preparation

Fifty-four samples were randomly collected from the eleven most popular brands within two varieties: tomato and oil of canned tuna fish, marketed in Algeria in 2022. After that, groups of at least three samples from each type of canned tuna were homogenized by a food blender using stainless steel cutters (Bergmann HB 2025 Hand blender 1000w, chine). Finally, the samples were stored at -4°C in a chemistry laboratory at the CRNB-Birine, laboratory of PDAPC-CRAPC of Ouargla, and laboratory of Biskra CRAPC.

Chemicals and Reagents

The mineralization (decomposition) of the biological matrix required careful preparation of some reagents as described below. All chemicals used were of analytical grade, and deionized water (18 MΩ cm) was used throughout all experiments. The laboratory tools and glassware were cleaned with acetone and ethanol. Concentrated nitric acid (HNO₃) (37%), hydrochloric acid (HCl) (12 M), technical grade hydrogen per-oxide (H₂O₂), and nitric acid H₂SO₄ (16 M) were used in the digestion procedure. All the organic solvents and other chemicals used in the present study were of analytical grade and were observed from Sigma-Aldrich (Sigma Aldrich, Germany).

Determination of Heavy Metal Content

The mineral element concentrations were determined by both techniques, ICP-OES (Perkin Elmer, USA) and AAS (Analytik Jena, USA). The samples were homogeneously mixed, taken in three replicate samples, and then were analyzed for elemental concentration.

ICP-OES technique spectrometry analysis is used in this experiment to determine the mineral elements. The same samples and standard reference materials were weighing about 2 g with three replicates of samples and standard

were prepared. In this work, the standard solutions for calibration of the elements were analyzed by diluting stock solutions of 1000 mg.L⁻¹. After that, the samples and standards were digestive according to our laboratory protocol (see Fig. 1). After digestion, the samples solution were cooled and filtered through Whatman grade 42 filter. Lastly, the filtrate samples were diluted to 50 mL with de-ionized water, and then were analyzed to determine the mineral element by ICP technique, while for Hg levels were determined by cold vapor atomic absorption spectrophotometry, as well as estimate the probabilistic risk assessment [32, 33]

Calculation for Health Risk due to Metal Contamination

By using Eq. (1), it was possible to determine the estimated daily intake (EDI) of heavy metals.

$$EDI = \frac{C \times IR \times ED \times EF}{BW \times AT} \quad (1)$$

While the model provided (Eq. 2) was used to evaluate the health risk assessment (non-carcinogenic and carcinogenic risk) of heavy metals in tuna fish canned by consumers of adult age.

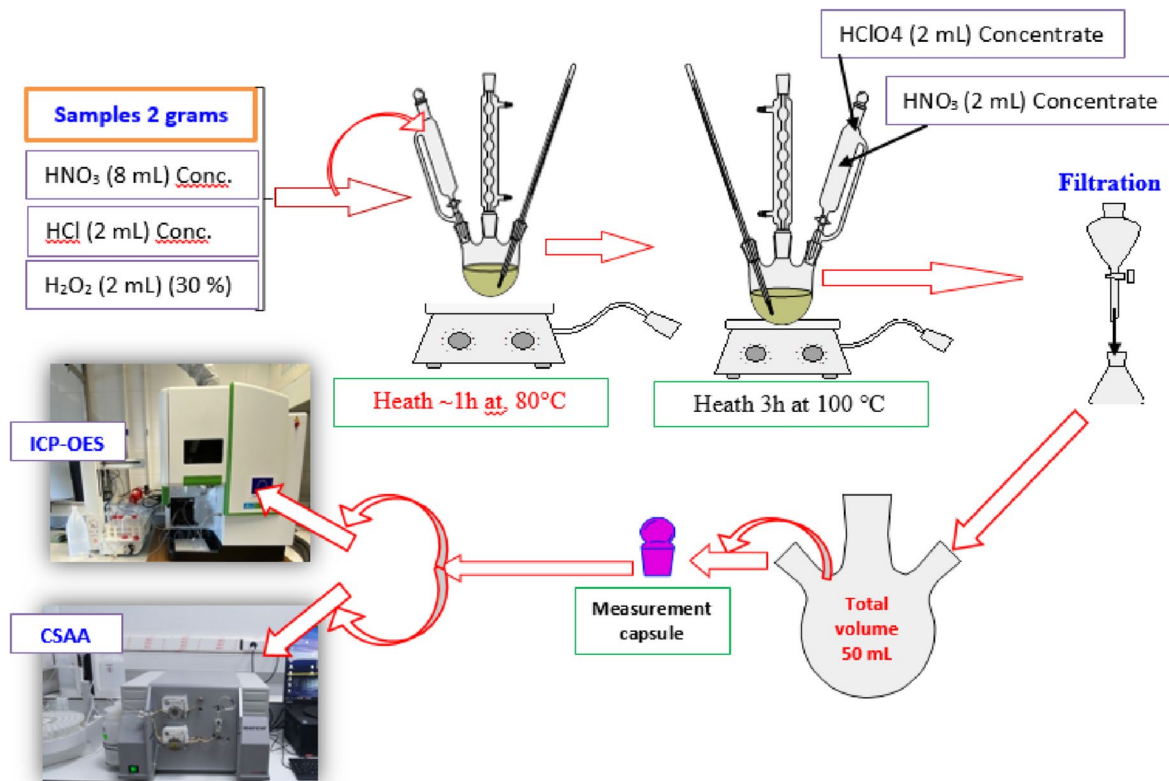


Fig. 1 Protocol of digestion tuna fish samples to analysis by ICP-OES and AAS

$$THQ = \frac{(EF \times ED \times IR \times C)}{(RfD \times BW \times AT)} \quad (2)$$

where

C is concentration of heavy metal (mg.kg^{-1});

IR is the ingestion rate canned tuna fish (kg/person/day) (one can per week weighing 70 g);

ED is duration of exposure (for adults: 30 years);

EF is the exposure frequency (365 days/year) for adults until 70 years;

BW is body weight (for adults: 70 kg);

AT is the average time lifespan (10,950 days).

RfD is oral reference dose (see Table 1).

Using all the element analyses from canned tuna fish samples, the sum of THQ of individual chemical elements (Eq. 3) was calculated the total target hazard quotient (TTHQ).

$$TTHQ = \sum_1^n THQ_i$$

However,

$$TTHQ = THQ_{Hg} + THQ_{Ca} + THQ_{Cd} + THQ_{Cr} + THQ_{Fe} + THQ_{Mg} + THQ_{Mn} + THQ_{Ni} + THQ_{Pb} + THQ_{Zn} + THQ_{As} \quad (3)$$

When THQ or TTHQ was ≥ 1 , consumers are at considerable health risk for heavy metal ingestion, but when THQ or TTHQ < 1 canned tuna consumers are not at considerable health risk [14].

Quality Control and Quality Assurance (QC/QA)

Quality control validation of analyzes is an important step of the quality of results, where in this present study, two standards WEPAL-IPE 172 and WEPAL-IPE 189 were used to assess the quality of the results obtained. The parameters test of Z-score and U-score were determined. They were calculated according to Eqs. (4) and (5). The results are acceptable if Z-score ≤ 3 and satisfactory if U-score ≤ 1 .

$$Z_{\text{score}} = \frac{|X_{\text{Lab}} - X_{\text{Ref}}|}{\mu_{\text{Lab}}} \quad (4)$$

$$U_{\text{score}} = \frac{|X_{\text{Lab}} - X_{\text{Ref}}|}{\sqrt{\mu_{\text{Lab}}^2 + \sigma_{\text{Ref}}^2}} \quad (5)$$

With X_{Lab} , μ_{Lab} , X_{Ref} and σ_{Ref} are the laboratory results, standard deviation, and the recommended and standard uncertainties, respectively [35].

Statistical Analysis

Each experimental analysis was done in triplicate and the results were described as mean $\pm$ SD for each sample. All statistical analysis, by using the statistical package SPSS version

20.0 for Windows (IBM Corp., Armonk, NY, USA), was performed. Significance was accepted at 0.05 level of probability ($p < 0.05$). The difference in metal concentration in canned tuna fish was detected using one-way analysis of variance (ANOVA).

Results and Discussion

Concentration of Trace Elements in Canned Tuna Fish

This study targeted eleven brands of canned tuna manufactured in eight factories in northern (east, west, and central Algeria). All samples were taken during the period 2022 from supermarkets and shops in different cities of Algeria, with two main types of canned tuna in oil and tomato (whole or sliced) from different batches and most common in Algeria.

The results obtained from chemical element concentrations with ICP-OES from these samples in Algeria canned tuna fish are presented in Table 2, which shows Hg, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, and Zn. The mercury concentration varied from 0.0186 to 0.0991 mg.kg^{-1} , while in all samples, cadmium concentrations ranged from 0.0045 to 0.2598 mg.kg^{-1} , whereas chromium contents ranged from 0.1285 to 2.1246 mg.kg^{-1} . Calcium concentrations in canned tuna ranged from 49.11 to 298.80 mg.kg^{-1} , while mean values of other elements ranged from 8.5561 to 55.9432 mg.kg^{-1} for Fe, 121.27 to 379.18 mg.kg^{-1} for Mg, 0.077 to 1.293 mg.kg^{-1} for Mn, 3.10 to 3.95 mg.kg^{-1} for Mo, and 2.86 to 35.90 mg.kg^{-1} for Zn, but the concentrations of Cu, Ni, Pb, and As were below the limit of detection ($< \text{LOD}$) (see Table 2).

Table 1 Values of reference dose (RfD) for Eq. (2) [34]

Chemical element	Hg	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn	As
RfD	0.001	Nd	0.001	0.003	0.04	0.007	Nd	0.14	0.005	0.002	0.0035	0.3	0.0003

Table 2 Chemical elements concentrations (mg.kg^{-1}) in 11 brands of canned tuna fish from collected from Algeria

Sample ID	Hg	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn	As
LOD	0.0061	0.0100	0.0027	0.0070	0.009	0.0046	0.0016	0.0040	0.0079	0.015	0.040	0.0059	0.053
TC1t	0.0507 $\pm$ 0.0096	164.71 $\pm$ 1.4900	0.0884 $\pm$ 0.0125	1.4872 $\pm$ 0.1705	<LOD	12.8705 $\pm$ 0.6091	222.76 $\pm$ 3.233	0.4317 $\pm$ 0.0023	3.8574 $\pm$ 0.3815	<LOD	<LOD	5.7583 $\pm$ 0.1510	<LOD
TC2t	0.0465 $\pm$ 0.0091	113.85 $\pm$ 4.9900	0.0663 $\pm$ 0.0098	0.3603 $\pm$ 0.0263	<LOD	8.5561 $\pm$ 0.4150	154.125 $\pm$ 4.218	0.3332 $\pm$ 0.0143	3.9532 $\pm$ 0.3157	<LOD	<LOD	2.8604 $\pm$ 0.0393	<LOD
TC3t	0.0314 $\pm$ 0.0029	115.38 $\pm$ 0.3700	0.0110 $\pm$ 0.0020	0.5722 $\pm$ 0.0164	<LOD	16.1748 $\pm$ 0.6176	173.810 $\pm$ 2.263	0.4545 $\pm$ 0.1071	3.6660 $\pm$ 0.6962	<LOD	<LOD	3.1917 $\pm$ 0.0214	<LOD
TC4t	0.0991 $\pm$ 0.0068	244.73 $\pm$ 9.8800	0.1721 $\pm$ 0.0254	0.8175 $\pm$ 0.0715	<LOD	20.0940 $\pm$ 0.1852	179.340 $\pm$ 0.597	0.4605 $\pm$ 0.0100	3.5302 $\pm$ 0.2552	<LOD	<LOD	6.0245 $\pm$ 0.0991	<LOD
TC5 o	0.0375 $\pm$ 0.0021	82.0680 $\pm$ 2.5043	0.2598 $\pm$ 0.0508	2.1246 $\pm$ 0.3813	<LOD	16.3880 $\pm$ 0.7745	121.271 $\pm$ 3.024	0.1289 $\pm$ 0.0008	3.4462 $\pm$ 0.0919	<LOD	<LOD	7.4222 $\pm$ 0.1665	<LOD
TC5t	0.0291 $\pm$ 0.0050	261.91 $\pm$ 11.1500	<LOD	1.7891 $\pm$ 0.2609	<LOD	35.9432 $\pm$ 0.3981	185.500 $\pm$ 7.699	1.2928 $\pm$ 0.0611	3.7636 $\pm$ 0.0759	<LOD	<LOD	5.0599 $\pm$ 0.0855	<LOD
TC6o	0.0589 $\pm$ 0.0055	83.903 $\pm$ 0.9010	0.0158 $\pm$ 0.0027	1.0367 $\pm$ 0.0001	<LOD	11.4460 $\pm$ 0.1492	213.627 $\pm$ 0.831	0.0767 $\pm$ 0.0033	3.1144 $\pm$ 0.3080	<LOD	<LOD	14.7862 $\pm$ 0.4246	<LOD
TC6t	0.0317 $\pm$ 0.0011	298.802 $\pm$ 4.9590	0.0287 $\pm$ 0.0021	0.6403 $\pm$ 0.0076	<LOD	17.6073 $\pm$ 0.2472	194.882 $\pm$ 1.957	0.5577 $\pm$ 0.0015	2.5680 $\pm$ 0.2051	<LOD	<LOD	15.7007 $\pm$ 0.1043	<LOD
TC7o	0.0277 $\pm$ 0.0052	105.15 $\pm$ 2.2370	0.0102 $\pm$ 0.0014	1.9638 $\pm$ 0.0056	<LOD	19.3935 $\pm$ 0.0457	197.342 $\pm$ 0.206	0.1890 $\pm$ 0.0006	2.1288 $\pm$ 0.4043	<LOD	<LOD	9.1288 $\pm$ 0.0455	<LOD
TC7t	0.0445 $\pm$ 0.0077	177.3153 $\pm$ 2.3921	0.0063 $\pm$ 0.0011	2.0709 $\pm$ 0.0165	<LOD	24.3103 $\pm$ 0.1133	239.298 $\pm$ 2.738	0.5733 $\pm$ 0.0035	3.1570 $\pm$ 0.3123	<LOD	<LOD	8.2083 $\pm$ 0.0938	<LOD
TC8o	0.0477 $\pm$ 0.0008	59.113 $\pm$ 0.0080	0.0045 $\pm$ 0.0004	1.4954 $\pm$ 0.1470	<LOD	9.2478 $\pm$ 0.0618	190.622 $\pm$ 2.641	0.1187 $\pm$ 0.0010	2.1544 $\pm$ 0.1720	<LOD	<LOD	9.4465 $\pm$ 0.0085	<LOD
TC8t	0.0700 $\pm$ 0.0056	295.91 $\pm$ 6.7470	0.0369 $\pm$ 0.0041	2.0347 $\pm$ 0.0877	<LOD	19.5272 $\pm$ 0.1511	243.655 $\pm$ 1.227	0.5316 $\pm$ 0.0060	3.4598 $\pm$ 1.0030	<LOD	<LOD	14.3555 $\pm$ 0.3121	<LOD
TC9o	0.0883 $\pm$ 0.0141	49.11 $\pm$ 0.7018	0.0049 $\pm$ 0.0002	0.1734 $\pm$ 0.0007	<LOD	8.9292 $\pm$ 0.0900	157.834 $\pm$ 0.340	0.1785 $\pm$ 0.0071	3.7951 $\pm$ 0.2744	<LOD	<LOD	8.7891 $\pm$ 0.0121	<LOD
TC9t	0.0335 $\pm$ 0.0058	165.05 $\pm$ 0.4582	0.0120 $\pm$ 0.0005	0.1450 $\pm$ 0.0007	<LOD	9.9702 $\pm$ 0.0483	173.283 $\pm$ 0.820	0.4428 $\pm$ 0.0030	2.1283 $\pm$ 0.0567	<LOD	<LOD	10.0301 $\pm$ 0.1938	<LOD
TC10o	0.0445 $\pm$ 0.0008	122.18 $\pm$ 0.9292	0.0596 $\pm$ 0.0112	0.1285 $\pm$ 0.0108	<LOD	11.3217 $\pm$ 0.0075	145.799 $\pm$ 1.086	0.2458 $\pm$ 0.0018	3.8970 $\pm$ 0.0786	<LOD	<LOD	35.9042 $\pm$ 0.3616	<LOD
TC10t	0.0229 $\pm$ 0.0042	69.12 $\pm$ 0.4756	0.0101 $\pm$ 0.0020	0.2129 $\pm$ 0.0126	<LOD	16.4909 $\pm$ 0.2363	196.360 $\pm$ 0.637	0.4824 $\pm$ 0.0011	2.1054 $\pm$ 0.2082	<LOD	<LOD	19.3860 $\pm$ 0.2861	<LOD
TC11o	0.0186 $\pm$ 0.0026	160.22 $\pm$ 1.6584	0.0460 $\pm$ 0.0049	1.2134 $\pm$ 0.0125	<LOD	13.0494 $\pm$ 0.2860	379.177 $\pm$ 4.425	0.8195 $\pm$ 0.0066	2.5684 $\pm$ 0.2051	<LOD	<LOD	14.5500 $\pm$ 0.0284	<LOD
TC11t	0.0233 $\pm$ 0.0042	141.89 $\pm$ 4.3600	0.0231 $\pm$ 0.0020	0.5106 $\pm$ 0.0050	<LOD	22.2480 $\pm$ 0.1002	234.847 $\pm$ 1.053	0.6574 $\pm$ 0.0071	3.4156 $\pm$ 0.6486	<LOD	<LOD	14.2402 $\pm$ 0.5693	<LOD
Max	0.0991	298.8025	0.2598	2.1246	-	55.9432	379.1778	1.2928	3.9532	-	-	35.9042	-
Min	0.0186	49.1099	0.0045	0.1285	-	8.5561	121.2711	0.0767	2.1054	-	-	2.8604	-

*LOD, limit of detection

Mercury is a heavy metal of known toxicity. Mercury poisoning or ingestion can have dangerous consequences for the brain system, immunological system, digestive system, lungs, and kidneys, and it may even be lethal, when swallowed. Inorganic mercury salts can poison the kidneys and are damaging to the skin, eyes, and digestive system [36]. The highest amount of mercury in this study was $0.0991 \text{ mg.kg}^{-1}$ in the *TC4t* sample, which is five times higher than the lowest amount of $0.0186 \text{ mg.kg}^{-1}$ recorded in the *TC11o* brand.

Cadmium (Cd) is a naturally occurring metal situated between zinc (Zn) and mercury (Hg) on the Periodic Table, with chemical behavior similar to Zn. Cadmium is a heavy metal that causes direct harm to humans in several forms. Cadmium is considered a carcinogenic agent. When ingested, high amounts of cadmium can cause death, and even exposure to low levels of cadmium in air, food, water, and tobacco smoke over time may lead to a buildup of cadmium in the kidneys, causing kidney disease and osteoporosis. Exposure to cadmium from ingesting contaminated food or water can result in long-term health effects [37, 38]. The high levels of Cd $0.1721 \text{ mg.kg}^{-1}$ and $0.2598 \text{ mg.kg}^{-1}$ were recorded in the canned tuna brand *TC4 t* and *TC5o*, respectively, while very low levels were recorded in brands *TC5t* and *TC8o*. The difference between the highest and lowest level was more than 58 times.

Chromium (Cr) is a naturally occurring element. Chemically, chromium can form what are known as different oxidation states (from chromium II to chromium VI). According to certain research, exposure to some chromium types, particularly chromium hexavalent, can cause an organism or cell to become poisonous [39–41]. This study found the high levels of Cr $2.1246 \text{ mg.kg}^{-1}$ and $2.0709 \text{ mg.kg}^{-1}$ in the *TC5o* and *TC7t* samples, respectively, while low levels were recorded in brands *TC9o* ($0.1734 \text{ mg.kg}^{-1}$) and *TC10o* ($0.1285 \text{ mg.kg}^{-1}$); the greatest and smallest levels varied by more than 17 times.

Due to their negative effects on human health, these elements, lead (Pb) and arsenic (As), are undesirable heavy metals in human food. Due to their amounts being below the ICP spectrometer's low detection threshold for lead (0.040 mg.g^{-1}) and arsenic (0.053 mg.g^{-1}), respectively, this study was unable to distinguish them. In addition, in this investigation, the data presented were measured by propensity ($>$) (Mg, Ca, Fe, Zn, Mo, and Mn). The six essential chemical elements (Ca, Fe, Mg, Mn, Mo, and Zn) were thought to be significant elements that were essential to many human body metabolic processes and their contribution of significance to human health [21]. Cu elements, on the other hand, could not be determined because their quantities were too below the LOD of ICP spectrometer ($0.0097 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Generally, the levels of the various heavy metals measured in the canned tuna consumed in Algeria showed

averages lower than the national regulatory limit thresholds (*Inter-ministerial Decree of January 5, 2011* [42] and European international (Regulation (EU) N° 1881/2006) [43], with the exception of cadmium, which was found in two varieties of canned tuna, *TC4t* ($0.1721 \text{ mg.kg}^{-1}$) and *TC5o* ($0.2598 \text{ mg.kg}^{-1}$); these levels are higher than the thresholds set at 0.10 mg.kg^{-1} by Algerian regulations [42].

An important step in the quality of results is the internal quality and quality control validations of analyses. Two standard reference materials, WEPAL-IPE 172 and WEPAL-IPE 189, were utilized as the standard and as control samples to ascertain the results obtained as well as the reliability and quality control of ICP-OES technique used in this work.

Table 3 gives a comparison of measured values with certified values in the two reference materials IPE 189 and IPE 172 in addition to the statistical test of Z-score and U-score values. The result obtained in this investigation shows that Z-score values ranged from 0.11 to 2.79, and U-score values ranged from 0.11 to 0.98. From these observations, this evaluation shows a good agreement and acceptable quality of the results obtained in this investigation. Based on these findings, this evaluation demonstrates that the findings of this research were of acceptable quality and good agreement.

An important step in the quality of results is the internal quality and quality control validation of analyses. In this study, the ICP-OES method's standard reference materials, WEPAL-IPE 172 and WEPAL-IPE 189, were utilized as the standard and as control samples, respectively.

Health Risk Assessment (Noncarcinogenic Risk)

In order to give crucial knowledge regarding adequate probable nutritional or inadequacies and/or dietary quality of a population, it was thought that investigations into the whole diet are a trustworthy tool. Moreover, canned tuna fish may be a valuable source of nutrients, as well as it contains some potentially harmful chemicals. Assuming an intake of 10 g per day of canned tuna fish, this investigation gives an estimate of the dietary intake values (EDI) per person for both essential and harmful components of different canned tuna fish commercialized in Algeria. These values were then compared to those provided by the World Health Organization WHO/FAO. Table 4 displays the potential chemical element intake and daily chemical element requirements from different canned tuna fish.

The data presented in Table 4 indicates that the levels of Cr and Mo are approximately equivalent to the permissible limits set by the WHO/FAO for adult men and women. Children under 3 are also not advised to consume the suggested amount because it is more than the permissible limit. Based on that, the consumption rate of those canned tuna must be carefully watched and managed to prevent potential toxicity.

Table 3 Comparison of measured certified values of CRM IPE 189 and IPE 172

Elements	Standards (mg/kg)							
	IPE 189	IPE 172						
	Measured values	Certified values	U-score	Z-score	Measured values	Certified values	U-score	Z-score
Ca (mg.kg ⁻¹)	6346.5 ± 30.2	6730 ± 402	0.95	0.95	17,627 ± 2378	17,200 ± 1030	0.16	0.41
Co (µg.kg ⁻¹)	77.5 ± 15.9	78.9 ± 013.2	0.07	0.11	116.33 ± 26.14	106 ± 20.1	0.31	0.51
Cr (mg.kg ⁻¹)	0.919 ± 0.267	1.18 ± 0.228	0.74	1.14	0.5129 ± 0.1189	0.4230 ± 0.1149	0.54	0.78
Fe (mg.kg ⁻¹)	104.4 ± 12.8	110 ± 7.4	0.38	0.76	67.84 ± 6.51	64.4 ± 6.55	0.37	0.53
Zn (mg.kg ⁻¹)	19.12 ± 1.39	20.1 ± 1.32	0.51	0.74	33.21 ± 2.31	31.6 ± 2.19	0.51	0.74
Hg (µg.kg ⁻¹)	10.67 ± 0.88	9.65 ± 0.554	0.98	1.84	28.98 ± 4.51	25 ± 01.99	0.81	2.00
As (µg.kg ⁻¹)	-	nd	-	-	65.768 ± 10.167	57.9 ± 9.32	0.57	0.84
Cd (mg.kg ⁻¹)	-	nd	-	-	0.0861 ± 0.0199	0.0743 ± 0.00735	0.56	1.61
Cu (mg.kg ⁻¹)	12.55 ± 1.66	11.4 ± 0.73	0.63	1.58	4.773 ± 0.6478	5.45 ± 0.495	0.83	1.37
Mg (mg.kg ⁻¹)	2585 ± 465	2650 ± 163	0.13	0.40	2811.2 ± 716.6	2610 ± 160	0.27	1.26
Mn (mg.kg ⁻¹)	1521 ± 213	1430 ± 98	0.39	0.93	122.0 ± 22.0	103 ± 6.8	0.83	2.79
Mo (mg.kg ⁻¹)	0.33 ± 0.08	0.265 ± 0.050	0.72	1.32	0.49 ± 0.08	0.438 ± 0.0504	0.49	0.95
Pb (mg.kg ⁻¹)	-	nd	-	-	0.88 ± 0.09	0.777 ± 0.0614	0.94	1.64

(-): not reported

Therefore, it is crucial to keep an eye on the amounts of Cr and Mo in food stuffs and to take the necessary actions to lower the levels of harmful components in Algerian food stuffs.

Studies on health risk assessment provide a good indication of the likelihood of human exposure to a pollutant. The potential harm to humans from consuming a targeted food contaminated with a particular substance is evaluated using the target hazard quotient (THQ) calculation. In the event that the THQ is lower than 1, the food eaten does not have acute adverse health effects [44].

From Table 5, the THQ of the element Hg had the highest value in the mark TC4t (0.0142 mg.kg⁻¹), while cadmium and chromium had the highest value in the mark TC5o, (0.3710 mg.kg⁻¹ and 0.01012 mg.kg⁻¹), respectively. The THQ value of Fe was higher than other elements, and the highest THQ values of iron and manganese were recorded for them in the TC5t mark (0.7335 and 0.0013), respectively. The greatest THQ for zinc was recorded in the TC10o brand with a value of 0.0021 mg.kg⁻¹, and the highest THQ for molybdenum is in the TC2t brand with a value of 0.1129 mg.kg⁻¹. It should be observed that iron had the highest THQ value out of all the substances analyzed. On the other hand, since all values of THQ ≤ 1 for all elements analyzed, this means that there is no unfavorable probability of the occurrence of effects.

In this study, the greatest TTHQ value was found for TC5t (0.9341), which is three times higher than the lowest value of the examined markers, TC9o (0.2829). However, according to Table 6, all recorded values were less than 1 (≤ 1), which means that there are no risks associated with eating tuna in cans in Algeria.

Comparison with Reported Literature

Zinc is a trace element and mineral that the body requires. It is also crucial for maintaining healthy skin, hair, and nails as well as for boosting immunological defenses [45]. Levels of Zn in canned tuna fish from Lebanon, Turkey, and USA were 7.490 mg.kg⁻¹, 7.490 mg.kg⁻¹, 12.4 mg.kg⁻¹, and 97.8 mg.kg⁻¹, respectively. Our values compared well with those from Turkey but were lower than those reported from the USA (Table 7).

The bioaccumulation of mercury in the seas and oceans, environmental pollution, and mercury thrown from the valleys in the seas are all possible sources of mercury in tuna fish. The great Hg level determined in this investigation in tuna fish samples that was examined to 0.099 mg.kg⁻¹ was low compared to canned tuna fish from Iran (0.79 mg.kg⁻¹) [46], Morocco (0.5243 mg.kg⁻¹) [47], Spain (0.558 6 mg.kg⁻¹) [48], Jordan (0.57 mg.kg⁻¹) [30], and Saudi Arabia (0.86 mg.kg⁻¹) [49]. Moreover, regarding the Hg concentration in canned tuna consumed in Algeria, no higher content was observed and the concentration of all samples was below the permissible limits. According to European Community Regulation (1881/2006) [50], the maximum allowable mercury content in tuna is 1.0 mg.kg⁻¹. Cadmium is an undesired heavy metal element in the food chain. The levels of cadmium concentrations in canned tuna were less than 0.083 mg.kg⁻¹ in each sample from Turkey (0.02 mg.kg⁻¹) [51], Canada (0.025 mg.kg⁻¹) [52], Iran (0.037) [46], USA (0.05 mg.kg⁻¹) [53], Poland (0.0754 mg.kg⁻¹) [54], and Morocco (0.083 mg.kg⁻¹) [47]. While in the samples studied in this work, it reached up to 0.26 mg.kg⁻¹, which was more than three times higher in the samples mentioned previously,

Table 4 Comparison between the dietary intakes of chemical elements from Algeria canned tuna samples with tolerable daily intake EDI

Samples	Hg (µg/d/ pers)	Ca (mg/d/ pers)	Cd (µg/d/ pers)	Cr (µg/d/ pers)	Cu (mg/d/ pers)	Fe (mg/d/ pers)	Mg (mg/d/ pers)	Mn (mg/d/ pers)	Mo (µg/d/ pers)	Ni (mg/d/ pers)	Pb (µg/d/ pers)	Zn (mg/d/ pers)	As (µg/d/ pers)
TC1t	0.5070	1.6472	0.8840	14.8720	-	0.1287	2.2276	0.0043	38.5740	-	-	0.0576	-
TC2t	0.4650	1.1385	0.6630	3.6030	-	0.0856	1.5413	0.0033	39.5320	-	-	0.0286	-
TC3t	0.3140	1.1538	0.1100	5.7220	-	0.1617	1.7381	0.0045	36.6600	-	-	0.0319	-
TC4t	0.9910	2.4473	1.7210	8.1750	-	0.2009	1.7934	0.0046	35.3020	-	-	0.0602	-
TC5o	0.3750	0.8207	2.5980	21.2460	-	0.1639	1.2127	0.0013	34.4620	-	-	0.0742	-
TC5t	0.2910	2.6192	-	17.8910	-	0.3594	1.8550	0.0129	37.6360	-	-	0.0506	-
TC6o	0.5890	0.8390	0.1580	10.3670	-	0.1145	2.1363	0.0008	31.1440	-	-	0.1479	-
TC 6t	0.3170	2.9880	0.2870	6.4030	-	0.1761	1.9488	0.0056	25.6800	-	-	0.1570	-
TC7o	0.0000	1.0515	0.1020	19.6380	-	0.1939	1.9734	0.0019	21.2880	-	-	0.0913	-
TC7t	0.4450	1.7732	0.0630	20.7090	-	0.2431	2.3930	0.0057	31.5700	-	-	0.0821	-
TC8o	0.4770	0.5911	0.0450	14.9540	-	0.0925	1.9062	0.0012	21.5440	-	-	0.0945	-
TC8t	0.7000	2.9591	0.3690	20.3470	-	0.1953	2.4366	0.0053	34.5980	-	-	0.1436	-
TC9o	0.8830	0.4911	0.0490	1.7340	-	0.0893	1.5783	0.0018	37.9510	-	-	0.0879	-
TC9t	0.3350	1.6506	0.1200	1.4500	-	0.0997	1.7328	0.0044	21.2830	-	-	0.1003	-
TC10o	0.4450	1.2219	0.5960	1.2850	-	0.1132	1.4580	0.0025	38.9700	-	-	0.3590	-
TC10t	0.2290	0.6913	0.1010	2.1290	-	0.1649	1.9636	0.0048	21.0540	-	-	0.1939	-
TC11o	0.1860	1.6022	0.4600	12.1340	-	0.1305	3.7918	0.0082	25.6840	-	-	0.1455	-
TC11t	0.2330	1.4190	0.2310	5.1060	-	0.2225	2.3485	0.0066	34.1560	-	-	0.1424	-
TDI* children 1–3 years	-	700	-	11	0.7	7	80	1.2	17	0.2	-	3	-
Men 19–50 years	40	1000	25	35	0.9	8	420	2.3	45	1.0	250	11	150
Women 19–50 years	40	1000	25	25	0.9	18	310	1.6	45	1.0	250	8	150
Pregnant 19–50 years	40	1000	25	30	0.9	27	350	2.0	50	1.0	250	11	150
Lactation 19–50 years	40	1000	25	45	0.9	9	310	2.6	50	1.0	250	12	150

* TDI: tolerable daily intake

-: not determined

Table 5 Target hazard quotient (THQ) values of the elements for consumption to different tuna fish canned marks

Sample Id	Hg	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn	As
TC1 t	0.0072	0.0000	0.0126	0.0708	0.0000	0.2627	0.0000	0.0004	0.1102	0.0000	0.0000	0.0027	0.0000
TC2 t	0.0066	0.0000	0.0095	0.0172	0.0000	0.1746	0.0000	0.0003	0.1129	0.0000	0.0000	0.0014	0.0000
TC3 t	0.0045	0.0000	0.0016	0.0272	0.0000	0.3301	0.0000	0.0005	0.1047	0.0000	0.0000	0.0015	0.0000
TC4 t	0.0142	0.0000	0.0246	0.0389	0.0000	0.4101	0.0000	0.0005	0.1009	0.0000	0.0000	0.0029	0.0000
TC5 o	0.0054	0.0000	0.0371	0.1012	0.0000	0.3344	0.0000	0.0001	0.0985	0.0000	0.0000	0.0035	0.0000
TC5 t	0.0042	0.0000	0.0000	0.0852	0.0000	0.7335	0.0000	0.0013	0.1075	0.0000	0.0000	0.0024	0.0000
TC6 o	0.0084	0.0000	0.0023	0.0494	0.0000	0.2336	0.0000	0.0001	0.0890	0.0000	0.0000	0.0070	0.0000
TC 6 t	0.0045	0.0000	0.0041	0.0305	0.0000	0.3593	0.0000	0.0006	0.0734	0.0000	0.0000	0.0075	0.0000
TC7 o	0.0040	0.0000	0.0015	0.0935	0.0000	0.3958	0.0000	0.0002	0.0608	0.0000	0.0000	0.0043	0.0000
TC7 t	0.0064	0.0000	0.0009	0.0986	0.0000	0.4961	0.0000	0.0006	0.0902	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000
TC8 o	0.0068	0.0000	0.0006	0.0712	0.0000	0.1887	0.0000	0.0001	0.0616	0.0000	0.0000	0.0045	0.0000
TC8 t	0.0100	0.0000	0.0053	0.0969	0.0000	0.3985	0.0000	0.0005	0.0989	0.0000	0.0000	0.0068	0.0000
TC9 o	0.0126	0.0000	0.0007	0.0083	0.0000	0.1822	0.0000	0.0002	0.1084	0.0000	0.0000	0.0042	0.0000
TC9 t	0.0048	0.0000	0.0017	0.0069	0.0000	0.2035	0.0000	0.0005	0.0608	0.0000	0.0000	0.0048	0.0000
TC10 o	0.0064	0.0000	0.0085	0.0061	0.0000	0.2311	0.0000	0.0003	0.1113	0.0000	0.0000	0.0171	0.0000
TC10 t	0.0033	0.0000	0.0014	0.0101	0.0000	0.3365	0.0000	0.0005	0.0602	0.0000	0.0000	0.0092	0.0000
TC11 o	0.0027	0.0000	0.0066	0.0578	0.0000	0.2663	0.0000	0.0008	0.0734	0.0000	0.0000	0.0069	0.0000
TC11 t	0.0033	0.0000	0.0033	0.0243	0.0000	0.4540	0.0000	0.0007	0.0976	0.0000	0.0000	0.0068	0.0000
Max	0.0142	-	0.0371	0.1012	-	0.7335	-	0.0013	0.1129	-	-	0.0171	-
Min	0.0027	-	-	0.0061	-	0.1746	-	0.0001	0.0602	-	-	0.0014	-

Table 6 The total health risk assessment related to the consumption of different tuna fish canned marks

Sample Id	TTHQ
TC1t	0.4667
TC2t	0.3225
TC3t	0.4701
TC4t	0.5920
TC5o	0.5802
TC5t	0.9341
TC6o	0.3897
TC 6t	0.4799
TC7o	0.5601
TC7t	0.6967
TC8o	0.3336
TC8t	0.6169
TC9o	0.3166
TC9t	0.2829
TC10o	0.3807
TC10t	0.4213
TC11o	0.4145
TC11t	0.5900

while it was lower than the levels discovered in Saudi Arabia (0.66 mg.kg⁻¹) and Jordan (0.63 mg.kg⁻¹) [30, 49].

The Pb concentrations in our samples were less than 0.040, which is in good agreement with the studies that have been provided [30, 46, 47, 49, 51–54]; in addition, the Joint Food and

Agriculture Organization/World Health Organization (FAO/WHO) expert council on food additives has recommended that a weekly intake of 3 mg of Pb is tolerable [55].

The study of M. Yabanlı et al. [27] showed that the mean concentration of the studied heavy metals in muscle tissues from the Southeast Aegean Sea (Turkey) did not pose a risk in terms of public health in comparison with the international standards. Moreover, the levels of Pb and Ni in canned foods in Southwest Nigeria were above FAO/WHO recommended limits of 0.01 mg/kg⁻¹ and 0.05 mg.kg⁻¹, respectively [56, 56]. At the same time, the concentration of Pb and Ni in our samples was not detected.

Conclusion

In this investigation, thirteen chemical elements (Hg, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, and Zn) were obtained from 11 various brands of canned tuna consumed in Algeria by using ICP-OES and CSAA technics.

The elements' contents were different from one brand to another of canned tuna. Moreover, except for molybdenum and chromium, which had levels that were somewhat high but within the permitted WHO/FAO tolerable levels, most of the constituents were below the World Health

Table 7 Comparison our data with literature (mg.kg⁻¹)

Country	This data Algeria	Iran [46]	Lebanon [45]	Poland [54]	Philippines [57]	Morocco [47]	Spain [48]	Jordan [30]	Canada [52]	Tukey [51]	Saudi Arabia [49]	USA [53]
Hg	0.0186–0.0991	0.005–0.790	/	0.0369–0.0784	0.07	0.0378–0.5243	0.276–0.558	0.06–0.57	/	/	0.18–0.86	/
Ca	49.11–298	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Cd	0.0045–0.2598	0.01–0.037	/	0.0088–0.0754	/	0.0032–0.0834	/	< 0.01–0.63	0.020–0.025	0.01–0.02	0.08–0.66	0.0–0.05
Cr	0.128–2.125	/	/	0.543–0.719	/	/	/	/	/	/	0.10–0.571	/
Fe	8.556–55.94	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0.0–0.067
Mn	0.077–1.293	/	/	0.137–0.205	/	/	/	/	/	/	/	0.01–2.55
Pb	< 0.040	0.02–0.71	/	0.014–0.296	/	0.0043–0.0856	/	0.004–0.24	0.011–0.089	0.09–0.45	0.14–0.82	0.0–0.03
Zn	2.86–35.9042	/	7.490	/	/	/	/	/	/	8.20–12.4	/	0.14–97.8
As	< 0.053	/	/	0.709–0.963	/	/	/	0.11–1.56	/	/	/	/

(/): not reported

Organization's/Food Organization's permissible levels, indicating that there is no risk to consumers. However, to mitigate risks to human health, it is strongly recommended that potentially harmful elements in food be periodically monitored.

Food quality control, especially seafood including canned tuna fish, is a critical step in protecting consumers from health risks. However, to avoid health risks from harming canned tuna fish consumers, regular monitoring of the concentration of hazardous heavy metals is necessary. On the other hand, in order to align the acceptable limits for hazardous metals with the FDA/WHO standards, we urge strict regulation of trademarks.

Author Contribution Conceptualization: F.H., M.M., M.B., A.S.-A., A.O., A.M., F.A., R.L., A.B., A.R., and W.Z. Methodology: F.H., M.M., A.R., and W.Z. Software: F.H., M.M., M.B., A.S.-A., A.O., A.M., F.A., R.L., A.B., A.R., and W.Z. Validation: F.H., M.M., A.O., and A.M. Formal analysis and investigation: F.H., M.M., A.O., and A.M. Writing—original draft: A.R. Writing—review and editing: M.B., A.S.-A., and A.O. Supervision: A.B. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Data are available in the manuscript.

Declarations

Conflict of Interest The authors declare no competing interests.

References

- Elferink M, Schierhorn F (2016) Global demand for food is rising. Can we meet it. *Harv Bus Rev* 7:2016
- Rose M (2023) Pollutants residues and other contaminants in foods obtained from marine and fresh water. In *Present Knowledge in Food Safety*. Elsevier, pp 128–141. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819470-6.00040-8>
- Li J, Hsieh Y-HP (2004) Traditional Chinese food technology and cuisine. *Asia Pac J Clin Nutr* 13(2):147–155. <https://apjcn.nhri.org.tw/server/APJCN/13/2/147.pdf>
- FAO (2020) The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in Action. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- Akrour S, Grimes SA (2023) South Mediterranean country's demand on available marine biomass: assessment of Algerian fisheries sustainability. *Environ Dev Sustain*. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03102-6>
- Algérie M de la P et des RH Schema directeur de développement des activités de la pêche et de l'aquaculture horizon 2025. http://www.buv.isfad-gn.org/universitaire/6_MPOVPA/04_M%C3%A9decine%20v%C3%A9t%C3%A9rinaire%20et%20production%20animale/002_aquaculture/schema_directeur_peche_FR.pdf
- Kirkby EA (2023) Introduction, definition, and classification of nutrients. In *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*. Elsevier, pp 3–9. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00016-2>
- Kherraz K, Messaoudi M, Benchikha N et al (2023) Determination of essential and toxic elements in Algerian plant *Matricaria chamomilla* L. *Radiochim Acta*. <https://doi.org/10.1515/ract-2022-0103>

9. Aksu Ö, Yabanli M, Can E et al (2012) Comparison of heavy metals bioaccumulation by *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) and *Unio elongatulus eucirrus* (Bourguignat, 1860) from Keban Dam Lake, Turkey. *Fresenius Environ Bull* 21:1942–1947
10. El-Sayed AM, Ali M (2020) Heavy metals content in canned tuna fish marketed in Assiut City, Egypt and its related human health risk assessment. *Assiut Vet Med J* 66:1–20
11. Liu Q, Wu P, Zhou P, Luo P (2023) Levels and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils and frying oils by using the margin of exposure (MOE) and the incremental lifetime cancer risk (ILCR) approach in China. *Foods* 12:811
12. Aytekin T, Kargin D, Çoğun HY et al (2019) Accumulation and health risk assessment of heavy metals in tissues of the shrimp and fish species from the Yumurtalik coast of Iskenderun Gulf, Turkey *Heliyon* 5:e02131
13. Storelli MM (2008) Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls (PCBs) via seafood consumption: estimation of target hazard quotients (THQs) and toxic equivalents (TEQs). *Food Chem Toxicol* 46:2782–2788
14. Fathabad AE, Shariatifar N, Moazzen M et al (2018) Determination of heavy metal content of processed fruit products from Tehran's market using ICP-OES: a risk assessment study. *Food Chem Toxicol* 115:436–446
15. Hosseini SV, Sobhanardakani S, Miandare HK et al (2015) Determination of toxic (Pb, Cd) and essential (Zn, Mn) metals in canned tuna fish produced in Iran. *J Environ Heal Sci Eng* 13:1–6
16. Yabanli M, Katalay S, Yozukmaz A, İnanan BE (2015) Comparative study of heavy metals and selenium accumulation in the digestive gland and gills of *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) caught in Izmir Bay (Turkey)/İzmir Körfezi'nden (Türkiye) yakalanan *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819)'un sind. *Turkish J Biochem* 40:140–148
17. Herrera-Herrera C, Fuentes-Gandara F, Zambrano-Arévalo A et al (2019) Health risks associated with heavy metals in imported fish in a coastal city in Colombia. *Biol Trace Elem Res* 190:526–534
18. Magkos F, Arvaniti F, Zampelas A (2006) Organic food: buying more safety or just peace of mind? A critical review of the literature. *Crit Rev Food Sci Nutr* 46:23–56
19. Makedonski L, Peycheva K, Stancheva M (2017) Determination of heavy metals in selected black sea fish species. *Food Control* 72:313–318
20. Messaoudi M, Begaa S, Benarfa A et al (2020) Radiochemical separation by liquid-liquid extraction for the determination of selenium in *Mentha pulegium* L: toxicity monitoring and health study. *Appl Radiat Isot* 159:109099. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2020.109099>
21. de Lima NV, Granja Arakaki D, de Melo ESP et al (2021) Assessment of trace elements supply in canned tuna fish commercialized for human consumption in Brazil. *Int J Environ Res Public Health* 18:12002
22. Mei J, Ma X, Xie J (2019) Review on natural preservatives for extending fish shelf life. *Foods* 8:490
23. Machate DJ, Figueiredo PS, Marcelino G et al (2020) Fatty acid diets: regulation of gut microbiota composition and obesity and its related metabolic dysbiosis. *Int J Mol Sci* 21:4093
24. Yabanli M, Şener İ, Yozukmaz A et al (2021) Heavy metals in processed seafood products from Turkey: risk assessment for the consumers. *Environ Sci Pollut Res* 28:53171–53180
25. Steinhäusen SL, Agyeman N, Turrero P et al (2022) Heavy metals in fish nearby electronic waste may threaten consumer's health. Examples from Accra, Ghana. *Mar Pollut Bull* 175:113162
26. Rakib MRJ, Rahman MA, Onyena AP et al (2022) A comprehensive review of heavy metal pollution in the coastal areas of Bangladesh: abundance, bioaccumulation, health implications, and challenges. *Environ Sci Pollut Res* 29:67532–67558
27. Yabanli M, Alparslan Y, Hasanahocaglu Yapici H, et al (2016) Determination of heavy metal content in commercial marine fish hunted From Southeast Aegean Sea (Turkey) and their potential risk for public health. 14(1):1–13. <https://hdl.handle.net/1834/10510>
28. Tuzen M, Soylak M (2007) Determination of trace metals in canned fish marketed in Turkey. *Food Chem* 101:1378–1382
29. Storelli MM, Barone G, Cuttone G et al (2010) Occurrence of toxic metals (Hg, Cd and Pb) in fresh and canned tuna: public health implications. *Food Chem Toxicol* 48:3167–3170
30. Ababneh FA, Al-Momani IF (2013) Levels of mercury, cadmium, lead and other selected elements in canned tuna fish commercialised in Jordan. *Int J Environ Anal Chem* 93:755–766
31. Bonsignore M, Manta DS, Mirto S et al (2018) Bioaccumulation of heavy metals in fish, crustaceans, molluscs and echinoderms from the Tuscany coast. *Ecotoxicol Environ Saf* 162:554–562
32. Fassel VA, Kniseley RN (1974) Inductively coupled plasma. Optical emission spectroscopy *Anal Chem* 46:1110A – 1120a
33. Zahnit W, Smara O, Bechki L et al (2022) Phytochemical profiling, mineral elements, and biological activities of *Artemisia campestris* L. grown in Algeria. *Horticulturae* 8:914
34. Mistretta P, Durkin PR (2006) Human health and ecological risk assessment brandon generating station: licence review. https://www.gov.mb.ca/sd/eal/registries/3252mbhydro/vol_1_2_3/vol3_appendix_n.pdf
35. Messaoudi M, Benarfa A, Ouakouak H, Begaa S (2022) Determination of some chemical elements of common spices used by algerians and possible health risk assessment. *Biol Trace Elem Res* 200:2498–2509
36. Bernhoft RA (2012) Mercury toxicity and treatment: a review of the literature. *J Environ Public Health* 2012:1–10. <https://doi.org/10.1155/2012/460508>
37. Bernhoft RA (2013) Cadmium toxicity and treatment. *Sci World J* 2013:1. <https://doi.org/10.1155/2013/394652>
38. Koons AL, Rajasurya V (2019) Cadmium toxicity In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); 2022. <https://eupmc.org/article/NBK/nbk536966>
39. Shekhawat K, Chatterjee S, Joshi B (2015) Chromium toxicity and its health hazards. *Int J Adv Res* 3:167–172
40. Saha R, Nandi R, Saha B (2011) Sources and toxicity of hexavalent chromium. *J Coord Chem* 64:1782–1806
41. Aslam S, Yousafzai AM (2017) Chromium toxicity in fish: a review article. *J Entomol Zool Stud* 5:1483–1488
42. Journal officiel n° 25, 27 avril 2011, Regulation: LEX-FAOC106236. 23–28. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/alg106236.pdf>
43. Amiard J-C, Amiard-Triquet C, Charbonnier L et al (2008) Bioaccessibility of essential and non-essential metals in commercial shellfish from Western Europe and Asia. *Food Chem Toxicol* 46:2010–2022
44. Djedjibegovic J, Marjanovic A, Tahirovic D et al (2020) Heavy metals in commercial fish and seafood products and risk assessment in adult population in Bosnia and Herzegovina. *Sci Rep* 10:13238
45. Al Ghouli L, Abiad MG, Jammoul A et al (2020) Zinc, aluminium, tin and Bis-phenol a in canned tuna fish commercialized in Lebanon and its human health risk assessment. *Heliyon* 6:e04995
46. Sadighara P, Mofid V, Mahmudiono T et al (2022) Concentration of heavy metals in canned tuna fish and probabilistic health risk assessment in Iran. *Int J Environ Anal Chem* 1–11. <https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2045589>
47. Chahid A, Mustapha H, Abdeljalil B, Taoufiq B (2015) Heavy metals content of canned tuna fish: estimated weekly intake. *Moroccan J Chem* 3:1–3
48. González-Estecha M, Martínez-García MJ, Fuentes-Ferrer M, et al (2013) Mercury in canned tuna in Spain. Is light tuna really

- light?. Food and Nutrition Sciences. 4(7):1–7. https://www.scirp.org/html/7-2700771_33996.htm
49. Ashraf W (2006) Levels of selected heavy metals in tuna fish. Arab J Sci Eng 31:89
 50. Miedico O, Pompa C, Moscatelli S et al (2020) Lead, cadmium and mercury in canned and unprocessed tuna: six-years monitoring survey, comparison with previous studies and recommended tolerable limits. J Food Compos Anal 94:103638
 51. Mol S (2011) Levels of selected trace metals in canned tuna fish produced in Turkey. J Food Compos Anal 24:66–69
 52. Mahalakshmi M, Balakrishnan S, Indira K, Srinivasan M (2012) Characteristic levels of heavy metals in canned tuna fish. J Toxicol Env Heal Sci 4:43–45
 53. Ikem A, Egiebor NO (2005) Assessment of trace elements in canned fishes (mackerel, tuna, salmon, sardines and herrings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America). J food Compos Anal 18:771–787
 54. Kowalska G, Pankiewicz U, Kowalski R (2020) Determination of the level of selected elements in canned meat and fish and risk assessment for consumer health. J Anal Methods Chem. Volume 2020. Article ID 2148794:1–13. <https://doi.org/10.1155/2020/2148794>
 55. Ashraf W, Seddigi Z, Abulkibash A, Khalid M (2006) Levels of selected metals in canned fish consumed in Kingdom of Saudi Arabia. Environ Monit Assess 117:271–279
 56. Ojezele OJ, Okparaocha FJ, Oyeleke PO, Agboola HI (2021) Quantification of some metals in commonly consumed canned foods in south-west Nigeria: probable pointer to metal toxicity. J Appl Sci Environ Manag 25:1519–1525
 57. Pacoma AU (2019) Health risk assessment: total mercury in canned tuna and in yellowfin and frigate tuna caught from Leyte Gulf and Philippine Sea. Sci Diliman 31(2):82–88. <https://journals.upd.edu.ph/index.php/sciencediliman/article/view/7136>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Springer Nature or its licensor (e.g. a society or other partner) holds exclusive rights to this article under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s); author self-archiving of the accepted manuscript version of this article is solely governed by the terms of such publishing agreement and applicable law.