



Licence Sciences et Techniques (LST)
Technique d'Analyse et Contrôle de Qualité
« TACQ »

PROJET DE FIN D'ETUDES

**Evaluation des éléments traces métalliques (ETM)
Plomb et Cadmium dans certains produits marins**

Présenté par :

◆ Kaoutar ZIH

Encadré par :

◆ Dr. CHARBOUB Fatima (ONSSA, Agadir)

◆ Pr. KHALIL Fouad (FST, Fès)

Soutenu, Le 08/07/2021 devant le jury composé de :

◆ Dr. CHARBOUB Fatima (ONSSA, Agadir)

◆ Pr. KHALIL Fouad (FST, Fès)

◆ Pr. LHASSANI Abdelhadi (FST, Fès)

◆ Pr. HAOUDI Amal (FST, Fès)

Stage effectué à l'Office National de Sécurité Sanitaire des produits Alimentaires, Agadir.

Année Universitaire 2020 / 2021

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu, notre créateur de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail.

Je souhaite remercier mon encadrante DR. CHARBOUB Fatima d'avoir bien voulu m'encadrer et me proposer un sujet d'actualité. Mes remerciements s'adressent aussi à mon encadrant "Pr. Khalil Fouad " pour ses conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail, aux membres de jury "Pr. Haoudi amal ", "Pr. Lhassani abdelhadi ", "Pr. Khalil Fouad " d'avoir lu les pages de mon manuscrit et pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de siéger à cette soutenance, c'est avec un grand honneur que je recueille leurs précieuses remarques. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma petite famille, qui m'a toujours soutenue.

J'adresse mes sincères reconnaissances pour tous mes enseignants pour le temps qu'ils ont consacré pour m'aider à accomplir ce modeste travail.

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes amis et pour tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce rapport et à l'accomplissement de ce projet.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Toute ma famille

Mes encadrants

Tous mes collègues et amis

Tous mes professeurs qui m'ont encadré tout au long de mon

cursus universitaire

Merci

Liste des abréviations

AFNOR	:	Association Française de Normalisation
Cd	:	Cadmium
CE	:	Commission européenne
CV-AAS	:	La spectrométrie d'absorption atomique à vapeurs froides
CV-AFS	:	La spectrométrie de fluorescence atomique par vapeurs froides
EILA	:	Echantillon Inter-laboratoire d'Aptitude
EMA	:	Ecart maximal acceptable
ETM	:	Élément en traces métalliques
ICP-AES	:	Spectrométrie d'émission atomique par plasma à couplage inductif. (Plasma Haute Fréquence)
ICP-MS	:	Spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif (Plasma à Haute Fréquence)
ISO	:	Organisation Internationale de Normalisation « <i>International Organization for Standardization</i> »
LD	:	Limite de détection
LQ	:	Limite de quantification
LRARA	:	Laboratoire régional des analyses et recherches d'Agadir
ML	:	Métaux lourds
ND	:	Non détecter
NF	:	Norme françaises
OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé.
ONSSA	:	Office national de sécurité sanitaire
Pb	:	Plomb
PE	:	Prise d'essai
Ppb	:	µg/kg
Ppm	:	Mg/kg
SAA	:	Spectrométrie d'Absorption Atomique
SAA-F	:	Spectrométrie d'Absorption Atomique à Flamme
SAA-FG	:	Spectrométrie d'Absorption Atomique à Four Graphite

Liste des Figures et Tableaux

<i>Figure 1 : Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires (ONSSA).</i>	3
<i>Figure 2 : Organigramme de LRARA.</i>	4
<i>Figure 3 : Cycle géochimique simplifié des métaux lourds .</i>	10
<i>Figure 4 : La répartition des métaux dans le corps humain.</i>	14
<i>Figure 5 : Schéma de base d'un appareil de spectrométrie d'absorption atomique.</i>	17
<i>Figure 6 : Lampe à cathode creuse.</i>	17
<i>Figure 7 : Schéma d'un atomiseur électrothermique.</i>	18
<i>Figure 8 : Four à micro-ondes pour la digestion des échantillons.</i>	19
<i>Figure 9 : Spectrophotomètre d'absorption atomique four à graphite.</i>	20
<i>Figure 10 : Maquereau</i>	23
<i>Figure 11 : Penaeus monodon.</i>	24
<i>Figure 12 : Loligo vulgaris.</i>	25
<i>Figure 13 : Teneurs moyenne en ETM dans les matrices étudiées.</i>	26
<i>Figure 14 : Concentration en Pb dans les régions étudiées.</i>	29
<i>Figure 15 : Concentration en Pb dans les régions étudiées.</i>	30
<i>Tableau 1 : Teneurs moyenne en ETM dans les matrices étudiées.</i>	26
<i>Tableau 2 : Teneur maximal en Plomb et Cadmium.</i>	28

Sommaire

Dédicaces	3
Introduction.....	1
Chapitre I. Présentation de l'Office national de Sécurité sanitaire des produits alimentaires ..	2
I. Présentation de l'office :.....	3
II. Organigramme du laboratoire régional d'Analyses et de Recherches Agadir	4
II.1. Généralités sur le laboratoire régional d'Analyses et de Recherches Agadir.....	4
II.2. Activités du laboratoire par section :.....	4
II.2.1. Section santé animale :	5
II.2.2. Section santé végétale :	5
II.2.3. Section hygiène alimentaire :	5
Chapitre II. Etude bibliographique et généralités	7
I. Les éléments traces métalliques dans l'environnement aquatique :	8
II. Généralités sur les métaux lourds :	8
II.1. Définition des métaux lourds :	8
II.2. Classification des métaux lourds :	9
II.2.1. Métaux essentiels :	9
II.2.2. Métaux non essentiels (toxiques) :	9
II.3. Origine des métaux lourds :	9
II.3.1. Sources naturelles :	9
II.3.2. Sources anthropiques :	10
III. Le cadmium :	10
III.1. Généralités et Sources :	10
III.2. Utilisation et toxicité :	11
IV. Le Plomb :	11
IV.1. Généralités et sources :	11
IV.2. Utilisation et toxicité :	12
V. Accumulation des ETM par les organismes marins :	12
V.1. Définition :	12
V.2. Effets des ETM sur la santé humaine :	13
Chapitre III. Méthodologie et techniques expérimentales	15
I. Méthode et technique expérimentale utilisée :.....	16

I.1.	Spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA-FG) :.....	16
I.1.1.	Principe &Aspect théorique de la SAA-FG :.....	16
I.1.2.	Eléments constitutifs d'une SAA :.....	17
I.2.	Technique analytique de dosage du Pb et Cd par SAA-FG :.....	18
I.2.1.	Principe :	18
I.2.2.	Produits et réactifs :.....	19
I.2.3.	Appareillage :.....	19
II.	Préparation des échantillons :	20
II.1.	Minéralisation :	20
II.2.	Analyse des essais :	21
Chapitre IV.	Résultats et interprétation	22
I.	Espèces étudiées :.....	23
I.1.	Maquereau :.....	23
I.2.	Crustacés : Crevette	24
I.3.	Céphalopodes : Calamar.....	25
II.	Teneurs en ETM de quelque produit de la pêche débarquées dans la zone sud du Maroc :	25
II.1.	Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les espèces marins :.....	25
II.2.	Concentration des métaux lourds dans trois espèces différentes	28
II.2.1.	Nomes et exigences :	28
Conclusion	31
Références	32

Introduction

Au Maroc, le problème de la pollution de l'environnement reste toujours d'actualité car de nombreuses activités industrielles continuent à générer divers polluants, notamment les effluents industriels et agricoles résultants de l'utilisation intensive des fertilisants et des pesticides. Les produits sanitaires et pharmaceutiques constituent aussi l'une des causes majeures de la pollution de l'environnement. ^[1]

Parmi les substances indésirables dans ces divers déchets, figurent les « *éléments traces métalliques* » (**ETM**) souvent appelés également « *métaux lourds* ». La présence des métaux lourds, qui sont rejetés en quantités très faibles mais leur toxicité se développe par bioaccumulation. Ils sont généralement émis sous forme de très fines particules, transportés par le vent et se disséminent dans les sols et les milieux aquatiques, contaminant ainsi la flore et la faune, et se retrouvant dans la chaîne alimentaire.

Les métaux lourds présents dans l'environnement aquatique proviennent des sources naturelles (L'activité volcanique, L'altération des continents et les incendies de forêts) et des sources anthropogènes (les effluents d'extraction minière, industriels et domestiques). Cependant, l'industrie reste le premier responsable de la quasi-totalité des rejets des métaux comme Le Plomb (**Pb**), Le Cadmium (**Cd**) et Le Mercure (**Hg**). ^[1]

Pour Cela, il a fallu entreprendre plusieurs programmes de suivi de la pollution et travaux de recherche au sein de diverses universités et instituts scientifiques de la région surtout que les métaux ont des effets divers sur les organismes aquatiques en fonction du métal et de l'organisme considéré. Ainsi il est indispensable d'évaluer des techniques de surveillance du littoral et de protection avant l'approvisionnement en produit de pêche.

En relation avec cette problématique, ce travail réalisé au sein du laboratoire Régional d'Analyses et de Recherche, Agadir a pour objectifs centraux :

- i) *L'impact sur l'environnement causé par les métaux lourds, aussi connues comme « éléments traces métalliques ».*
- ii) *Dosage par Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) des métaux lourds (Pb et Cd) dans les produits de la pêche des régions de la zone sud du Maroc.*

Nous prendrons ici l'exemple des éléments traces métalliques de Plomb et de Cadmium qui sont considérés comme des substances dangereuses pour l'environnement aquatique à cause de leur rémanence et leur tendance à se bioaccumuler dans les organismes aquatiques.

**Chapitre I. Présentation de l'Office
national de Sécurité sanitaire des
produits alimentaires**

I. Présentation de l'office :



Figure 1 : Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires (ONSSA).

Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires (ONSSA) est un établissement public doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière créée par la **loi n° 25-08** et placé sous la tutelle de l'Etat. Il exerce pour le compte de l'Etat les attributions relatives à la protection de la santé du consommateur et à la préservation de la santé des animaux et des végétaux. Il est appelé à appliquer la politique du gouvernement en matière de sécurité sanitaire des végétaux, des animaux et des produits alimentaires depuis les matières premières jusqu'au consommateur final, y compris les aliments pour animaux ^[2].

II. Organigramme du laboratoire régional d'Analyses et de Recherches Agadir

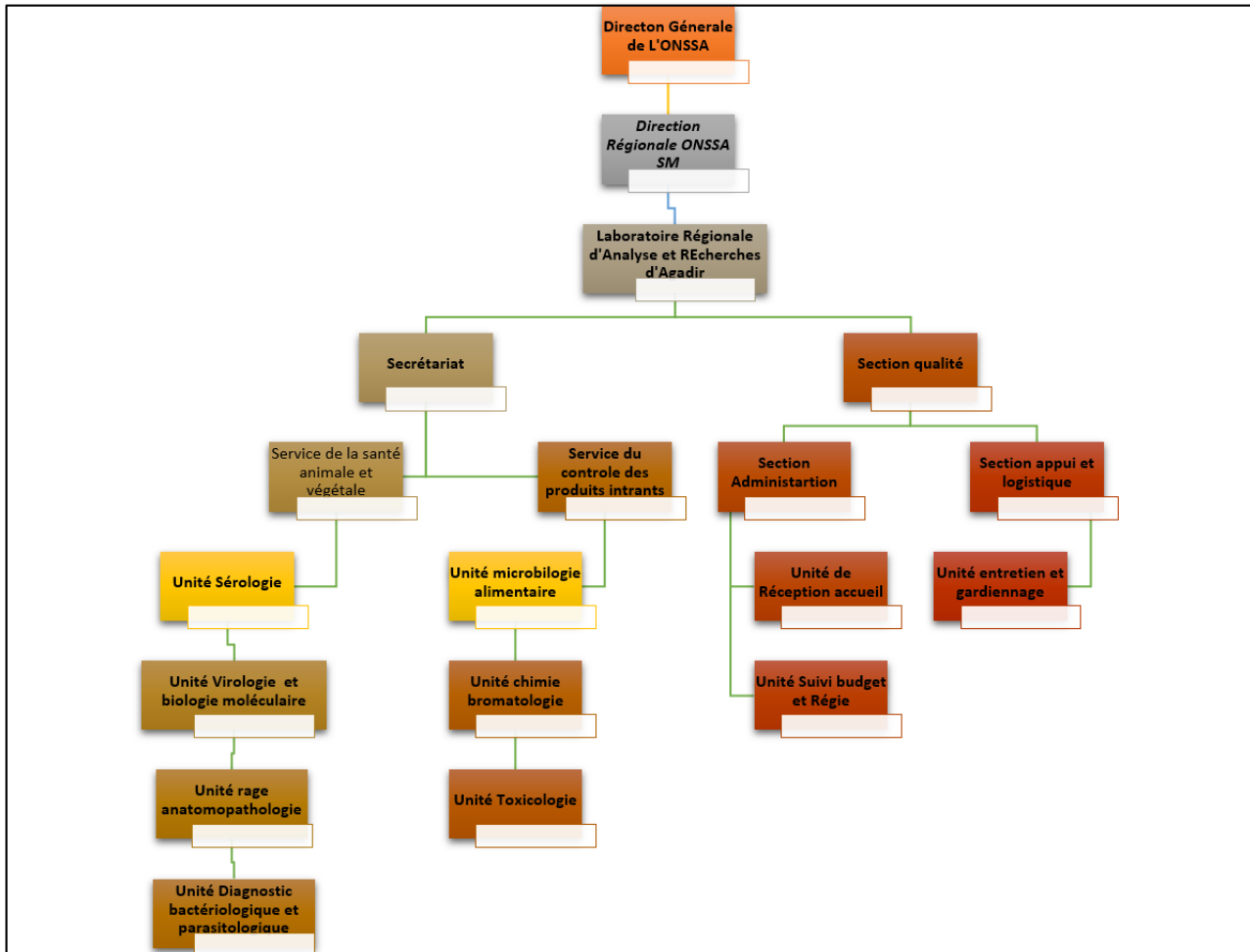


Figure 2 : Organigramme de LRARA.

II.1. Généralités sur le laboratoire régional d'Analyses et de Recherches Agadir

Le laboratoire régional d'analyse et de recherche d'Agadir se situe à Villa 9 Golf de Mogador, P2201, Inezgane 80000, le laboratoire exerce plusieurs analyses au sein de différents services.

II.2. Activités du laboratoire par section :

Le Laboratoire régional d'Analyse et de Recherches d'Agadir réalise ses prestations d'analyses dans deux grandes sections :

II.2.1. Section santé animale :

L'activité de cette section porte sur la réalisation des enquêtes épidémiologiques et le diagnostic des maladies animales et le contrôle à l'importation des animaux, à savoir :

- Diagnostic sérologique des maladies animales (Fièvre aphteuse, Rhinotrachéite Infectieuse Bovine (IBR/IPV), Maladie des muqueuses (BVD), Leucose bovine enzootique, Blue Tongue, Artérite Virale Equine, West Nile, Fièvre de la Vallée du Rift, Visna-Maedi et CAEV, Brucelloses, chlamydioses et Fièvre Q) ;
- Diagnostic de l'Influenza aviaire par RT-PCR ;
- Diagnostic de la rage par IFD
- Diagnostic des parasitoses internes et externes par coprologie et examen microscopique ;
- Diagnostic des maladies bactériennes (isolement, identification et antibiogramme) ; La réalisation des enquêtes sérologiques rentre dans le cadre des programmes nationaux ou régionaux ^[2].

II.2.2. Section santé végétale :

La section santé végétale qui se compose d'une seule unité au sein de laquelle s'effectuent plusieurs testes :

- Recherche d'E.coli O157 ;
- Dénombrement de Staphylococcus à coagulase positive ;
- Recherche et dénombrement des clostridium perfringens ;
- Recherche et dénombrement des entérobactéries ;
- Dénombrement et recherche des Coliformes.

II.2.3. Section hygiène alimentaire :

Cette section a pour mission de procéder à des analyses microbiologiques, chimiques et toxicologiques dans le cadre du contrôle de la salubrité des produits alimentaires et la certification des produits à l'export. Le laboratoire effectue également des visites d'audit des laboratoires d'autocontrôle des unités industrielles.

Les différentes gammes de produits analysés sont : Produits de la pêche, laits et produits laitiers, viandes et produits carnés, aliments pour animaux, conserves végétales, eaux, etc.

Activité en microbiologie Alimentaire :

Les activités dans l'unité de la microbiologie alimentaire consistent aux :

- Recherche, isolement et dénombrement des germes (Salmonella, Staphylococcus, listeria...) Pour le contrôle microbiologique des aliments animaux et d'origine animale.
- Recherche des résidus dans les denrées alimentaires.

Activité dans l'unité Toxicologie :

Les activités dans l'unité toxicologie consistent à :

- Dosage des mycotoxines, les biotoxines par LC-MS/MS.
- Dosage des pesticides par LC-MS/MS et GC-MS/MS.
- Dosage des métaux lourds Pb et Cd par SAA-FG ; Hg par SAA-vapeur froide.

Mon stage a été effectué au sein du laboratoire Régional d'analyses et de Recherches, Section hygiène alimentaire, **Unité toxicologie**, Plus précisément : l'activité du Dosage des métaux lourds Pb et Cd Par Spectroscopie d'absorption atomique à Four Graphite.

Chapitre II. Etude bibliographique et généralités

I. Les éléments traces métalliques dans l'environnement aquatique :

Les métaux sont omniprésents dans les eaux de surface, toutefois leurs concentrations sont en général très faibles ce qui explique leur dénomination de « *métaux traces* » ou « *éléments traces métalliques* » (ETM). Ils existent naturellement dans la croûte terrestre mais en quantités minimales, ainsi l'altération et l'érosion des roches et des gisements minéraux alimentent naturellement les eaux de surface en ETM [3]. L'exploitation d'un gisement riche en métaux provoque un changement de composition chimique qui s'opère à la composition des eaux en contact avec les travaux miniers.

La libération des métaux lourds dans le milieu marin peut se faire par des processus naturels ou anthropogènes. Les éléments qui sont présents dans les réseaux cristallins des minéraux, et qui sont généralement difficilement libérés, sont mis en solution et dispersés dans l'environnement. Après la fin de l'exploitation, la contamination peut être exercée par des agents de l'érosion et du transport, sous forme de dissout. Cette dispersion peut avoir pour effet des augmentations importantes des teneurs en métaux lourds rendent obsolète la dénomination d'ETM. Car les métaux ne sont plus à l'état de traces, il vaut mieux parler **des métaux lourds**.

Donc, L'activité minière exerce une influence importante sur la composition chimique de l'eau affectée. Ces eaux sont caractérisées par des quantités importantes des métaux lourds. Une fois que les métaux lourds ont été libérés dans le milieu, soit par des processus naturels (altération), ou anthropique (exploitation minière) depuis leur source ils peuvent être transportés par voie éolienne via des aérosols ou par voie aqueuse via l'eau et par conséquent leur transmission aux êtres vivants marins.

II. Généralités sur les métaux lourds :

II.1. Définition des métaux lourds :

Les définitions qu'on peut donner aux métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe, Du point de vue purement chimique, on peut définir les métaux lourds comme suit : « Les éléments de classification périodique formant des cations en solution sont des métaux, D'un point de vue physique, le terme « *métaux lourds* » désigne :

- Tout métal ayant une densité supérieure à 5 g/cm^3 à l'exception des alcalino-Terreux. [4]
- Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium ($Z = 11$).
- Tout métal pouvant être toxique pour : les végétaux, les produits de la consommation courante et sur la santé humaine.

II.2. Classification des métaux lourds :

La classification des métaux lourds est souvent discutée car certains métaux lourds ne sont pas forcément toxiques. En effet on peut différencier entre deux types :

II.2.1. Métaux essentiels :

Les métaux essentiels sont des oligo-éléments indispensables aux processus biologiques, mais toxiques lorsque leur concentration dépasse un certain seuil tels que :

“ Le chrome, Le Cuivre, le Sélénium, le Zinc, le fer, le magnésium, ... etc.

II.2.2. Métaux non essentiels (toxiques) :

Les métaux non essentiels sont des métaux dont le caractère essentiel pour les êtres vivants n'est pas démontré, sont considérés comme des contaminants stricts avec des effets toxiques pour les êtres vivants à de très faibles concentrations tels que “Le Plomb, le Cadmium, le Mercure”^[4]

Le travail qui m'a été confié consistait au dosage du plomb et du cadmium ainsi que celui du mercure. Le choix de ces trois métaux n'est pas fait au hasard, il est surtout basé sur leurs caractéristiques physico-chimiques :

- Ils se transportent, changent de forme chimique, mais ne se détruisent pas ;
- Ils ont une conductivité électrique élevée, ce qui explique leur utilisation dans de nombreuses industries ;
- Et surtout, ils présentent une toxicité certaine pour l'homme, entraînant notamment des liaisons neurologiques plus ou moins graves.

II.3. Origine des métaux lourds :

II.3.1. Sources naturelles :

Les métaux lourds se trouvent d'une manière naturelle dans le sol, Les roches qui en contiennent les transmettent à la terre en se dégradant lentement. On trouve par exemple l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts^[4]

La pollution du milieu marin est pour sa part essentiellement localisée dans la zone côtière ou s'écoulent fleuves, déversement d'usines et égouts. Les micropolluants minéraux ne s'accumulent pas dans l'eau (réceptrice) elle-même, sont assez rapidement transférés dans les sédiments où ils sont en partie métabolisés par les organismes vivants et mis en circulation dans les chaînes alimentaires ou leurs toxicités s'épanouissent. L'irréversibilité de cette pollution est particulièrement préoccupante

du fait qu'il est pratiquement impossible de récupérer aisément ces métaux, une fois dissipés dans la nature ; leur rémanence est la cause même d'une accumulation difficilement contrôlable [4]

II.3.2. Sources anthropiques :

Le second pool d'émission des métaux selon la situation géographique est essentiellement l'activité humaine. L'activité humaine n'a apporté aucun changement dans les volumes de métaux lourds. Elle a surtout changé la répartition des métaux, les formes chimiques (ou spéciations) et les concentrations par l'introduction de nouveaux modes de dispersion (fumées, égouts, voitures...). On distingue d'une part les sources ponctuelles : mines, fonderies, industries diverses... et d'autre part les sources diffuses : eaux de pluie, rejets des réseaux d'assainissement urbain, ruissellements des forêts et des zones agricoles, l'agriculture et les déchets liquides et solides, etc

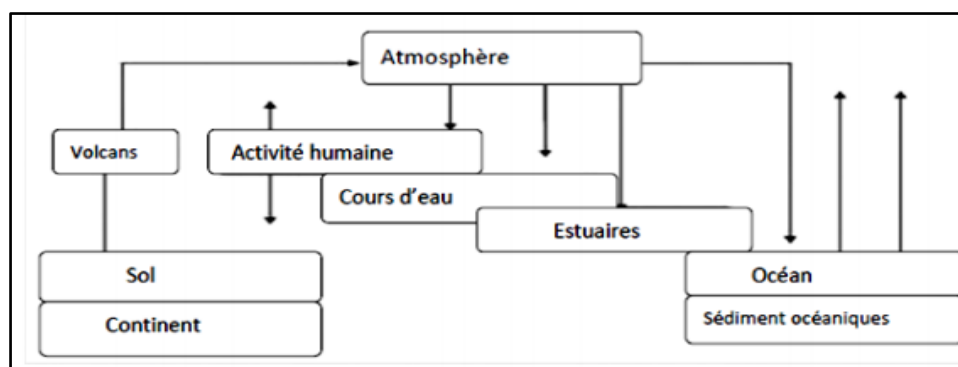


Figure 3 : Cycle géochimique simplifié des métaux lourds .

III. Le cadmium :

III.1. Généralités et Sources :

Le **cadmium** est un élément chimique de symbole **Cd** et de numéro atomique 48 appartenant au groupe **IIB** des métaux de transitions dans le tableau périodique. Le cadmium fut découvert en 1808 par *Magnus Martin af Pontin*, mais c'est en 1817 que l'allemand *Friedrich Stromeyer* le prépara pour la première fois. Le cadmium a une grande résistance à la corrosion ; son point de fusion est bas ; il a une bonne conductivité de l'électricité. Le cadmium est un métal blanc, mou et malléable rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimiques (minérale ou organique). La distinction entre les trois formes dissoutes, colloïdales et particulaires se fait par filtration et ultrafiltration dont les seuils sont fixés arbitrairement en fonction de leur taille. Il ternit au contact de l'air. [5].

Les principales sources d'exposition au cadmium sont :

- La nourriture : Le Cd est présent à grande quantité dans certains aliments (Les fruits de la mer, les abats, certaines céréales (Riz, Blé, etc.), Les champignons et les légumes, Les poissons, les fruits et la viande.
- Agriculture : engrais phosphaté, boues d'épandage
- Activité industrielle : Le raffinage des métaux non ferreux, la combustion du charbon et des produits pétroliers

III.2. Utilisation et toxicité :

Le cadmium est utilisé souvent sous forme métallique, comme électrodes négative, notamment dans des batteries d'accumulateurs rechargeables, il est aussi utilisé comme pigment de couleur rouge foncé et jaune de peinture, de verres, d'émaux ou de matières plastiques. Ces pigments à base de cadmium sont extrêmement résistants à hautes températures, leur forte résistance et leur apparence brillante leur confèrent une large utilisation dans l'industrie des automobiles, pour réduire les points de fusion de certains alliages, pour stabiliser les matières plastiques et pour assurer une grande résistance à la chaleur et aux rayonnements ultraviolets. Le cadmium est également déposé par des procédés électrolytiques sur des métaux afin de leur conférer un revêtement anticorrosion.

Le cadmium est connu depuis les années 50 très **toxique** sous toutes les formes (métal, vapeur, composé organique). Contrairement à de nombreux métaux, le cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants cet élément chimique. Il présente des risques chez le consommateur, même à de faibles concentrations, il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes (50 ans) où il entraîne une perte anormale de protéines par les urines (protéinurie) et provoque des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées ^[5]. C'est pour cela qu'il faut éviter tout contact avec les denrées alimentaires, car même une exposition de courte durée à forte concentration du cadmium est responsable de troubles gastro intestinaux (nausées, vomissements, diarrhée...) Ces troubles peuvent provoquer, dans les cas sévères, une déshydratation de l'organisme, de même qu'elle peut provoquer des troubles pulmonaires graves ^[6].

IV. Le Plomb :

IV.1. Généralités et sources :

Le plomb est l'élément de numéro atomique 82 de masse atomique 270 g/mol. Il apparait avec un aspect gris-blanchâtre. Il existe sous forme métallique, inorganique et organique. Il prend la forme inorganique lorsqu'il est associé à certains composés pour former les sels du plomb (des chlorures, des chromates, des nitrates, des sulfates et des phosphates). Il se manifeste surtout sous forme de

sulfure dans **la galène (PbS)**, principal minerai du quel il est extrait. Sous forme métallique, le plomb existe sous l'état d'oxydation 0 et 2^+ et 4^+ . Mais dans l'environnement, il est principalement sous l'état 2^+ . L'état 4^+ n'existe que dans les conditions oxydantes, il n'est pas fréquent dans l'environnement.

Le degré 2^+ est stable dans pratiquement toutes les conditions environnementales. Les émissions de cet élément sont donc notamment liées à des activités anthropiques, l'industrie minière, la métallurgie et la sidérurgie représentent environ 80% des émissions de Pb dans l'environnement ^[1].

IV.2. Utilisation et toxicité :

L'**utilisation du plomb** est directement liée à plusieurs activités industrielles notamment : la fabrication du vernis, céramiques, peintures qui incorporent des sels du Plomb. Il rentre dans la fabrication d'accumulateurs de munitions, de dispositifs de protection contre les rayonnements nucléaires, il rentre également dans la composition chimique de certains alliages comme le laiton et le bronze.

L'**exposition alimentaire** (denrées alimentaire et eau de boisson) est la voie principale d'exposition au plomb. (Les produits alimentaires sont les composés les plus exposés à la contamination au plomb). Cette exposition peut entraîner des effets nocifs sérieux sur la santé. A des faibles doses son accumulation dans le corps peut s'avérer dangereuse. Il est pratiquement dangereux pour les nourrissons, les jeunes enfants et les femmes enceintes, et peut nuire de façon permanente au développement des enfants, y compris le développement intellectuel et le développement comportemental ^[7]. Son utilisation ancienne dans la conception des canalisations d'eau a causé de nombreux dégâts sur la santé. Très toxiques même à faible dose.

V. Accumulation des ETM par les organismes marins :

V.1. Définition :

La bioaccumulation est le processus par lequel un organisme vivant absorbe une substance à une vitesse plus grande que celle avec laquelle il l'excrète ou bien la métabolise. Elle désigne la somme des absorptions d'un élément par voie alimentaire par les espèces animales ou terrestres ^[5]. En général le processus d'accumulation se déroule en trois temps :

- Assimilation :
- Bioaccumulation par l'individu : Bioconcentration
- La bioaccumulation entre individus : bioamplification.

☞ **Assimilation**

Il existe deux voies principales d'exposition aux polluants : la voie externe, par contact (par l'air ou par l'eau.) qui provoque un phénomène d'absorption (la substance

toxique reste à la surface), la voie interne par assimilation ou absorption. L'assimilation diffère selon les métaux, Le cadmium se concentre presque exclusivement dans le tube digestif, le foie et les reins. Le Plomb se diffuse dans la peau, les muscles, la colonne vertébrale^[5]

☞ **Bioconcentration :**

La bioconcentration s'exprime par un ratio entre la concentration de l'élément étudié dans le milieu marin et sa concentration dans l'organisme. Ce ratio porte le nom de facteur de bioconcentration (BCF). Les organismes vivants concentrent plus les métaux que l'eau et l'air^[5]

☞ **Bioamplification :**

Est le processus par lequel les transferts de métaux entre individus suivent un processus classique, dit " Transfert trophique". Le polluant, présent dans les algues et les microorganismes est ingéré par un herbivore, lui-même proie pour un carnivore, lui-même proie d'un super carnivore, animal ou homme^[5]

En bout de chaîne, on se trouve donc avec un consommateur final ayant bioaccumulé les formes solubles des métaux. Les concentrations augmentent au fur et à mesure que l'on progresse dans la chaîne trophique. C'est le cas du plomb et Cadmium qui s'accumulent à chaque étape et se retrouve concentré au bout de la chaîne alimentaire, notamment dans les gros poissons piscivores. On appelle ce phénomène la « bioamplification » ou la « biomagnification ».

V.2. Effets des ETM sur la santé humaine :

La toxicité d'un métal peut être influencée par un certain nombre de facteurs. Parmi ces facteurs, on peut trouver ceux qui sont liés au contaminant tel que la nature du métal, spéciation chimique, organotropisme, biodisponibilité, etc., ces métaux peuvent agir en se liant à divers ligands contenant des groupements thiols ce qui peut conduire au blocage des groupes fonctionnels des molécules importantes tel que les enzymes, les polynucléotides, ils peuvent entraîner en outre la substitution des métaux essentiels. A ces facteurs, s'ajoutent des facteurs intrinsèques liés à l'âge, le sexe, l'état nutritionnel, les conditions d'expositions et la variabilité génétique, etc. L'ensemble de ces facteurs peut influencés sur la charge corporelle d'un métal, sa distribution tissulaire et ses effets nocifs. *La figure 4* illustre la répartition des métaux dans le corps humain.

La toxicité des métaux varie selon la dose et la durée d'exposition. Une exposition de courte durée à des concentrations élevées cause des syndromes aigus, alors que l'exposition de longues durées à de faibles concentrations provoque des troubles chroniques. La gastroentérite, la pneumonie et l'insuffisance rénale et hépatique sont les troubles les plus fréquemment observés en cas d'exposition de longue durée à un certain nombre de métaux (cadmium, cuivre, plomb, zinc). L'exposition à des métaux pourrait également causer le cancer.

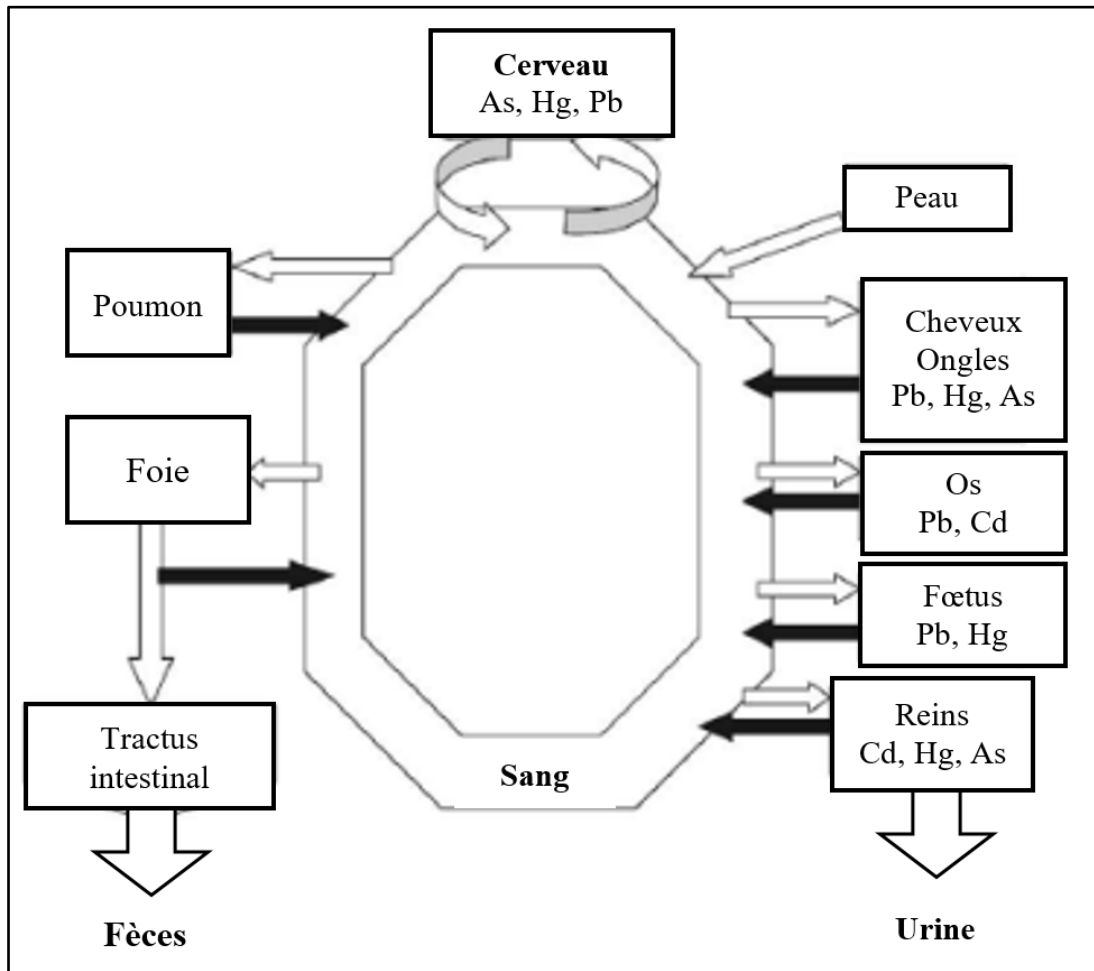


Figure 4 : La répartition des métaux dans le corps humain.

Chapitre III. Méthodologie et techniques expérimentales

I. Méthode et technique expérimentale utilisée :

Il existe plusieurs techniques analytiques qui peuvent être utilisées pour la détection des ETM, dans les produits de la pêche, parmi ces techniques :

La spectrométrie d'émission atomique – plasma à couplage inductif (**ICP-AES**), également appelée spectrométrie d'émission optique, Spectrométrie de masse couplé à un plasma inductif (**ICP-MS**), spectrométrie d'absorption atomique à four graphite (**GF-SAA**) et spectrométrie d'absorption atomique à flamme (**F-SAA**), Pour le mercure, les techniques analytiques les plus utilisées, pour déterminer ces concentrations, sont : la spectrométrie d'absorption atomique à vapeurs froides (**CV-AAS**) et la spectrométrie de fluorescence atomique par vapeurs froides (**CV-AFS**).

Le choix d'une méthode analytique de dosage est conditionné par **la nature** de l'échantillon à analyser, par **la concentration** présumée de l'analyte, par **les interférences** potentielles dues à la matrice. Dans ce travail, nous avons utilisé la **GF-SAA** pour le dosage du plomb et cadmium, la technique est la plus utilisée pour la détermination des ETM dans les tissus biologiques car elle est la plus adéquate à la nature des échantillons, plus rapide et avec moins d'interférences.

I.1. Spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA-FG) :

I.1.1. Principe & Aspect théorique de la SAA-FG :

Les techniques de spectroscopie d'absorption atomique SAA repose sur le phénomène suivant : lorsqu'un atome libre est soumis à une source d'énergie E, il peut passer d'un état fondamental à un état excité en absorbant un rayonnement électromagnétique à une longueur d'onde spécifique. Le retour de l'atome à son état fondamental s'accompagne de l'émission d'un rayonnement photonique spécifique caractérisé par sa longueur d'onde λ .

La loi de Beer-Lambert établit une relation directe entre l'absorbance d'un échantillon et sa concentration de l'élément recherché.

$$A = k.l.C$$

Avec :

- k : coefficient d'absorption spécifique de l'élément à doser.
- l : trajet optique (cm).
- C : concentration (mol. L-1).

Il suffit de tracer une courbe d'étalonnage à l'aide des solutions de concentrations connues de même élément, une simple interpolation permet de connaître C.

I.1.2. Éléments constitutifs d'une SAA :

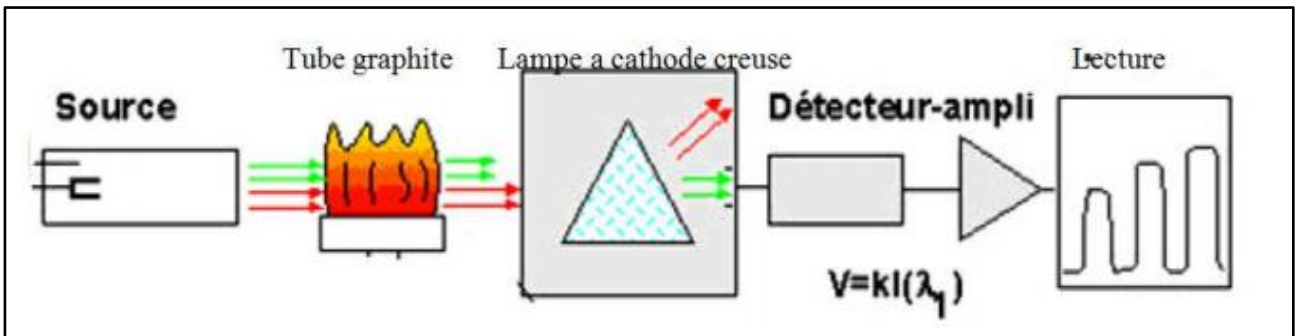


Figure 5 : Schéma de base d'un appareil de spectrométrie d'absorption atomique.

En générale, tout instrument de spectrométrie d'absorption atomique contient les mêmes éléments de base :

Source de lumière : lampe à cathode creuse

La lampe a pour rôle de produire une radiation lumineuse à la longueur d'onde caractéristique de l'élément à doser, l'application d'une tension entre anode et cathode produit une ionisation du gaz rare (argon). Les cations (Ar^+) ainsi formés bombardent la cathode creuse et les atomes métalliques qui la composent sont arrachés et excités (Me^*). Leurs désexcitations se font par émission de photons spécifiques formant le spectre de raies de l'élément excité.

La lampe à cathode creuse est formée d'un tube en verre ou en quartz rempli d'un gaz rare sous faible pression et muni de deux électrodes.

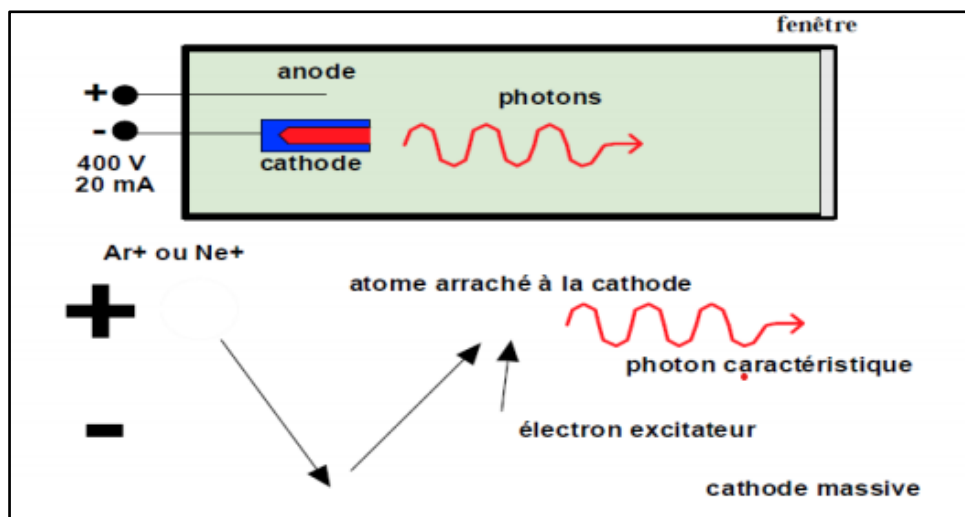


Figure 6 : Lampe à cathode creuse.

Atomiseur :

Le rôle de l'atomiseur est de produire des atomes, ces derniers doivent se trouver à l'état fondamental pour pouvoir absorber les photons provenant de la source. Le dispositif d'atomisation qu'on a utilisé : dispositif électrothermique (le four graphite).

L'atomiseur électrothermique (appelé également Four à graphite) permet un accroissement de la sensibilité, l'atomisation est totale et plus est rapide. En outre, le temps de séjour moyen des atomes dans le trajet optique est relativement long (supérieur à la seconde).

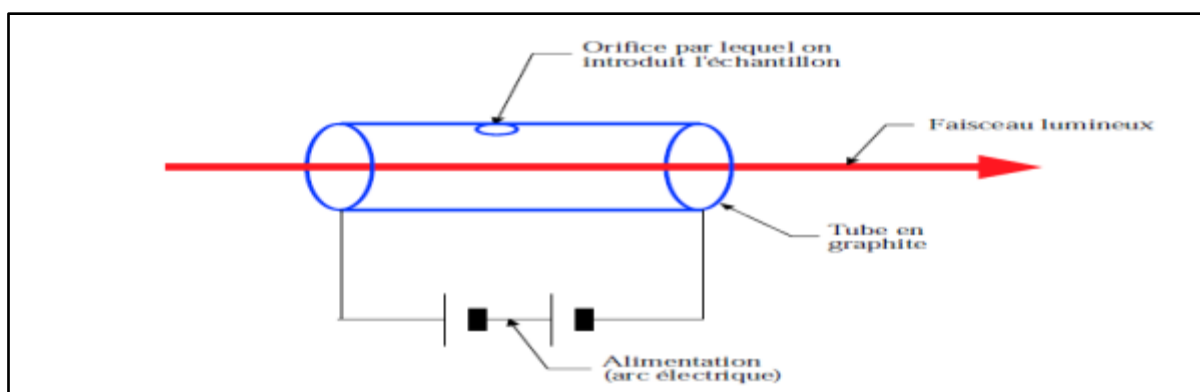


Figure 7 : Schéma d'un atomiseur électrothermique.

Ce processus se fait à l'intérieur d'un tube en graphite ouvert aux deux extrémités et placé dans l'atomiseur. L'échantillon y est introduit par l'orifice central du tube. Puis le chauffage de ce dernier a lieu, entraînant de ce fait l'évaporation et la pyrolyse de l'échantillon, grâce à la mise en contact du tube avec des pièces électriques, à travers desquelles on fait passer un courant plus ou moins intense.

I.2. Technique analytique de dosage du Pb et Cd par SAA-FG :

I.2.1. Principe :

La SAA-FG se prête au dosage du Pb et Cd. Elle permet de déterminer la quantité totale de chaque métal en solution ; elle est particulièrement adéquate pour de faibles concentrations. C'est une technique qui se repose sur :

- Minéralisation de l'échantillon
- Injection de l'échantillon dans le spectromètre d'absorption atomique équipé d'un système d'atomisation électrothermique
- Mesure de l'absorbance à une longueur d'onde spécifique de l'élément à doser.
- Correction du bruit de fond par effet de Zeeman.

I.2.2. Produits et réactifs :

Tous les réactifs sont de qualité analytique reconnue :

- Solution standard certifié de Cadmium : 1000 ± 4 mg/l
- Solution standard certifiée de plomb : 1000 ± 4 mg/l
- Argon Alpha gaz ultra pur (pureté $\geq 99,999\%$).
- Dihydrogénophosphate d'Ammonium ($\text{NH}_4(\text{PO}_4) \text{H}_2$),
- Solution de peroxyde d'hydrogène pour analyse des traces.
- Acide nitrique supra-pure 65% pour l'analyse des traces.
- Eau ultra pure dé ionisée, résistivité ≥ 18 mégohm.

I.2.3. Appareillage :

- Four à micro-onde :
- Etuve
- Spectrophotomètre d'absorption atomique à four graphite, piloté par un logiciel équipé d'un correcteur de fond Zeeman, d'un passeur automatique d'échantillons et de lampes à cathode creuse de cadmium et plomb.
- Broyeur : mixeur électrique.
- Balance analytique (classification I), de sensibilité 0,1 mg.
- Verrerie : (Fioles jaugées 50 ml, Pipettes jaugées 10ml).

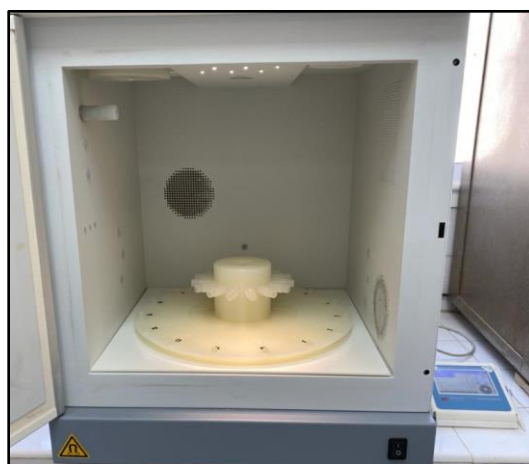


Figure 8 : Four à micro-ondes pour la digestion des échantillons.



Figure 9 : Spectrophotomètre d'absorption atomique four à graphite.

II. Préparation des échantillons :

II.1. Minéralisation :

La méthode d'analyse SAA-FG permettant la détection des éléments traces dans les matrices biologiques sur lesquelles on a travaillé nécessite des étapes de digestion/Dissolution.

En effet, Les étapes de décomposition de l'échantillon et de transformation en une phase liquide homogène avant l'analyse sont nécessaires. Ainsi, la préparation d'échantillon reste l'étape essentielle de cette méthode d'analyse et l'efficacité de la méthode de digestion est particulièrement importante pour obtenir des résultats précis et reproductibles.

La Minéralisation s'impose dans de nombreux cas, surtout pour les échantillons solides, elle permet de limiter ou de faire disparaître les interférences liées à la matière organique et de réaliser en outre une concentration qui améliore la sensibilité des mesures.

Elle peut être réalisée par voie sèche ou par voie humide, cette dernière est la plus utilisée actuellement, car elle est aisée d'opérer à température contrôlée, simultanément sur de nombreux échantillons placés dans un thermostat (four à micro-ondes).

La préparation des échantillons se fait dans des conditions bien précises, elle nécessite des précautions bien particulières afin d'éviter toute contamination.

Parmi les précautions :

- Il faut rincer toute la verrerie de laboratoire avec le détergeant, puis avec de l'eau déionisée en suite en les émergeant dans une solution de HNO_3 à 10 % pendant 24 h pour éliminer toute trace de métaux et d'impuretés.
- Le matériel ainsi obtenu est rincé vigoureusement avec l'eau distillée, puis placés dans l'étuve pour séchage avant utilisation.

- Il faut Disséquer les poissons dans un état semi congelé pour éviter la contamination des parties jointives et la perte du métal à travers les mouvements du fluide. Seule la partie comestible est prélevée (chaire musculaire) pour toutes les espèces de poissons.

Les échantillons sont broyés et homogénéisés. Une prise d'essai de 0,5 à 1 gramme est mise dans des téflons de minéralisation en ajoutant 5 ml d'acide nitrique à 65% et 2 ml de peroxyde d'hydrogène à 30%. L'ensemble est mis dans un four à micro-ondes suivant un programme d'une pression de 200 PSI, une température de 180°C et une durée de digestion de 45 minutes.

II.2. Analyse des essais :

Les solutions étalons ont été réalisés à partir :

- D'une solution mère de Plomb à 1000 mg/L, La solution final étant de 20 $\mu\text{g. l}^{-1}$.
- D'une solution mère de cadmium à 1000 mg/L, la solution étalon finale étant de 4 $\mu\text{g. l}^{-1}$

On a réalisé tous les essais en double pour assurer la répétabilité.

La concentration en Pb ou bien Cd est calculée à partir de la courbe d'étalonnage constituée de 6 points : Les étalons, La courbe d'étalonnage exprime la relation entre la grandeur mesurée et la concentration massique. La fonction d'étalonnage doit être linéaire, lorsqu'on utilise la courbe d'étalonnage, il faut la déterminer avec au moins 5 solutions standards.

- 0 ; 3 ; 5 ; 10 ; 15 et 20 $\mu\text{g. l}^{-1}$ pour le plomb ;
- 0 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1 et 1,2 $\mu\text{g. l}^{-1}$ pour le cadmium ;

Les concentrations C en Pb et Cd sont exprimées en mg/L poids selon la formule :

$$C(\text{mg/L}) = \frac{(Cs - Cb) \times Vf}{PE \times 1000}$$

Avec :

C : concentration finale en Cd ou Pb en mg.kg^{-1} ;

Cs : concentration en Cd et Pb dans l'échantillon en $\mu\text{g. l}^{-1}$;

Cb : concentration en Cd et Pb dans le blanc ;

Vf : volume final (dans notre cas : 50 ml) ;

PE : prise d'essai en gramme (poids frais) de l'échantillon.

Chapitre IV. **Résultats et interprétation**

I. Espèces étudiées :

Lors de cette partie expérimentale on a travaillé sur des échantillons de poissons provenant du port d'agadir, on a notamment étudié 3 Espèces (Sardine, Crevette, calamar).

I.1. Maquereau :

Le maquereau est reconnaissable entre tous avec sa belle livrée de zèbre bleu et son ventre blanc. Ce prédateur pélagique et rapide (environ 10 km à l'heure) est apparenté aux thons. Il vit en grands bancs qui peuvent être parfois très importants, ce qui facilite sa capture. Sa distribution géographique est vaste. Dans l'Atlantique Est, il fréquente la zone allant des côtes islandaises jusqu'aux côtes d'Afrique de l'Ouest. Il affectionne également la mer Méditerranée, jusqu'en mer Noire. Le maquereau (mâle et femelle) acquiert sa maturité sexuelle vers l'âge de 3 ans, quand il atteint 30 cm. Cette espèce peut vivre jusqu'à 20 ans.

☞ Nom FAO :

- ✓ Français : Maquereau ;
- ✓ Espagnol : Caballa ;
- ✓ Anglais : Chub mackerel.

☞ Noms locaux :

- ✓ Kabaila ;
- ✓ Maquereau ;
- ✓ Tounina.



Figure 10 : Maquereau

I.2. Crustacés : Crevette

La crevette est un crustacé, le plus prolifique et dépourvu de squelette interne et entourés d'une carapace rigide (exosquelette) ; cette carapace consiste en une peau incrustée de chaux et de chitine (chitinoprotéique) saturée de carbonate de calcium, appelé exocuticule. Parmi la sous-classe de crustacés, ordre des décapodes on trouve la crevette. de forme allongée et de taille très variable de quelques millimètres jusqu'à environ 35 cm de longueur ; sa chair translucide a des colorations variées selon les espèces.

☞ Nom FAO :

- ✓ Français : Crevette géante tigrée ;
- ✓ Espagnol : *Penaeus monodon* ;
- ✓ Anglais : Giant tiger prawn.

☞ Nom local :

- ✓ Crevette.



Figure 11 : Penaeus monodon.

I.3. Céphalopodes : Calamar

Le calmar est un mollusque de la classe des céphalopodes, il possède un corps entièrement mou, avec huit tentacules qui peuvent compter chacune plus de 200 ventouses. Il se caractérise par un cycle biologique court. Il est connu par sa forte acuité visuelle et sa relative intelligence. La taille à la première maturité sexuelle serait de 8 cm (longueur de manteau) pour les mâles et de 12 à 13 cm pour les femelles. À 15 mois, le Calamar pèse plus de 2 kg. Les Céphalopodes sont particulièrement abondants dans l'Atlantique Centre-Est au large des côtes Africaines, du Maroc au Sénégal. Sur le banc saharien, ils font l'objet d'une pêche industrielle marocaine depuis le début des années soixante-dix.

☞ Nom local :
Calamar



Figure 12 : *Loligo vulgaris*.

II. Teneurs en ETM de quelque produit de la pêche débarquées dans la zone sud du Maroc :

Les résultats obtenus sont présentés d'une part par espèces de poissons et d'autre part par région d'échantillonnage.

II.1. Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les espèces marines :

Les résultats relatifs aux teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les trois espèces de poisson pêché dans trois régions du Maroc sont regroupés dans le tableau 1 et sont illustrés sur la figure 1.

Tableau 1 : Teneurs moyenne en ETM dans les matrices étudiées.

Régions	Espèces	Eléments traces métalliques (mg/kg)	
		Pb	Cd
Agadir	Maquereau	0,025	0,0326
	Crevette	≤ LQ	0,0753
	Céphalopodes	0,033	0,0524
Essaouira	Maquereau	0,179	0,0094
	Crevette	0,092	0,0411
	Céphalopodes	0,4573	0,0028
Dakhla	Maquereau	0,2499	0,071
	Crevette	0,4131	0,217
	Céphalopodes	0,5593	0,0274

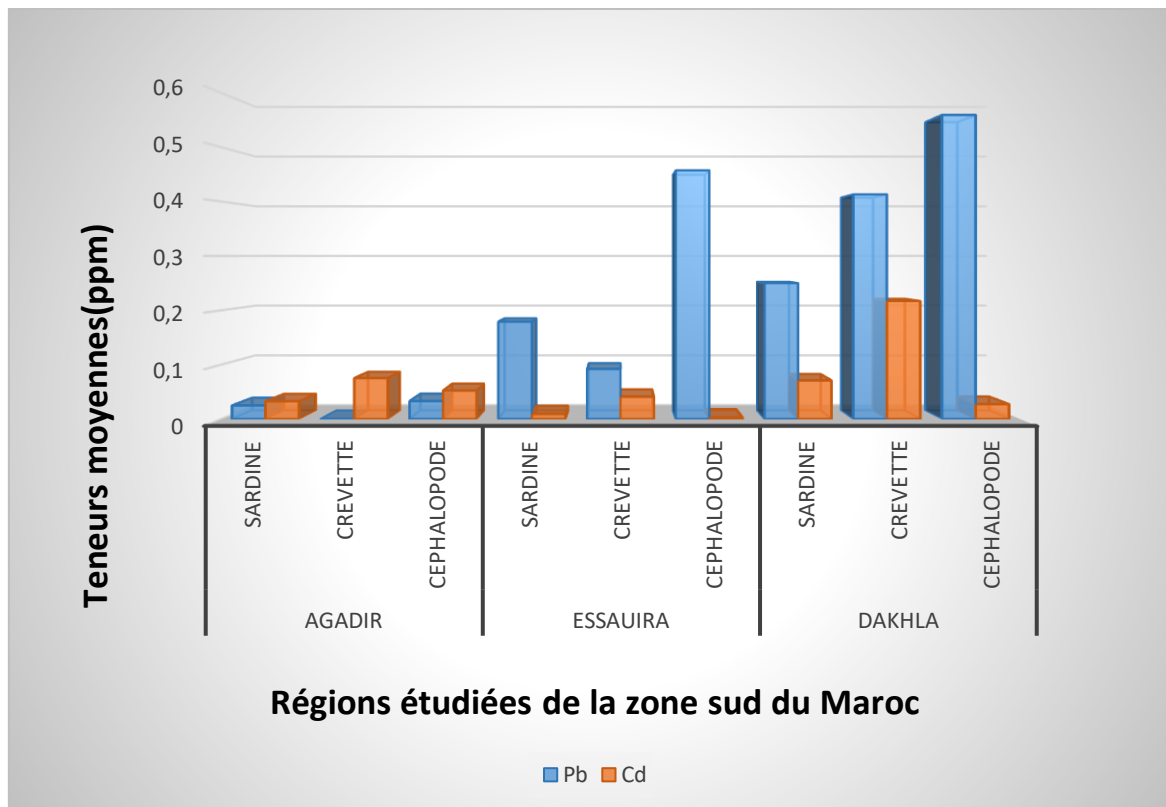


Figure 13 : Teneurs moyenne en ETM dans les matrices étudiées.

Interprétation :

Les résultats ainsi obtenus des teneurs en métaux lourds recherchés dans les trois espèces étudiées, révèlent la présence du Pb et Cd sous forme de trace avec des variations significatives pour les trois Régions. Il est à signaler que le Cd est le moins concentré chez les trois espèces dans les deux régions Essaouira et Dakhla par rapport au Pb, en suivant l'ordre établi :

☞ Région Dakhla :

- Céphalopode : Pb > Cd
- Crevette : Pb > Cd
- Maquereau : Pb > Cd

☞ Région Essaouira :

- Céphalopode : Pb > Cd
- Crevette : Pb > Cd
- Maquereau : Pb > Cd

Par contre **la région d'Agadir** montre que :

- ✓ La teneur moyenne du Pb montre qu'il est le moins concentré chez les trois espèces.
- ✓ Le calamar est le poisson qui accumule plus du Pb (**0,033 mg/kg**). Suivi par la **Maquereau (0,025 mg/kg)**. Alors que la crevette n'a pas accumulé du Pb (sa teneur elle est inférieure à la limite de quantification)

☞ Au niveau de région Dakhla :

Les teneurs moyennes du Pb dans la chaire musculaire des trois espèces (sardine, crevette et céphalopode) sont élevées de l'ordre de **0,2499 mg/kg** pour Maquereau ; **0,217 mg/kg** pour crevette et **0,5593 mg/kg** pour céphalopode.

☞ Au niveau de région Essaouira :

Le Pb a été accumulé dans les mêmes espèces avec une teneur moyenne de **0,179 mg/kg**, pour Maquereau **0,092mg/kg** ou Crevette et **0,4573 mg/kg** ou Céphalopode.

Cette comparaison nous renseigne sans doute sur le taux de contamination important de l'océan d'Essaouira et Dakhla par le Pb. Sachant que le plomb est un élément non essentiel au métabolisme des êtres vivants, de retrouver de telles concentrations peu suggérées montre que sa provenance vient des sources anthropiques (d'activités humaines).

Conclusion

En conclusion, nous postulons que les taux élevés en plomb absorbé par les espèces étudiées sont dus aux activités humaines. En effet, l'étude entamée par Esseily et Daher, montre que 90% du Pb dans les villes provient des rejets industriels, des ciments et des gaz d'échappement des automobiles qui s'accumulent à la surface des eaux marines.

II.2. Concentration des métaux lourds dans trois espèces différentes

II.2.1. Nomes et exigences :

Les normes proposées pas l'union européenne pour les deux métaux étudiés sont rapportées par leur Journal officiel L 364/5, (20.12.2006), elles sont de :

Tableau 2 : Teneur maximal en Plomb et Cadmium.

Plomb	
Espèces	Teneurs maximales (mg/kg)
Maquereau	0,30ppm
Crevette	0,5ppm
Céphalopode	1 ppm

Cadmium	
Espèces	Teneurs maximales (mg/kg)
Maquereau	0,1ppm
Crevette	0,5ppm
Céphalopode	1 ppm

Dans le présent travail, les métaux lourds tels que le cadmium, et le plomb ont été analysés dans Trois espèces différentes.

Le Plomb :

Les résultats de concentrations en plomb obtenus pour tous les espèces analysées sont rapportés dans l'histogramme suivant :

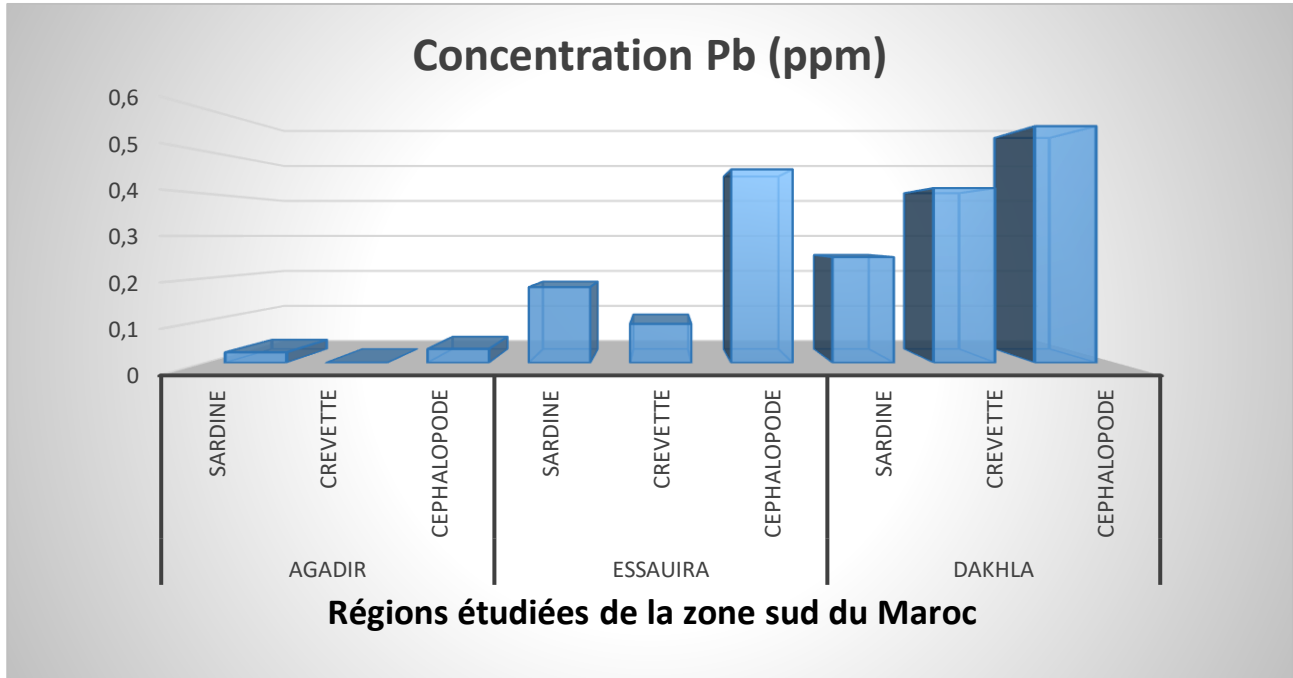


Figure 14 : Concentration en Pb dans les régions étudiées.

Interprétation :

Les teneurs en plomb obtenues pour tous les échantillons analysés sont inférieures à la valeur proposée par l'union européenne selon les tableaux des Normes précédents. Les résultats obtenus pour les échantillons marins des trois régions visées par l'enquête sont par conséquent exempts de contamination par le plomb. Selon la limite maximale fixée par l'organisation mondiale de la santé (OMS), tous les échantillons étudiés ont été exempts de contamination par le plomb métallique et les espèces étudiées s'avèrent très bon pour la consommation humaine. Les fortes concentrations de Pb dans les produits de la pêche sont signalées dans la plupart des zones, urbanisées et industrialisées peuplées près des autoroutes et les chemins de fer. Par ailleurs, les résultats obtenus pour les trois types de zones d'échantillonnage ne révèlent pas une grande différence. Ces résultats s'expliquent par le taux d'urbanisation qui est moins intense dans les régions étudiées.

Le Cadmium :

Les concentrations en cadmium obtenues pour tous les espèces analysées sont représentées sous forme d'histogramme.

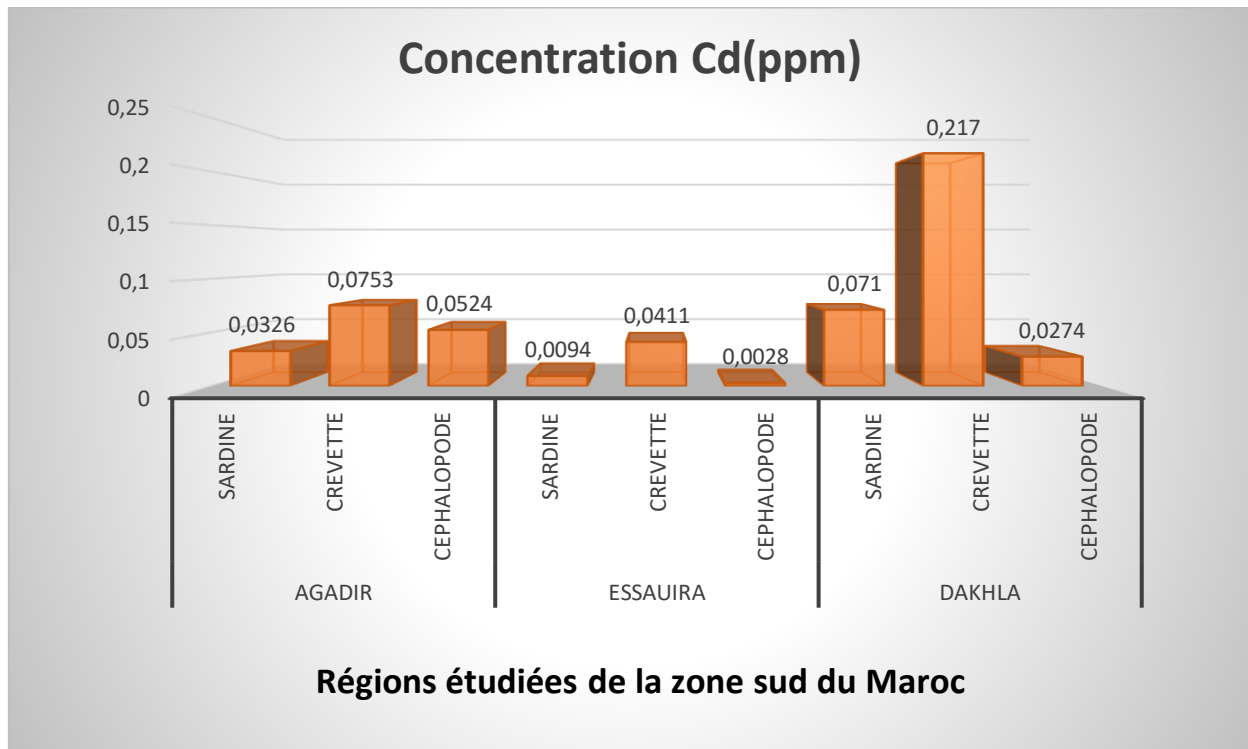


Figure 15 : Concentration en Pb dans les régions étudiées.

Interprétation :

Les valeurs de cadmium sont faibles et à l'état de traces dans tous les espèces analysées sauf l'espèce de crevette dans la région Dakhla qui a une valeur de **0,217 ppm**. Ce qui nous permet de dire que les échantillons analysés sont propres à la consommation et ne sont pas contaminés par le cadmium.

Ces concentrations en plomb et cadmium dans les échantillons de poisson, crustacés et céphalopodes sont de même ordre de grandeur par rapport à les trois régions. Les concentrations rapportées pour les deux types de métaux ne montrent pas des valeurs très élevées pour les différents échantillons marins. Nous nous permettons de dire que les produits de la pêche des zones d'échantillonnages est de toute forme de contamination par ces métaux lourds.

Conclusion

Les résultats de ce travail indiquent clairement que les échantillons de poissons prélevés dans trois régions différentes du Maroc, étaient tous de bonne qualité en termes de contamination par les résidus métalliques, répondant aux normes imposées par l'OMS. Mais ça n'empêche pas de dire que les activités humaines sont responsables d'une production importante de composés organiques et minéraux à effets toxique pour l'environnement et la santé humaine. En particulier l'accumulation de métaux qui résulte des activités industrielles présente un potentiel toxique important tant pour les organismes marins qui sont directement exposées que pour la santé humaine via l'entrée dans la chaîne alimentaire.

L'homme qui est responsable de la libération d'une grande quantité de ces éléments dans l'environnement, se trouve aujourd'hui confronté à d'importants problèmes de pollution en métaux toxiques. Par conséquent, il doit prendre conscience et agir pour réduire et limiter les émissions de ces éléments toxiques, tous en sachant parallèlement, comment évaluer et connaître les seuils de concentration de ces métaux dans l'air, le sol et l'eau.

A l'instar des pays développés, on doit encourager les recherches scientifiques afin d'aboutir à des résultats prometteurs quant à la sauvegarde de notre santé et à la protection de notre environnement.

Références

- [1] P. Minist *et al.*, « Thème Utilisation des argiles dans la », 2019.
- [2] <http://www.onssa.gov.ma/fr/laboratoires-sp-2215/lrарv-agadir>
- [3] M. M. Salvarredy Aranguren, “Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique.,” p. 489, 2008.
- [4] M. Fili and S. B. Option, “Filière : Sciences Biologiques Thème La spectrométrie d ’ absorption atomique et le dosage des métaux lourds dans la chair des crevettes,” pp. 2019–2020.
- [5] Stellio CASAS, “ Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la Moule, MYTILUS Galloprovincialis, en milieu Méditerranéen,” P.48,363
- [6] OUARHACH Aïcha & MELIANI Abdeslam “ Etude de la contamination en métaux lourds, Pb & Cd, dans les produits de la pêche au Maroc,” p. 212,2018.
- [7] R, GOHARIL. J, MATSUURA, et al. Adsorptive removal of Pb (II) from aqueous solution by novel PES/HMO ultrafiltration mixed matrix membrane. Separation and Purification Technology, vol. 120, p. 59-68.2013.