

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCCEN

MÉMOIRE

Présenté au niveau de :

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de L'Univers
Département de Biologie

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER

Spécialité : Toxicologie Industrielle et Environnemental

Par

M^{elle} ZEGGAI Fatima Zahra Nor El Houda

Sur le thème

LA CONTAMINATION DE L'EAU PAR LES METAUX LOURDS

Soutenu publiquement le 20 / 10 / 2020 à Tlemcen devant le jury composé de :

| | | | |
|---------------------------------------|-----|-----------------------|------------|
| M ^{me} SEKKAL SAMIRA | Pr | Université de Tlemcen | Présidente |
| M ^r ATTAR TARIK | MCA | Université de Tlemcen | Examineur |
| M ^{me} CHOUKCHOU-BRAHAM ESMA | Pr | Université de Tlemcen | Encadrante |
| M ^{me} HADDAM Nahida | MCA | Université de Tlemcen | Invitée |

Année universitaire : 2019 - 2020



Remerciements



*Le travail a été réalisé au niveau du laboratoire toxicomed à l'université de tlemcen sous la direction de madame **SEKKAL samira**.*

Au terme de cette étude, je commence d'abord par le remerciement du bon Dieu, de m'avoir donné assez de volonté et de santé pour terminer ce mémoire.

 *Je tiens particulièrement à exprimer nos sincères remerciements à mon encadrante Madame **CHOUKCHOU-BRAHAM Esma** Professeur au département de Chimie. Pour tous ce qu'elle a fait pour moi, pour ses conseils, sa disponibilité, son aide et son attention particulière, elle a été un vrai exemple de gentillesse. Je lui exprime mon profond respect et mon chaleureux remerciements.*

 *Un profond remerciement à madame **HEDDAM Nhaida** notre responsable de la formation pour tous les efforts qu'elle a fait pour nos offrir une parfaite formation en toxicologie environnemental et industrielle*

 *Un grand remerciement au membre du jury madame la présidente **SEKKAL Samira** et ainsi à l'examineur monsieur **ATTAR Tarik**.*

 *Je tiens à remercier les membres de jury d'avoir accepté d'examiner mon travail.*

 *Un grand merci à tous les enseignants qui m'ont accompagnée durant ce cursus Universitaire.*

 *Grand merci à ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

 *Vraiment je vous remercie énormément, et que Dieu vous protège, bénisse, et je prie Dieu de vous donner la santé et le bien-être.*



Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail,

À la personne la plus importante de ma vie, celle qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse et m'a montré le chemin pour être forte et ne jamais baisser les bras devant les difficultés, à toi ma princesse, à ma maman que j'adore.

À la mémoire de mon cher père, j'aurais tant aimé que tu sois présent à mes côtés en ce jour pour et voir que tu es fière de moi.

À mon frère Najib qui m'encourage de loin j'espère que tu seras fière de ta petite sœur.

À mes deux petites sœurs adorés Amira et Alaa qui savent toujours comment me remonter le moral, et à mon petite frère chéri Ibrahim qui a le don de me faire sourire, que vous protégez tous.

À mon fiancé Houssam Eddine qui m'a beaucoup aidé et a toujours été là pour me pousser à faire de mon mieux.

Et à tous mes amies, Soumia, Yasmine, Amina, et Soundous que j'aime beaucoup.

À Toute la promotion de Toxicologie (2019/2020) sans exception.



Liste des abréviations

ETM : Eléments traces métalliques

M.L : Métaux lourds

Pb : Plomb

Cd : Cadmium

Zn : Zinc

Cu : Cuivre

Fe : Fer

pH : Potentiel hydrogène

PET : Polyéthylène

SAA : Spectrométrie d'absorption atomique

ppm : Partie par millions

ppb : Partie par billions

ATSDR : Agence des substances toxiques et des registres des maladies

CIRC : Centre international des recherches contre le cancer

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Sources des polluants dans l'environnement | 7 |
| Figure 2 : Les origines naturelles et anthropiques des ETM | 12 |
| Figure 3 : Cycle simplifié des ETM depuis les émissions jusqu'à l'exposition humaine | 14 |
| Figure 4 : Réaction d'un écosystème aquatique à différentes pollutions | 15 |
| Figure 5 : Le cadmium. | 17 |
| Figure 6 : Une contribution relative des différentes sources d'exposition humaine au cadmium | 18 |
| Figure 7 : Transport du cadmium, liaison aux protéines et toxicité | 20 |
| Figure 8 : La voie du Cd dans le corps | 20 |
| Figure 9 : Le plomb..... | 22 |
| Figure 10 : le cuivre | 26 |
| Figure 11 : Le zinc | 28 |
| Figure 12 : Le fer | 30 |
| Figure 13 : Les différentes zones de récolte des échantillons de l'eau de source..... | 33 |
| Figure 14 : Les deux zones de récolte des échantillons de l'eau de mer..... | 33 |
| Figure 15 : La spectrométrie d'absorption atomique du laboratoire toxicomed. | 38 |
| Figure 16 : lampe à cathode creuse..... | 39 |
| Figure 17 : SAA avec le compartiment de l'atomisation..... | 40 |
| Figure 18 : interférence spectrale..... | 41 |
| Figure 19 : Courbe d'étalonnage du cuivre à longueur d'onde 327,40 nm..... | 42 |
| Figure 20 : Courbe d'étalonnage du zinc à longueur d'onde $\lambda = 213,86$ nm..... | 43 |
| Figure 21 : Courbe d'étalonnage du fer à longueur d'onde 248,33 nm. | 43 |
| Figure 22 : Courbe d'étalonnage du cadmium à longueur d'onde 278,80 nm..... | 44 |
| Figure 23 : Courbe d'étalonnage du plomb à longueur d'onde 217 nm. | 44 |
| Figure 24 : Teneur en zinc dans l'eau de source. | 48 |
| Figure 25 : Teneur en cuivre dans l'eau de source..... | 49 |
| Figure 26 : Teneur en fer dans l'eau de source. | 50 |
| Figure 27 : Teneur en cadmium dans l'eau de source..... | 51 |
| Figure 28 : Concentration du plomb dans l'eau de source..... | 52 |
| Figure 29 : Concentration des M.L dans l'eau potable aux niveau de la wilaya de Tlemcen. 53 | |
| Figure 30 : Concentration des ETM dans l'eau de mer de Honaine. | 57 |
| Figure 31 : Teneur en ETM dans l'eau de mer de Ghazaouet, Oued Abdellah et Oran. | 58 |
| Figure 32 : Concentration des ETM dans la plage de Sidi Youchaa..... | 61 |
| Figure 33 : Variation des métaux lourds au court des années dans différentes plages | 63 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Classification périodique des éléments | 9 |
| Tableau 2 : Classification des principaux ETM..... | 10 |
| Tableau 3 : Classification des oligo-éléments et des contaminants stricts chez l'homme | 11 |
| Tableau 4 : Principales sources anthropiques d'ETM présents dans l'environnement | 13 |
| Tableau 5 : Estimations des émissions atmosphériques naturelles et anthropiques des ETM pour le milieu des années 1990 (en 10^3 T/année) | 14 |
| Tableau 6 : Les propriétés physico-chimique de cadmium | 18 |
| Tableau 7 : Les propriété physico-chimique du Plomb | 22 |
| Tableau 8 : Les sources d'exposition du plomb | 23 |
| Tableau 9 : Les propriété physico-chimique de cuivre | 26 |
| Tableau 10 : Les propriétés physico-chimiques de zinc | 28 |
| Tableau 11 : Les propriétés physico-chimiques de fer | 30 |
| Tableau 12 : les valeurs limites de la concentration des métaux dans l'eau | 31 |
| Tableau 13 : les normes de concentration des métaux lourds dans l'eau potable | 31 |
| Tableau 14 : L'abréviation des points de pélevement de l'eau de source et de mer..... | 35 |
| Tableau 15 : Paramètres physico-chimique de l'eau de source et l'eau de mer. | 37 |
| Tableau 16 : longueur d'onde et coefficient de corrélation de chaque métal | 45 |

Table des Matières

| | |
|--|----|
| Introduction Générale | 1 |
| Chapitre 1 : Rappel sur la pollution et les métaux lourds | 4 |
| Partie A : La pollution | 5 |
| 1. Définition de la pollution..... | 5 |
| 2. Types de pollution..... | 5 |
| 2.1. Selon le milieu environnemental | 5 |
| 2.2. Selon le type de polluants..... | 6 |
| 3. Origines des pollutions | 7 |
| Partie B : Les métaux lourds | 8 |
| 1. Définition..... | 8 |
| 2. Classification des éléments traces métalliques | 8 |
| 2.1. Selon le tableau de Mendeleïev | 9 |
| 2.2. Selon leurs affinités | 9 |
| 2.3. Selon leurs effets physiologiques et toxiques..... | 10 |
| 3. Origines des ETM..... | 11 |
| 3.1. Origines naturelles..... | 12 |
| 3.2. Origines anthropiques..... | 12 |
| 3.3. Les émissions d'origine naturelle et anthropiques des ETM..... | 13 |
| 4. Contamination de l'eau par les ETM :..... | 15 |
| 5. Bioaccumulation des ETM | 15 |
| 6. La toxicité des ETM..... | 16 |
| 6.1. Le Cadmium | 16 |
| 6.2. Plomb..... | 21 |
| 6.3. Cuivre | 25 |
| 6.4. Le zinc | 26 |
| 6.5. Le fer..... | 29 |
| 7. Les normes des concentrations des métaux lourds | 31 |
| Chapitre 2 : Matériels et Méthodes | 31 |
| 1. Définition de la zone d'étude..... | 32 |
| 1.1. Eau de source..... | 33 |
| 1.2. Eau de mer..... | 33 |

| | | |
|------|---|----|
| 2. | Protocoles de prélèvement des échantillons..... | 34 |
| 2.1. | Préparation des flacons | 34 |
| 2.2. | Procédure de prélèvement..... | 34 |
| 2.3. | Etiquetage des flacons d'échantillons..... | 35 |
| 2.4. | La filtration | 35 |
| 2.5. | Minéralisation et Stockage des échantillons..... | 35 |
| 3. | Les paramètres physiques mesurés | 35 |
| 3.1. | Apparence | 35 |
| 3.2. | pH | 35 |
| 3.3. | La température | 35 |
| 3.4. | Conductivité..... | 36 |
| 3.5. | Matériels | 36 |
| 4. | Dosage des métaux par méthode spectral | 37 |
| 4.1. | Spectrophotométrie d'absorption atomique..... | 37 |
| 4.2. | Appareillage..... | 37 |
| 5. | Méthode de dosage | 40 |
| | Chapitre 3 : Résultats et Discussion | 44 |
| 1. | Introduction..... | 45 |
| 2. | Objectif | 45 |
| 3. | L'eau de source | 46 |
| 4. | L'eau de mer | 54 |
| | Conclusion générale | 63 |
| | Références bibliographiques | 66 |



Introduction Générale



Les ressources en eaux, plus que toute autre ressource, constituent un élément fondamental pour le développement d'un pays. Au cours des dernières années, l'augmentation des activités agro-industrielles et domestiques ainsi que la modification progressive de la nature des polluants qui deviennent de plus en plus chimiques et toxiques a engendré une pression grandissante sur la contamination des systèmes aquatiques [1].

Un milieu aquatique est dit pollué lorsque son équilibre est modifié soit de façon naturelle ou par l'introduction de substance chimique résultants de l'activité humaine ce qui cause la dégradation de la qualité de l'eau et qui rend son utilisation dangereuse. Parmi les substances indésirables contenues dans ces divers déchets chimiques, figurent les éléments traces métalliques (ETM) appelés également métaux lourds.

L'accélération de l'industrialisation et du développement des pays avec l'augmentation de la demande des métaux lourds qui sont considérés comme prioritairement polluant par apport à un grand nombre d'autres polluants toxiques, cause une émission anthropique élevée de ceux-ci dans la biosphère. La pollution par les ETM dans le plan d'eau est un sérieux problème, ne menaçant pas seulement l'écosystème aquatique mais aussi la santé humaine [2].

L'eau polluée par les ETM peut pénétrer dans l'organisme humain par diverses façons, qu'elles soient de manière directe (consommation) ou indirecte (baignade). En raison de leur effet cumulatif, même les métaux qui sont considérés comme essentiel pour le corps deviennent toxique lorsqu'ils dépassent le seuil de la dose limite qui est beaucoup plus élevé que pour les métaux non essentiels qui ne doivent pas être présents dans le corps et sont très toxique même à très faible concentration [3].

La toxicité des ETM touche plusieurs systèmes vitaux du corps endommageant leur fonctionnement. Les principes organes affectés par la toxicité des ML sont le système neurologique [4] et le système rénal ainsi que le système hépatique et le système gastrique, une fois l'un de ces organes atteint les effets deviennent irréversible.

Ce travail, est une contribution à l'évaluation de la contamination des eaux de mer et des eaux de sources par les métaux lourds, au niveau de la wilaya de Tlemcen.

Le principe de dosage est basé sur la méthode spectrométrie d'absorption atomique en mode flamme. Cette étude est basée sur la récolte des échantillons et leur analyse, et sur une revue bibliographique qui fait objet de comparaison des taux de contamination des eaux au fil des années.

Il existe un grand nombre de métaux lourds dans la nature, et parmi eux on a choisi trois métaux essentiels : le zinc, le fer et le cuivre, et deux métaux non essentiels : cadmium et le plomb.

Ainsi, ce mémoire comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités sur : les métaux lourds, la pollution et son impact sur l'environnement et la santé humaine.
- Le deuxième chapitre présente en détail la zone d'étude et les points de prélèvement ; Méthode de prélèvement et stockage des échantillons ainsi que la préparation des courbes d'étalonnages pour le dosage par spectrométrie d'absorption atomique.
- Le troisième chapitre présente les résultats obtenus du dosage des échantillons avec discussion et interprétation.

Et on termine par :

- Une conclusion générale.



Chapitre 1 : Rappels sur la pollution et les métaux lourds



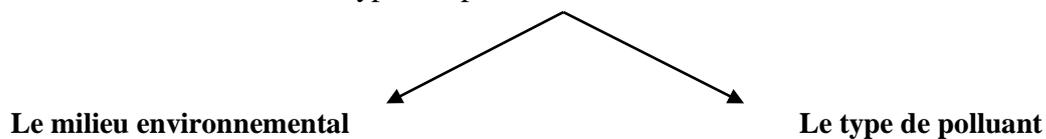
Partie A : La pollution

1. Définition de la pollution

Liée en général à l'activité humaine la pollution se définit par la dégradation ou l'altération de l'environnement, dû à l'introduction directe ou indirecte de substances (solide, liquide, gaz) ayant une composition chimique potentiellement toxiques, cause la modification chimique, physique ou biologique du biotope empêchant ainsi le fonctionnement des processus naturels ce qui engendre des effets indésirables sur l'écosystème et sur la santé des êtres vivants.

2. Types de pollution

Les types de pollution sont classés selon



2.1. Selon le milieu environnemental

2.1.1. Pollution atmosphère

La pollution atmosphérique fait référence à l'air que nous respirons, elle concerne uniquement les plus basses couches de l'atmosphère.

La biosphère produit naturellement des gaz et des particules qui se retrouvent dans l'atmosphère mais l'activité humaine modifie ces émissions apportant une contribution à la pollution de l'atmosphère en libérant des composés gazeux ou des particules quelle que soit fixe (activités industrielles, domestiques, agricoles, etc.) ou mobile (trafic automobile, avions, etc.) qui sont nocives pour la biosphère et la santé public ; tels que le monoxyde d'azote, hydrogène sulfuré les métaux lourds, les pesticides, et les solvants, etc. ces polluants occasionnent des maladies respiratoires et cardio-vasculaires et peuvent être mortelles [5].

2.1.2. Pollution du sol

La pollution des sols représente l'apport de substances nocives (provenant principalement des activités humaines) qui modifient l'équilibre du sol. Cela est dû aux activités agricoles (utilisation massive d'engrais et de pesticides) causées par la propagation des boues [6], le traitement des eaux usées et les déchets industriels (matière plastique, produits chimiques).

Le sol contaminé est caractérisé par l'épuisement des réseaux alimentaires, qui est lié à la perte de biodiversité. En raison de l'oxygénation et de l'humidité du sol, il a un effet néfaste sur les organismes du sol. Par exemple, lorsque l'oxygène est présent dans le sol, il ne produira pas de micro-organismes anaérobies stricts [7].

2.1.3. Pollution de l'eau

Lorsqu'un accident de pollution de l'eau se produit, l'eau devient impropre à la consommation et certaines de ses propriétés (physiques, chimiques et biologiques) seront dégradées. Parmi ces polluants il existe certains composés biodégradables, tels que les nutriments, mais il existe également de nombreux polluants difficiles ou non dégradables, par exemple celles qui contiennent des huiles minérales, des résidus de pesticides, des métaux ou des hydrocarbures halogénés. Ce qui peut entraîner des effets plus graves, comme une menace pour la santé humaine, une perte économique, une instabilité sociale, et détruire l'équilibre écologique aqueux [8].

2.2. Selon le type de polluants

2.2.1. Pollution physique

Elle se manifeste par la modification de propriétés physique d'un environnement résultant des déchets radioactif, solides, ou même thermiques [9].

2.2.2. Pollution chimique

Ce type de pollution se manifeste par la dégradation d'un écosystème par le biais des produits chimiques. Il existe des micropolluants organiques tels que: les hydrocarbures, les pesticides et des micropolluants inorganiques tels que : les métaux lourds ; résultants des rejets industriels, et qui ont la spécificité des bioaccumulations ce qui peut engendrer des effets nuisibles pour l'environnement et la santé humaine [10].

2.2.3. Pollution biologique

La présence des microorganismes et les germes font l'objet de la contamination biologique telle que (les bactéries, virus, parasites, champignons, etc.) [11].

3. Origines des pollutions

L'eau recouvre 70 % de la planète, répartis en eau salée 98 % et en eau douce 2 %. C'est l'élément vital pour tous les êtres vivants mais seulement 0,02 % est utilisable par l'homme [12].

L'écosystème aquatique est soumis à l'interaction des trois compartiments de la biosphère, et avec la pollution qui a recouvert tout le globe terrestre, l'eau est devenue le réservoir des différents types de polluants provenant de différentes origines [13].



Figure 1 : Sources des polluants dans l'environnement [13].

La pollution aquatique résulte principalement des eaux usées qui sont dues à l'action de l'homme avec différentes façons parmi celle-ci on site :

3.1. Origine agricole

Elle consiste la première cause des pollutions, Utilise des produits chimiques pour la culture qui provient du phénomène de lessivage, et pour l'élevage. Les contaminants principaux résultant de celle-ci sont : les pesticides, les engrais, qui peuvent produire des éléments traces métalliques dans l'eau, ainsi que les lisiers et les purins [14].

3.2. Origine industriel

Elle est produite essentiellement des usines; ces eaux peuvent contenir des éléments traces métalliques (As, Pb, Cr, etc. ...), des solvants, des colorants [15].

3.3. Origine domestiques

Ces eaux sont généralement chargées en matière organique, azote et phosphore. Elles proviennent du milieu où la population humaine se trouve [15].

Partie B : Les métaux lourds

1. Définition

On appelle métaux lourds tous éléments chimique ayants une masse volumique qui dépasse 5 mg/cm^3 , et avec un numéro atomique élevé en général supérieur à celui du sodium ($Z=11$). Il est remplacé aujourd'hui par « Eléments Traces Métalliques (ETM) » à cause de leur présence en concentration trace (ppb allant jusqu'à moins de 10 ppm) dans diverses matrices environnementales [16].

2. Classification des éléments traces métalliques

Les métaux lourds se caractérisent par une bonne conductivité de chaleur et d'électricité, avec une capacité de former des liaisons métalliques et de perte d'électrons. Ils ont ainsi des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie. Ils sont présents naturellement à l'état de traces dans l'environnement. Cependant, l'activité humaine a fortement augmenté leur présence, entraînant des effets néfastes sur l'écosystème à cause de leurs caractères cumulatifs et non biodégradables [17].

2.1. Selon le tableau de Mendeleïev

Les ETM dans la classification périodique dans le **Tableau 1** (classification de Mendeleïev), sont présents dans tous les compartiments de l’environnement, généralement en quantité très faible sous forme de traces et ne sont pas biodégradables qui peuvent être soit des métaux naturels (Pb, Zn, Cd), soit des métalloïdes (éléments combinant certaines caractéristiques du métal et 19 d’autres caractéristiques non métalliques (As, B, Se), soit des non métaux (N, F, Cl,).

Tableau 1 : Classification périodique des éléments [18].

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

Legend:

- Non-métaux
- Métaux alcalins
- Métaux alcalino-terreux
- Métaux de transitions
- Métaux pauvres
- Métalloïdes
- Halogènes
- Gaz nobles
- Lanthanide
- Actinide

2.2. Selon leurs affinités

Neiboer et Richardson, ont proposé une nouvelle classification des éléments, basée sur les propriétés de complexation. Ils distinguent trois classes d’éléments métalliques.

- **Classe A** : regroupe des éléments qui ont une affinité pour des ligands contenant des atomes d’oxygène (Carboxyle, Carbonyle, Alcool, Phosphate et Phosphodiester).

- **Classe B** : regroupe des éléments qui ont une affinité pour des ligands contenant des atomes d'azote et du soufre (Thiol, Disulfure, Thiolether et les Amines).
- **Classe intermédiaire** : regroupe des éléments qui ont une affinité à la fois pour l'oxygène, l'azote et le soufre [19].

Tableau 2 : Classification des principaux ETM

| Classe A | Classe intermédiaire | Classe B |
|---|---|--|
| Calcium Magnésium Manganèse Potassium Sodium Strontium | Zinc Plomb Fer Chrome Cobalt Nickel Arsenic Vanadium | Cadmium Cuivre Mercure Argent |

En générale les métaux impliqués souvent dans la pollution, appartiennent aux classe B et intermédiaire peuvent réagir avec tous les groupements fonctionnels [21].

2.3. Selon leurs effets physiologiques et toxiques

Les métaux rencontrés dans l'environnement peuvent être classés selon leur caractère essentiel ou non [22].

- **Les ETM essentiels**

Certains ETM sont nécessaires aux organismes vivants et considérés comme essentiel en faible quantité si des symptômes pathologiques apparaissent lorsque sa teneur diminue ou qu'il est absent et disparaissent lorsqu'il est rajouté. Ce sont des oligo-éléments qui interviennent dans des nombreux processus cellulaires tels que les réactions métaboliques (des protéines, des glucides et des lipides) ou les réactions enzymatiques (déshydrogénases, protéinase, peptidase). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil.

• **Les ETM non essentiels**

Ces ETM sont toxiques pour les organismes vivants, leurs expositions excessives peuvent conduire à des effets néfastes même à faible concentration [23]. Ils sont considérés comme des polluants de l'environnement.

Le **Tableau 3** montre la classification des oligo-éléments à risque élevé et la faible de carence et les différents contaminants chez l'homme.

Tableau 3 : Classification des oligo-éléments et des contaminants stricts chez l'homme [22].

| Oligo-éléments à risque élevé de carence | Oligo-éléments à faible risque de carence | Contaminants stricts |
|---|---|---|
| Cuivre Zinc Sélénium Chrome Molybdène | Nickel Cobalt Arsenic | Plomb Cadmium Mercure Thallium |

3. Origines des ETM

Les métaux lourds peuvent provenir de plusieurs sources d'origine naturelles ou anthropiques.

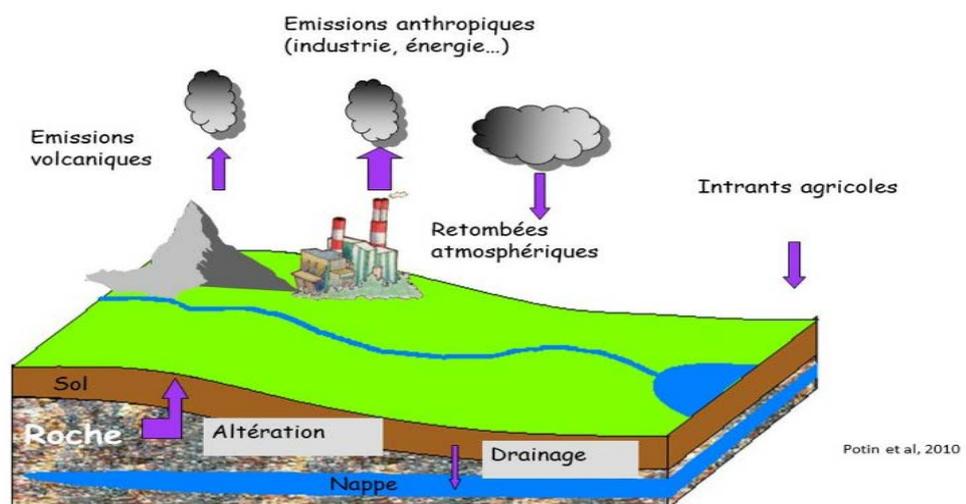


Figure 2 : Les origines naturelles et anthropiques des ETM [24].

3.1. Origines naturelles

Les ETM sont présents naturellement dans les roches et /ou les sédiments océaniques. Les métaux lourds d'origines naturelles sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes, et leur concentration dans l'environnement ne dépasse généralement pas les normes. Ils sont introduits dans la biosphère via l'activité volcanique, altération des continents, ou par les incendies de forêts [25].

3.2. Origines anthropiques

A présent les émissions d'origine anthropiques dépassent celles qui sont d'origines naturelles pour un bon nombre d'éléments à cause de l'activité humaine, mais celle-ci n'a apporté aucun changement dans les volumes des ETM. Elle a surtout changé la répartition des métaux, les formes chimiques assez réactives (qui sont considérablement plus toxiques et causent des risques supérieurs par rapport au métaux naturels), et les concentrations par l'introduction de nouveaux modes de dispersion (fumées, égouts, voitures...).

Les principales sources anthropiques sont :

- Les activités pétrochimiques.
- L'utilisation de combustibles fossiles.
- Les transports.
- L'incinération des déchets.
- Les déchets urbains.
- Les activités minières et métallurgiques [26].

Le **Tableau 4** présente quelques exemples de sources industrielles et agricoles d'où peuvent provenir les ETM présents dans l'environnement.

Tableau 4 : Principales sources anthropiques d'ETM présents dans l'environnement [27].

| Sources anthropiques en ETM | ETM | Caractéristique de la pollution |
|--|------------------------------------|---|
| Mines de métaux | Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Z | Reliquat d'acide de drainage, résidus de métaux, terrils. |
| Intrants agricoles | Cr, Mo, Pb, U, V, Zn | Ruissellement, pollution des eaux superficielles et souterraines, bioaccumulation dans les plantes. |
| Boue d'épuration | Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Cr, As, Hg | transfert dans les eaux de surface et souterraines. |
| Industries Métallurgiques | Pb, Mo, Ni, Cu, Cd, As, Te, U, Zn | résidus de métaux et terrils |
| Elimination des Déchets | Zn , Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg | lessivage des zones de décharge, transfert dans les eaux de surface et souterraines. |
| Electronique | Pb, Cd, Hg, Pt, Au, Cr, As, Ni, Mn | déchets solides et liquides provenant des procédés de fabrication et de recyclage. |
| Industries de finition des métaux | Cr, Ni, Zn, Cu | Effluent liquide produit par les procédés de galvanisation et plaquage. |
| Batteries | Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg | Ecoulement du liquide des batteries contaminant le sol et les eaux souterraines . |
| Peintures et pigments | Pb, Cr, As, Ti, Ba, Zn | Déchets liquides lors de la production et détérioration des peintures, pollution du sol . |

3.3. Les émissions d'origine naturelle et anthropiques des ETM

Après la libération des ETM par les différentes sources (naturelles ou anthropique), ils se dispersent à travers tous les compartiments du milieu naturel y compris les espèces vivantes. L'être humain est en contact avec tous les écosystèmes, donc il peut être exposé aux

contaminants par diverses manières, soit à partir de l'alimentation (végétal ou animal) ou directement de la nature (air, sol, eau).

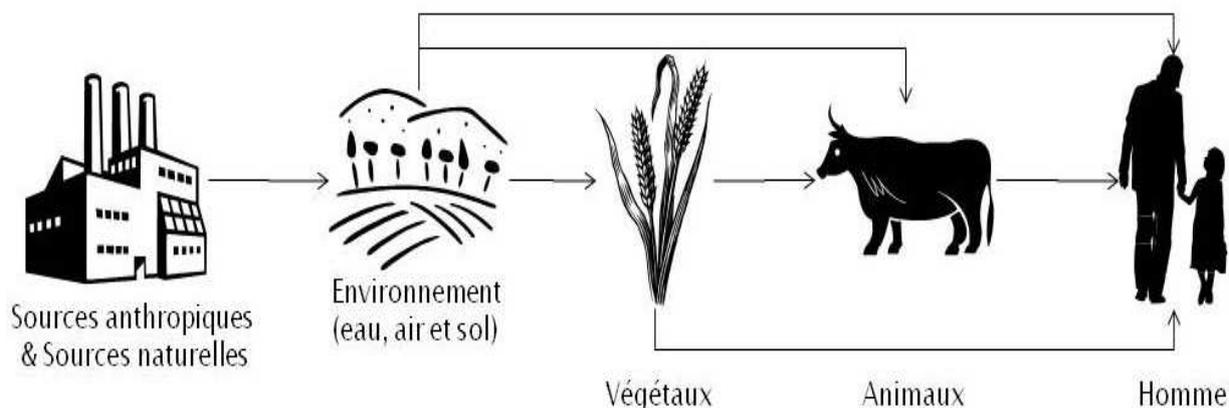


Figure 3 : Cycle simplifié des ETM depuis les émissions jusqu'à l'exposition humain [28].

Le **Tableau 5** montre la comparaison des contributions des émissions d'origine naturelle et des sources anthropiques à l'émission totale mondiale des ETM pour le milieu des années 1990.

Tableau 5 : Estimations des émissions atmosphériques naturelles et anthropiques des ETM pour le milieu des années 1990 (en 10^3 T/année) [29].

| ETM | Emissions anthropiques | Emissions Naturelles | % Anthropique |
|-----|------------------------|----------------------|---------------|
| As | 5,0 | 12,0 | 29 |
| Cd | 3,0 | 1,3 | 70 |
| Cr | 14,7 | 44,0 | 25 |
| Cu | 25,9 | 28,0 | 48 |
| Hg | 2,2 | 2,5 | 47 |
| Mo | 2,6 | 3,0 | 46 |
| Ni | 95,3 | 30,0 | 76 |
| Pb | 119,3 | 12,0 | 91 |
| Sb | 1,6 | 2,4 | 40 |
| V | 240,0 | 28,0 | 90 |
| Zn | 57,0 | 45,0 | 56 |

On constate que Pb et V retrouvés dans l'atmosphère sont à 90% d'origine anthropique. Cette observation est à relier à l'émission importante de ces 2 éléments lors de la combustion

d'énergies fossiles. Le nickel est également issu majoritairement de la combustion du pétrole [26].

4. Contamination de l'eau par les ETM :

Les ETM sont des facteurs polluants importants et très toxiques dûs à leur capacité de s'accumuler dans le biotope. Ils pénètrent dans les écosystèmes avec les précipitations, les cours d'eau, les effluents et les rejets accidentels abandonnés comme sous-produits des industries, des mines ou s'échappant des bateaux. Les ETM dans l'eau subissent des cycles de transformation et de complexation comme réduction par processus biochimique, méthylation, déméthylation et oxydation d'espèces de métaux isolées des réactions redox peuvent aussi faciliter certaines transformations, cette pollution ajoutée à la charge polluante déversée dans l'écosystème aquatique, s'accompagne d'une altération de la qualité de la vie marine [30].

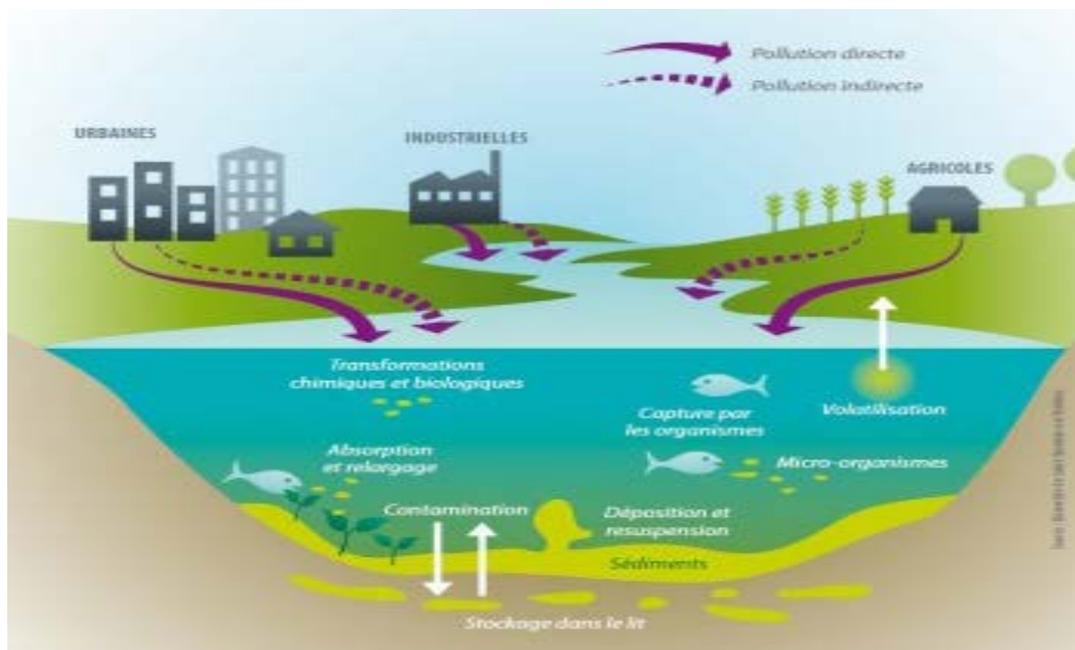


Figure 4 : Réaction d'un écosystème aquatique à différentes pollutions [31].

5. Bioaccumulation des ETM

C'est le processus par lequel un organisme vivant absorbe une substance présente dans un biotope à une vitesse plus grande que celle avec laquelle il l'excrète, ou la métabolise.

Les métaux lourds sont connus pour leurs toxicités, et le phénomène d'assimilation et de concentration nommée bioaccumulation augmente cette caractéristique.

- **L'assimilation**

Elle se définit par l'absorption du polluant résultant d'une exposition par voie interne.

- **Bioconcentration**

Elle se manifeste par l'absorption continue d'un polluant, d'un écosystème vers un organisme vivant qui peut atteindre au point où la concentration du polluant dans l'organisme devienne plus élevée que dans le milieu naturel.

- **Bioamplification**

C'est la circulation du polluant dans les milieux trophiques, des espèces se nourrissent sur des créatures ayant concentré les polluants dans leurs organismes et donc l'espèce est affectée par les polluants aussi, de cette manière le contaminant se déplace d'une espèce à une autre et c'est ce qu'on appelle l'amplification [32].

6. La toxicité des ETM

En général, la toxicité des ions métalliques pour les systèmes de mammifères est due à la réactivité chimique des ions avec les protéines structurales cellulaires, les enzymes et le système membranaire. Les organes cibles des toxicités des métaux sont habituellement les organes qui accumulent les concentrations les plus élevées du métal *in vivo*. Cela dépend souvent de la voie d'exposition et du composé chimique du métal c.-à-d. son état de validité, sa volatilité, sa solubilité lipidique, etc. Chaque métal possède des caractéristiques uniques et des propriétés physico-chimiques qui confèrent à ses mécanismes d'action toxicologiques spécifiques [33].

6.1. Le Cadmium

6.1.1. Historique et découverte

Le cadmium (Cd), fut découvert en 1808 grâce aux premières études d'électrochimie entreprises par le chimiste suédois Magnus Martin af Pontin, mais c'est en 1817 que le professeur de chimie l'allemand Friedrich Stromeyer le prépara pour la première fois [34]. Le terme « Cadmium » est tiré du mot latin médiéval « cadmia », un nom anciennement donné au carbonate de zinc, ou encore au mot gréco-latin « kadmeia » qui est une appellation désuète autrefois utilisée en Europe pour désigner les différents types de minerais de zinc oxydé [35].

6.1.2. Propriétés physico-chimiques

Le cadmium est un métal de transition toxique, de numéro atomique 48. Blanc argent, légèrement bleuté (**Figure 5**), il est ductile, malléable et résiste à la corrosion atmosphérique. Sa densité est de 8650 kg/m³. C'est un métal n'existe pas à l'état natif et relativement rare qui caractérise par des propriétés physico-chimiques proches du zinc. Il fond à 320,9 °C et bout à 767 °C. Lors de l'ébullition du cadmium, il se dégage des vapeurs jaunes toxiques [36].



Figure 5 : Le cadmium.

| | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Numéro atomique | 48 |
| Poids atomique | 112.41 u |
| Rayon atomique | 155 pm |
| Configuration électronique | [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² |
| Point de fusion | 321.07 °C |
| Point d'ébullition | 767.3 °C |
| Masse volumique 20 ° C | 8.65 g/cm ³ |

| | |
|-------------------------|-------------|
| Chaleur de fusion | 6.21 kJ/mol |
| Chaleur de vaporisation | 99.6 kJ/mol |

Tableau 6 : Les propriétés physico-chimique de cadmium [37].

6.1.3. Utilisations

Ce métal a été utilisé pour la première fois pendant la première guerre mondiale comme substitut de l'étain et dans les industries de la peinture comme pigment. Aujourd'hui, il est également utilisé dans les batteries rechargeables, pour la production d'alliages spéciaux et également présents dans la fumée de tabac. Environ trois quarts du cadmium est utilisé dans les piles alcalines comme composant d'électrode, la partie restante est utilisée dans les revêtements, pigments et placages et comme stabilisant plastique [38].

6.1.4. Source d'exposition

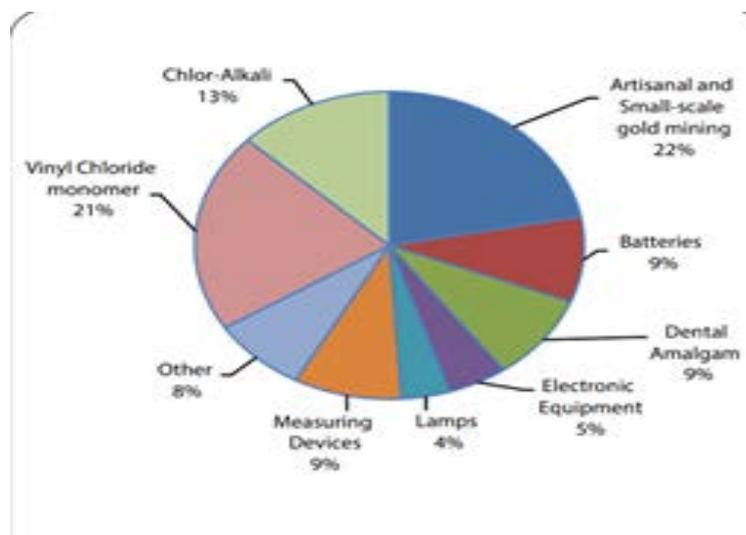


Figure 6 : Une contribution relative des différentes sources d'exposition humaine au cadmium [39].

6.1.5. Toxicocinétique du cadmium

- **Absorption**

Il y a trois voies d'absorption de ce métal

Voie pulmonaire: Importante en milieu industriel, 20 à 30 % du Cd inhalée est absorbée.

(Poussières de diamètre $<5\mu$), l'absorption de la fraction retenue dépend de l'hydrosolubilité de la forme chimique du Cd.

Voie digestive: Absorption par le tractus gastro-intestinal reste faible ($< 10\%$).

Voie Percutanée : Très rare mais possible [40].

- **Distribution**

Après avoir été absorbé par le tube digestif ou les poumons, le cadmium rejoint la circulation sanguine, il est transporté vers le foie via les érythrocytes et l'albumine, où commence la production de cadmium se liant aux protéines de bas poids moléculaire, la métallothionéine. On estime qu'environ 80 à 90 % de la quantité totale de cadmium dans le corps sont liés à la métallothionéine; par conséquent, les ions de cadmium libres ne peuvent exercer leur effet toxique. Une petite quantité de cadmium liée à la métallothionéine est libérée en permanence par le foie et transportée vers les reins par le sang. Le complexe Cd-MT, est filtré à travers les glomérules dans l'urine primaire. Tout comme d'autres protéines de faible poids moléculaire, ce dernier est ensuite réabsorbé à partir de l'urine primaire dans les cellules tubulaires proximales, où les enzymes de la digestion dégradent les protéines phagocytées en peptides et acides aminés de plus petite taille. Les ions de cadmium libres que l'on trouve dans les cellules proviennent de la dégradation de la métallothionéine et ils initient une nouvelle synthèse de métallothionéine, fixant le cadmium, et protégeant ainsi la cellule des ions cadmium libres toxiques. On considère qu'une dysfonction rénale intervient lorsque la capacité de production de métallothionéine des cellules tubulaires est insuffisante.

Les reins et le foie contiennent les concentrations de cadmium les plus élevées, se montant au total à environ 50 % de la teneur corporelle en cadmium. La concentration de cadmium dans le cortex rénal est, avant qu'une lésion rénale provoquée par le cadmium n'apparaisse, environ 15 fois supérieure à la concentration dans le foie [41].

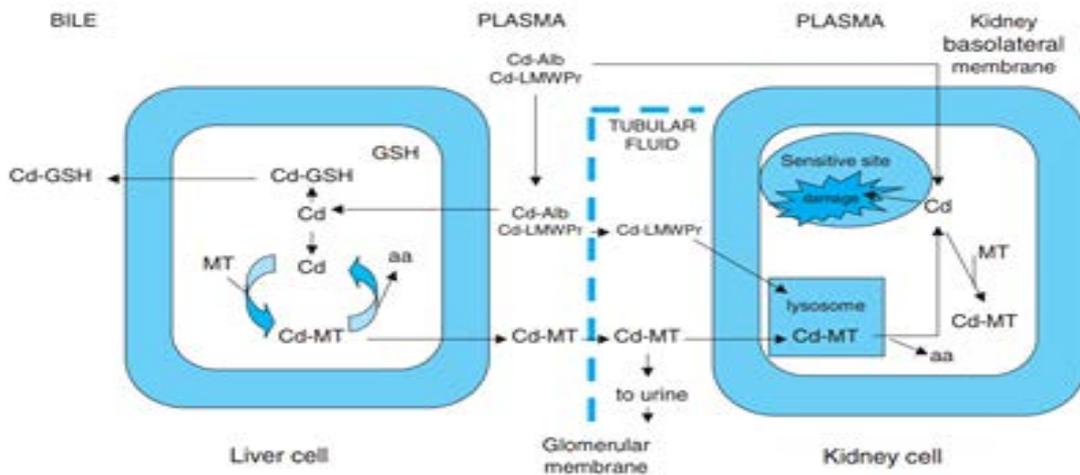


Figure 7 : Transport du cadmium, liaison aux protéines et toxicité [35].

• **Elimination**

L'élimination du cadmium est très lente. Par conséquent, il s'accumule dans l'organisme, les concentrations augmentant avec l'âge et la durée de l'exposition

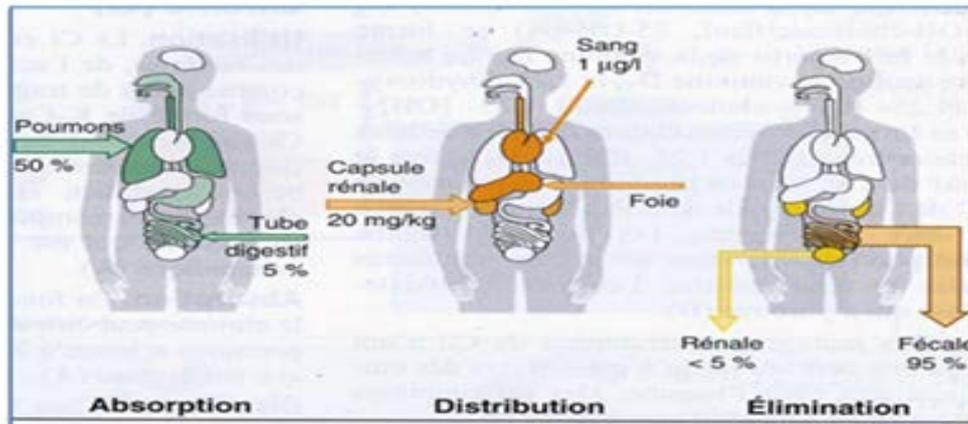


Figure 8 : La voie du Cd dans le corps [42].

6.1.6. Toxicité

Le CIRC (centre international des recherches contre le cancer) a classé le cadmium et ses composés dans le groupe 1, et c'est le septième métal lourd le plus toxique selon Classement de l'ATSDR, puisqu'il disposait de suffisamment de données étayant la cancérogénicité de ces agents, tant chez les humains que chez les animaux sans avoir aucune utilité métabolique connu jusqu'à présent.

Le cadmium est un irritant pulmonaire et gastro-intestinal grave qui peut être mortel, il s'introduit dans le corps humain par inhalation ou par ingestion, rarement par voie cutanée. C'est un métal cumulatif, il s'accumule dans des organes tels que la rate, le cerveau, les poumons, le muscle, le sang. Les organes touchés varient selon la voie d'exposition à cet agent, mais le rein reste l'organe le plus touché par les effets de ce métal [43- 44].

L'inhalation aiguë de fortes concentrations de cadmium provoque la fièvre de fondeur (état grippale) et de graves lésions pulmonaires. Après une ingestion aiguë, des symptômes tels que douleur abdominale, sensation de brûlure, nausées, vomissements, salivation, crampes musculaires, vertiges, choc, perte de conscience et convulsions apparaissent habituellement dans les 15 à 30 minutes

L'exposition de longue durée par inhalation à de bas niveaux peut causer une diminution de la fonction pulmonaire et l'emphysème.

Dans le foie, le complexe cystéine-métallothionéine provoque une hépatotoxicité, puis il circule vers le rein et s'accumule dans le tissu rénal causant une néphrotoxicité. Le cadmium peut se lier aux ligands cystéique, glutamate, histidine et aspartate et peut entraîner une carence en fer provoquant une anémie (Castagnetto et al., 2002). L'exposition chronique à des niveaux élevés de cadmium dans la nourriture peut causer des désordres osseux, incluant l'ostéoporose et l'ostéomalacie, cette intoxication peut également induire la coloration jaunâtre des dents, la rhinite, l'ulcération occasionnelle du septum nasal, les dommages au nerf olfactif et la perte de l'odorat.

La maladie « itai-itai » qui a touché une population japonaise a été le résultat d'une exposition prolongée à des eaux et des céréales contaminées par le cadmium, la maladie se caractérise par des douleurs au dos et dans les articulations, de l'ostéomalacie, des fractures osseuses, et occasionnellement des défaillances rénales [37, 45].

6.2. Plomb

6.2.1. Historique

Le plomb qui vient de nom latin « plumbum » est l'un des métaux qui a été le plus anciennement et le plus largement utilisé par l'homme car il est répandu, facile à extraire et facile à utiliser.

C'est l'un des éléments des pigments retrouvés dans les tombes néandertaliennes moustériennes (40 000 ans avant Jésus-Christ). Il était utilisé par les Égyptiens et les Hébreux, 4 000 ans avant Jésus-Christ, et les Phéniciens ont commencé à l'extraire en Espagne environ 2 000 ans avant notre ère. Ce métal a été utilisé par les romaines et les Grecs pour l'adduction d'eau et acétate de plomb comme conservateur de vin [46].

6.2.2. Propriétés physico-chimique

Le Plomb (symbole Pb), est un élément métallique de couleur gris bleuâtre (**Figure 9**), de numéro atomique 82, très mou, très malléable et ductile, peu ou rarement disponible à l'état natif. Les composés de plomb existent principalement sous forme divalente [35]. Il est présent dans de nombreux minerais, le principale est la galène PbS. Il peut également être rencontré sous la forme d'anglésite PbSO₄ (s). Le Plomb métallique (Pb₀) résiste à la corrosion et peut combiner avec d'autres métaux pour former divers alliages [47]. Il en existe quatre isotopes naturels ²⁰⁴Pb, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb et ²⁰⁸Pb [46].



Figure 9 : Le plomb

Tableau 7 : Les propriété physico-chimique du Plomb [48].

| | |
|--------------------------|---------------------------------|
| Symbole | Pb |
| Numéro atomique | 82 |
| Masse atomique | 207,2 g/mol |
| Masse volumique | 11,34 g/cm ³ a 20 °C |
| Isotope | 4 |
| Température de fusion | 327 °C |
| Température d'ébullition | 1755 °C |

| | |
|----------------------------|----------------------------------|
| configuration électronique | $[Xe] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^2$ |
|----------------------------|----------------------------------|

6.2.3. Les sources d'exposition

Les apports naturels de plomb dans l'environnement ne représentent qu'environ 4 % des émissions totales et se font essentiellement sous forme inorganique. 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 [44].

Tableau 8 : Les sources d'exposition du plomb [49].

| Exposition industrielles | Exposition environnementales |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Extraction minière • Fabrication d'accumulateurs • Fonderies • Plomberies industrielle • Incorporation du plomb dans les peintures, les jouets, les produits phytosanitaires, les matières plastiques, additifs à l'essence... | <ul style="list-style-type: none"> • L'air contaminé par les rejets industriels • L'eau des canalisations • Les aliments et boissons |

6.2.4. Toxicocinétique

• **Absorption**

En raison de sa forte volatilisation le plomb pénètre dans le corps principalement par voie pulmonaire, l'absorption peut être également par voie orale elle est très importante chez les

enfants, mais ne dépasse pas les 10 % chez les adultes. La pénétration percutanée existe aussi pour vu de ses capacités liposolubles.

- **Distribution**

La distribution passe par trois compartiments successifs. Une fois le plomb absorbé par l'organisme, il se fixe sur les globules rouges qui lui permettent de circuler dans le sang, en un temps de demi-vie de 35 jours. Il passe ensuite dans les tissus mous tels que le foie et les reins où son temps de demi-vie est de 40 jours, au niveau de ce compartiment il y'a un faible passage vers le cerveau. L'étape suivante est le compartiment de stockage qui est l'os, le plomb une fois stocké sous forme de triphosphates insoluble, a un temps de demi-vie qui varie entre 10 et 30 ans. Le plomb traverse la barrière hématoencéphalique, et la barrière placentaire.

- **Elimination**

L'élimination est urinaire (> 75 %) et fécale (15 - 20 %). Le reste est éliminé dans les phanères, la sueur et les sécrétions bronchiques [46].

6.2.5. Toxicité

- **Intoxication aiguë**

Elle ne se rencontre pas dans l'industrie, en général, elle résulte de l'ingestion accidentelle d'acétate de plomb, elle se manifeste par des troubles digestifs, atteinte rénale, atteinte hépatique, convulsion et coma conduisant à la mort en 2 à 3 jours.

- **Intoxication chronique**

L'intoxication chronique au plomb passe par 3 phases.

- a. **Phase d'imprégnation, ou présaturnisme**

Elle se manifeste par des plaintes gastro-intestinales, modification de l'humeur, douleurs musculaires et articulaires, réduction des performances psychomotrices, mais ces symptômes ne sont que des signes d'altération principalement biologique.

- b. **Phase d'intoxication franche ou saturnisme**

Durant cette phase, on observe :

- **Troubles de l'état général** : céphalées, anorexie, amaigrissement.
 - **Troubles digestifs** : coliques de plomb, la manifestation la plus fréquente du saturnisme, constipation suivie de douleurs vives et accompagnées de sueurs et de vomissements.
 - **Polynévrite motrice** : atteinte des muscles les plus actifs. La forme la plus caractéristique est la paralysie radiale avec chute du poignet.
 - **Encéphalopathie** : c'est la forme la plus grave du saturnisme, d'apparition brutale (coma, délires, convulsions) ou progressive (perte des capacités intellectuelles, troubles de la mémoire).
- c. **Phase d'imprégnation ancienne ou Phase des séquelles**

Hypertension artérielle permanente.

Néphrite chronique irréversible : séquelle de l'intoxication par le plomb [50, 51].

6.3. Cuivre

6.3.1. Généralités

Le cuivre est l'un des rares métaux à se trouver naturellement dans la nature. Il a alors une couleur rouge ou orangée (**Figure 10**).

Ce métal peut être présent sous diverses formes minérales dans l'environnement. Il est abondamment utilisé dans les domaines industriels et domestiques. Ce métal peut être détecté dans les eaux de surface, les eaux souterraines ou l'eau de mer. Sa présence fait suite à l'érosion du sol ou des rochers, de la dislocation du sol, ou encore à des activités anthropogéniques, telle que l'activité minière ou agricole, et les effluents provenant des usines.

Depuis longtemps, le cuivre métallique est utilisé dans la fabrication de matériaux d'armement, de monnaies, de fils électriques, et de tuyauterie [52].



Figure 10 : le cuivre.

6.3.2. Propriétés physico-chimiques

Le cuivre est un métal caractérisé par une multitude de propriétés physico-chimiques comme le décrit le **Tableau 9**. Il est ainsi stable, malléable, ductile et un bon conducteur de chaleur et d'électricité.

Tableau 9 : Les propriétés physico-chimiques de cuivre [53].

| | |
|--------------------------|--|
| Symbole | Cu |
| Numéro atomique | 29 |
| Masse atomique | 63,54 g/mol |
| Masse volumique | 8,9 g/cm ³ |
| Isotopes stables | 63 et 65 |
| Température de fusion | 1083 °C |
| Température d'ébullition | 2570 °C |
| Structure électronique | 1s ² , 2s ² p ⁶ , 3s ² p ⁶ d ¹⁰ , 4s |

6.3.3. Effets du cuivre sur la santé humaine

Le cuivre à très faible dose est considéré comme un oligo-élément indispensable à la vie [54- 57]. Il intervient dans la fonction immunitaire et contre le stress oxydant, son manque cause le syndrome de Menke et anémie, mais à des doses plus élevées et sous ses formes oxydées il présente une action toxique causant une atteinte rénale, hépatique, le système gastro-intestinal est aussi, une atteints génétique nommé la maladie de Wilson résulte d'une intoxication au cuivre [58].

Les signes cliniques les plus notables d'une intoxication au cuivre par l'eau potable ou un autre breuvage sont des problèmes gastro-intestinaux. Les symptômes les plus fréquents sont les nausées, les maux de tête, les étourdissements, les vomissements et dans une moindre mesure, les douleurs abdominales et la diarrhée, qui surviennent peu de temps après l'ingestion du breuvage contaminé [59, 60].

6.4. Le zinc

6.4.1. Généralités

Quoiqu'il soit de grande consommation et que ses applications se rencontrent dans la vie courante, il est peu connu. Le zinc est cité pour la première fois sous sa dénomination actuelle par Paracelse dans son traité *De re metallurgica*, au début du XVI^e siècle. Son exploitation industrielle a commencé en Angleterre en 1740.

Le zinc est une substance très commune qui est présente naturellement dans l'air, l'eau et le sol mais en concentration raisonnable. Beaucoup d'aliments contiennent du zinc, y compris l'eau potable.

L'activité humaine et les rejets industriels (exploitation minière, la combustion du charbon et des déchets, l'industrie de l'acier) sont la raison de l'augmentation de la quantité de zinc dans l'environnement.

6.4.2. Propriété physico-chimique

Le zinc est un élément chimique métallique blanc bleuâtre (**Figure 11**). Il est présent généralement sous la forme ionique de cation bivalent (Zn^{2+}) et se lie facilement aux matériaux terrestres. Il se trouve réparti dans toutes les couches géologiques du sol [61].



Figure 11 : Le zinc.

Tableau 10 : Les propriétés physico-chimiques de zinc [61].

| | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Symbole | Zn |
| Masse atomique | 65,41 g/mol |
| Numéro atomique | 30 |
| Densité | 7,14 g/cm |
| Température d'ébullition | 910 °C |
| Température de fusion | 419.53 °C |
| Configuration électronique | [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² |
| Rayon atomique | 0,138 nm |

6.4.3. Effets du zinc sur la santé humaine

Le zinc est un oligo-élément métallique qui joue un rôle déterminant dans près de 300 réactions enzymatiques de notre organisme [62, 63]. Il est notamment indispensable au métabolisme des nutriments (protéines, glucides et lipides) et participe à la synthèse de l'ADN, il contrôle ainsi le développement cérébral, la reproduction et la stabilité de la membrane de développement fœtal.

La carence en ce métal provoque une perte d'appétit, une diminution des sensations de goût et d'odeur et un ralentissement de la cicatrisation des blessures [64].

Les effets néfastes d'une exposition orale excessive au zinc se manifestent par nausées, vomissements, douleurs abdominales, anémie, perturbation du métabolisme des protéines et

endommagement du pancréas. Une exposition intensive au chlorure de zinc peut provoquer des désordres respiratoires

Sur le lieu de travail la contamination au zinc peut mener à un état comparable à la grippe, que l'on appelle la fièvre du fondeur. Cet état disparaît après deux jours [65].

6.5. Le fer

6.5.1. Généralités

L'élément chimique fer est classé comme métal de transition. Il est connu depuis l'Antiquité. Son découvreur et sa date de découverte sont inconnus.

Le fer a été le premier métal magnétique découvert. Les Lod stones étaient utilisés par les anciens navigateurs car ils pouvaient être utilisés comme boussoles, pointant vers le pôle nord magnétique; cela a été décrit par l'ancien philosophe grec Thales de Milet en 600 avant JC. Les Lod stones étaient fabriqués à partir de magnétite, un oxyde de fer naturel. La formule de la magnétite est $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Le fer est ferromagnétique. Le ferromagnétisme est le type de magnétisme le plus puissant. Les autres métaux ferromagnétiques courants sont le nickel et le cobalt. Allié au carbone et avec d'autres éléments d'additions il forme les aciers, dont la sensibilité aux traitements thermomécaniques permet de diversifier encore plus les propriétés du métal.

Le fer est un élément essentiel au développement du cerveau humain. La carence en fer chez les enfants entraîne, entre autres problèmes, une capacité d'apprentissage réduite.

6.5.2. Propriété physico-chimique

C'est un Métal gris (**Figure 12**), le fer possède plusieurs formes allotropiques selon la pression et la température, Ce métal ferromagnétique possède une dureté entre 4 et 5 selon l'échelle de Mohs.



Figure 12 : Le fer.

Tableau 11 : Les propriétés physico-chimiques de fer [66].

| | |
|-------------------------------------|--|
| Symbole | Fe |
| numéro atomique | 26 |
| Masse atomique | 55,85 |
| Densité | 7,8 à 20°C |
| Température de Fusion | 1535 °C |
| Température d'ébullition | 2750 °C |
| Rayon atomique | 0,126 |
| Isotopes Configuration électronique | [Ar] 3d ⁶ 4s ² |

6.5.3. Effet du fer sur la santé humaine

C'est un oligo-élément essentiel dans le corps humain principalement pour la synthèse de l'hémoglobine

La carence en fer cause une anémie ferriprive, maladie liée au métabolisme de l'hémoglobine, corrélation avec la prématurité jusqu'à la mortalité périnatale et morbidité maternelle, petit poids de naissance aussi.

Le mécanisme toxique principal du fer réside dans sa capacité à induire la formation de radicaux libres, avec, pour conséquence, une peroxydation lipidique. Classiquement, l'intoxication au fer est décrite comme évoluant en cinq phases : troubles digestifs ; amélioration clinique transitoire ; toxicité systémique avec choc, acidose métabolique et coma ; toxicité hépatique avec coagulopathie; séquelles digestives à type de sténose. Il peut causer des conjonctivites, et des problèmes de rétines.

L'inhalation de concentrations excessives d'oxyde de fer peut augmenter le risque de développement de cancer du poumon [67].

7. Les normes des concentrations des métaux lourds

Tableau 12 : les valeurs limites de la concentration des métaux dans l'eau [68].

| Métal | Formule chimique | Selon O.M.S (mg/L) | Selon N.A (mg/L) |
|------------------|------------------|--------------------|------------------|
| Plomb | Pb | 0,01 | 0,5 |
| Cadmium | Cd | 0,003 | 0,07 |
| Cuivre | Cu | 2 | 0,5 |
| Zinc | Zn | 2 | 3 |
| Fer | Fe | 0,2 | 3 |
| Chrome | Cr | 0,1 | 1 |
| Nickel | Ni | 0,02 | 0,5 |
| Manganèse | Mn | 0,4 | 1 |

Tableau 13 : les normes de concentration des métaux lourds dans l'eau potable [68].

| Métal | Symbole | Norme selon l'O.M.S (mg/L) |
|----------------|---------|----------------------------|
| Cadmium | Cd | 0,003 |
| Plomb | Pb | 0,01 |
| Zinc | Zn | 5 |
| Cuivre | Cu | 2 |
| Fer | Fe | 0,3 |



Chapitre 2: Matériels et Méthodes



1. Définition de la zone d'étude

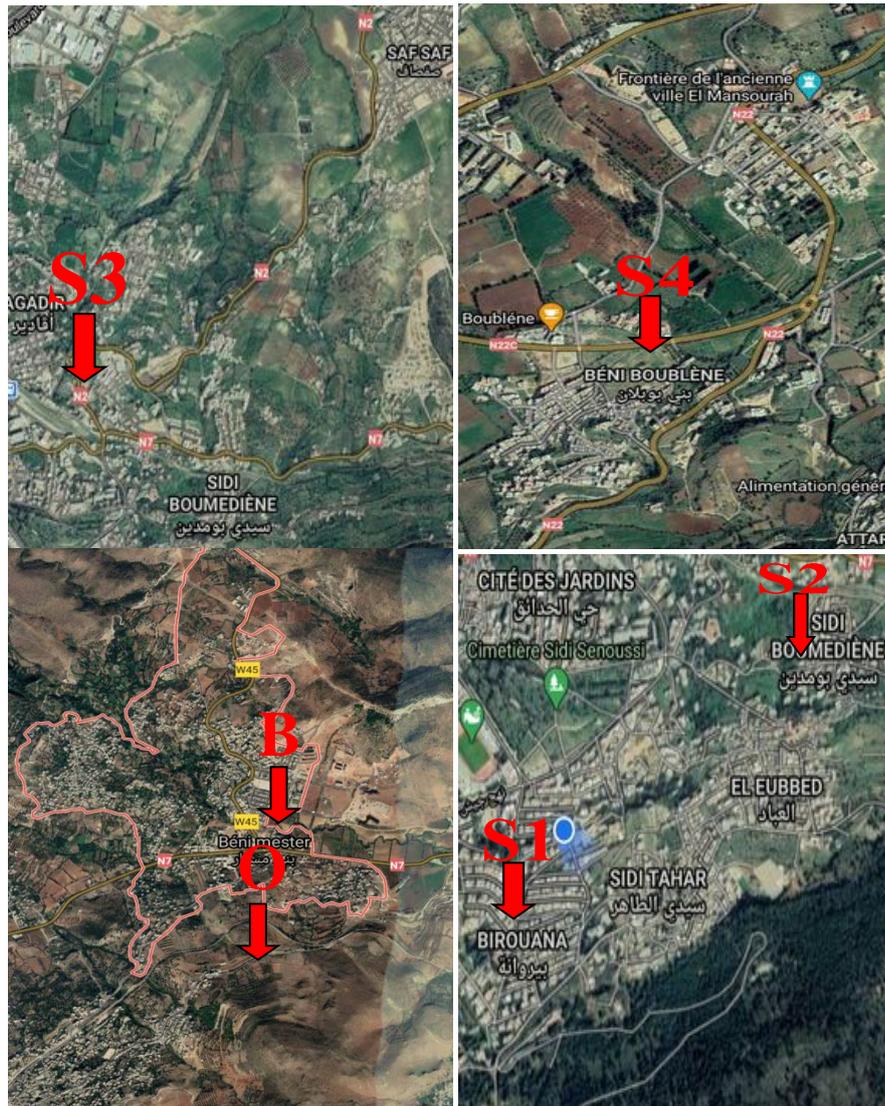


Figure 13 : Les différentes zones de récolte des échantillons de l'eau de source



Figure 14 : Les deux zones de récolte des échantillons de l'eau de mer

L'étude a été répartie en deux parties d'échantillonnage : eau de mer et eau de source

1.1. Eau de source

La récolte des échantillons a été faite au niveau des sites suivants :

- Source de Beni Boublenne : c'est une source se trouvant à côté du minaret de Mansourah.
- Source de Birouana : cette source aussi appelé villa Rivant se situe à environ 700 mètres du stade Akid lotfi Tlemcen
- Source Saf Saf : cette source se situe à 1 km de Safsaf.
- Source de sidi Boumedienne : cette source est à 50 mètres de la mosquée de Sidi Boumédienne.
- Source de Ounadjla : elle se situe à Beni mester
- Source de Beni mester : cette source est à environ 9 km à vol d'oiseau à l'ouest de Tlemcen.

1.2. Eau de mer

La récolte de l'eau de mer n'a consisté que de deux emplacement dans le but de faire une comparaison.

- La plage de Sidi Youchaa : c'est une plage de baignade autorisée avec un port de plaisance. Elle est située à un jet de pierre de Ghazaouet (10 km). Le prélèvement a été effectué au bord de la mer.
- Le port d'Oran : ce port est à l'ouest du pays et exactement dans la ville d'Oran, le prélèvement a été fait au bord du port.

| Abréviation | Nom complet de la source |
|-------------|----------------------------|
| S1 | Source de Birouana |
| S2 | Source de Sidi Boumedienne |
| S3 | Source Saf Saf |
| S4 | Source de Beni boublene |
| O | Source de Ounadjla |
| B | Source de Beni mester |
| P1 | Plage de Sidi Youchaa |
| P4 | Port d'Oran |

Tableau 14 : L'abréviation des points de prélèvement de l'eau de source et

de mer.

2. Protocoles de prélèvement des échantillons

2.1. Préparation des flacons

Pour le dosage des métaux lourds, il convient d'utiliser des récipients en matière de PET cette dernière est une substance qui évite toute contamination possible. Les récipients sont préparés à l'avance selon le mode opératoire suivant :

- Laver le récipient et le bouchon avec une solution diluée de détergent et d'eau de robinet.

- Rincer abondamment avec l'eau de robinet puis l'eau distillée.
- Rincer avec une solution aqueuse d'acide nitrique.
- Vider et remplir complètement avec une solution aqueuse d'acide nitrique.
- Laisser reposer pendant au moins 24 H.
- Vider les récipients ; rincer avec l'eau distillée et replacer les bouchons.

2.2. Procédure de prélèvement

Pour l'eau de source on a fait un rinçage multiple puis on a rempli les récipients.

Concernant l'eau de mer les récipients sont rincés deux ou trois fois par l'eau échantillonnée avant de les remplir, concernant l'eau du port on a utilisé un sceau bien propre et une corde pour pouvoir remplir notre récipient après rinçage multiple par l'eau rempli dans le sceau.

2.3. Etiquetage des flacons d'échantillons

Les flacons contenant les échantillons sont étiquetés pour pouvoir les utiliser sans le confondre.

2.4. La filtration

La filtration est faite sur papier filtre, cette étape concerne les eaux de mer pour éliminer les particules en suspension.

L'eau de source ne nécessite pas cette étape en raison de l'absence de suspension.

2.5. Minéralisation et stockage des échantillons

On ajoute quelques gouttes (2 à 3) d'acide nitrique à 69 % dans chaque flacon d'échantillon pour ramener le pH à 2 à l'aide d'un pH mètre, les flacons sont mis au réfrigérateur à 4 °C pour une bonne conservation.

3. Les paramètres physiques mesurés

3.1. Apparence

L'apparence comporte deux caractéristiques

- **La turbidité :** C'est l'indice apparent qui montre que l'eau contient des matières en suspension (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...)

- **La couleur** : la couleur de l'eau peut provenir de substances minérales comme le fer ou le manganèse et/ou de substances organiques. Les substances organiques comprennent généralement des algues, des protozoaires et des produits naturels provenant de la décomposition de la végétation (substances humiques, tanins, lignine)

3.2. pH

Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. La valeur 7 correspond à la neutralité. Le domaine entre 0 et 7 constitue le milieu est acide, et entre 7 et 14 le milieu est basique. Le pH renseigne sur l'origine de l'eau. Par exemple, les eaux de surface ont un pH compris entre 7 et 8 [69].

3.3. La température

La température de l'eau est mesurée à l'aide d'un thermomètre.

3.4. Conductivité

Elle renseigne sur la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. On se sert d'un appareil appelé conductimètre. La mesure de la conductivité renseigne sur la teneur en matières dissoutes dans l'eau sous forme d'ions chargés électriquement. La température de l'eau influence la conductivité qui sera d'autant plus importante que la température est élevée [70].

Tableau 15 : Paramètres physico-chimique de l'eau de source et l'eau de mer.

| Echantillon | Conductivité $\mu S/cm$ | pH | Température °C |
|-------------|-------------------------|------|----------------|
| S1 | 708 | 7,39 | 25 |
| S2 | 806 | 7,79 | 25 |
| S3 | 729 | 7,8 | 24 |
| S4 | 931 | 7,51 | 25 |
| O | 746 | 7,29 | 20 |
| B | 689 | 7,35 | 21 |
| P1 | 52090 | 7,4 | 25 |
| P4 | 50300 | 7,93 | 25 |

3.5. Matériels

- ✓ Eau distillée
- ✓ Acide nitrique HNO₃ 69%
- ✓ Bêchers
- ✓ Fioles jaugées
- ✓ Micropipettes
- ✓ pH-mètre
- ✓ Conductimètre
- ✓ Thermomètre
- ✓ SAA

4. Dosage des métaux par méthode spectral

4.1. Spectrophotométrie d'absorption atomique

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) (**figure 15**) est une technique décrite pour la 1ère fois par Walsh (1955). Elle permet le dosage mono-élémentaire des cations majeurs de l'ordre du mg/L dans des échantillons liquides dans une température entre 1700-3150 °C, C'est une des principales techniques mettant en jeu la spectroscopie atomique dans le domaine UV-visible. Utilisée en analyse chimique.



Figure 15 : La spectrométrie d'absorption atomique du laboratoire toxicomed.

- Cette technique qui permet de doser une soixantaine d'éléments chimique à l'état de trace, et qui est une méthode quantitative, se base sur le principe de la loi de Beer-Lambert :

A : absorbance, **C** : concentration d'élément absorbant, **L** : longueur de chemin de la flamme, **K** : coefficient propre à chaque élément.

$$A = K.C. l$$

- L'analyse se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamentale.
- ✚ L'appareil est réglé suivant la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption de chaque solution à analyser selon le métal visant à analyser.

4.2. Appareillage

Le dispositif expérimental utilisé en absorption atomique se compose de :

4.2.1. La lampe à cathode creuse

Elle représente la source lumineuse en raison de ces caractéristiques qui se déterminent par l'émission d'un rayonnement constitué de rais très intenses et très fines.



Figure 16 : lampe à cathode creuse.

4.2.2. Un nébuliseur

Il est responsable de l'aspiration de l'échantillon et le pulvériser en aérosol constitué de fines gouttelettes.

4.2.3. Un brûleur

Qui sert à l'atomisation de l'échantillon utilisant la flamme air acétylène qui permet le dosage de nombreux éléments, sa température est de 2500°C.

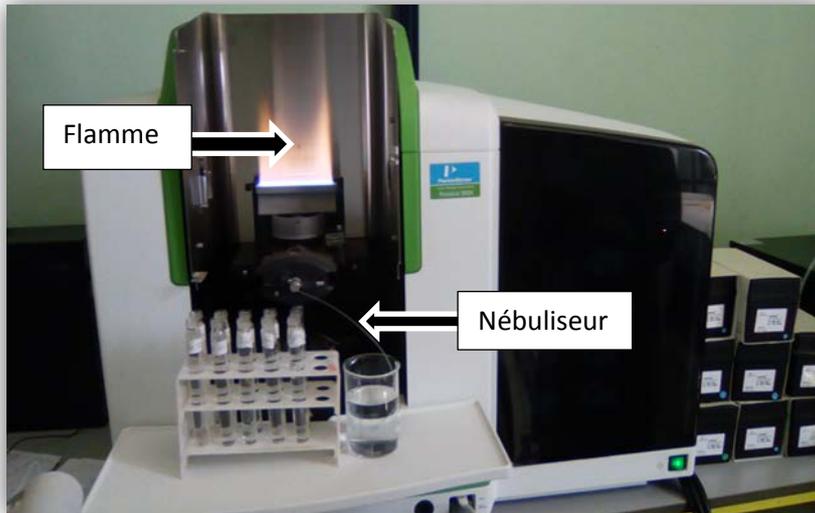


Figure 17 : SAA avec le compartiment de l'atomisation.

4.2.4. Un monochromateur

A un double rôle consistant à ;

- a. Isoler longueur d'onde d'analyse.
- b. Éliminer toute lumière parasite qui provient de la source de rayonnement.

4.2.5. Un détecteur

Il est responsable de la détermination de l'intensité des photons.

4.3. Perturbations

Aussi appelé interférences, il s'agit d'un certain nombre de phénomènes qui peuvent entacher d'erreurs les résultats obtenus. On peut les classer en :

4.3.1. Les perturbations physiques

Il s'agit essentiellement des phénomènes de viscosité et de tension superficielle des solutions étudiées.

4.3.2. Les perturbations chimiques

Les atomes présents dans la flamme n'absorbent que s'ils sont à l'état fondamental, s'ils sont atomisés ou qu'ils forment des oxydes réfractaires dans la flamme ou ionisés ils n'absorbent pas la lumière; On choisit donc des conditions de température qui permettent d'éviter l'ionisation, et on n'utilise jamais l'acide phosphorique comme acide pour

dissoudre les échantillons après minéralisation, car il forme des phosphates difficiles à atomiser.

4.3.3. Les perturbations spectrales

Elles sont dues à la présence de molécules dans la flamme qui absorbent l'énergie de la lampe à cathode creuse. Cette absorption s'ajoute à l'absorption atomique et donne une réponse par excès.

4.3.4. Correction des interférences spectrales

Le rôle des correcteurs est de mesurer automatiquement les absorbances non spécifiques dues aux interférents en tout genre afin de les soustraire de l'absorbance. Lors des réglages préliminaires de l'appareil (c.à.d. en l'absence d'échantillon), il faut ajuster $\log I_0/I = 0$ si on veut obtenir une mesure correcte.

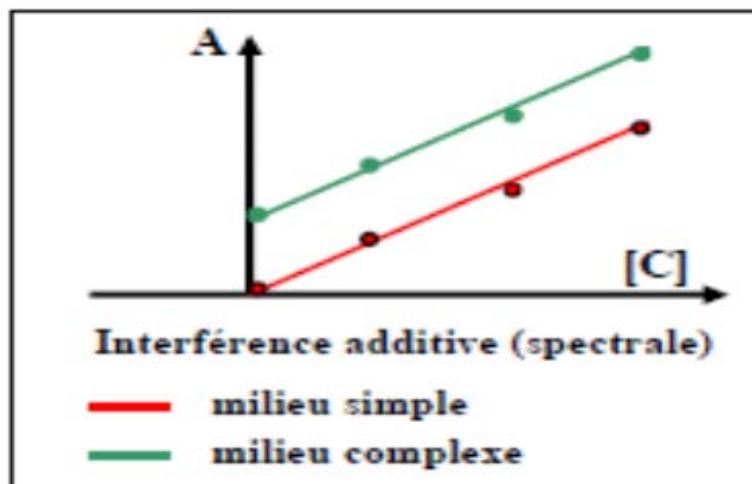


Figure 18 : interférence spectrale.

5. Méthode de dosage

La détermination de concentrations en métaux lourds dans les eaux de différent site prélevés par SAA, nécessite la passage par des courbes d'étalonnages

A partir d'une solution standard de concentration de 1000 mg/L en Cu, Zn et Pb, Fe et le Cd nous avons donc prélevé 1 mL pour préparer une solution (C_2) 10 mg/L dans une fiole de 100 mL en utilisant la loi de dilution. Afin de préparer la courbe d'étalonnage, nous avons préparé plusieurs solutions de concentrations différentes. L'intervalle de concentration dépend du métal utilisé, cette intervalle est donné par l'appareil SAA. Le choix de la longueur d'onde dépend du métal dosé.

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

Exemple de calcul :

$$\text{Pb : } 1000xV = 10 \text{ x}100 \text{ V} = 10 \text{ x}100 / 1000 = 1\text{mL}$$

$$\text{Cd: } 1000xV = 5 \text{ x}100 \text{ V} = 5\text{x}100 /1000 = 0.5\text{mL}$$

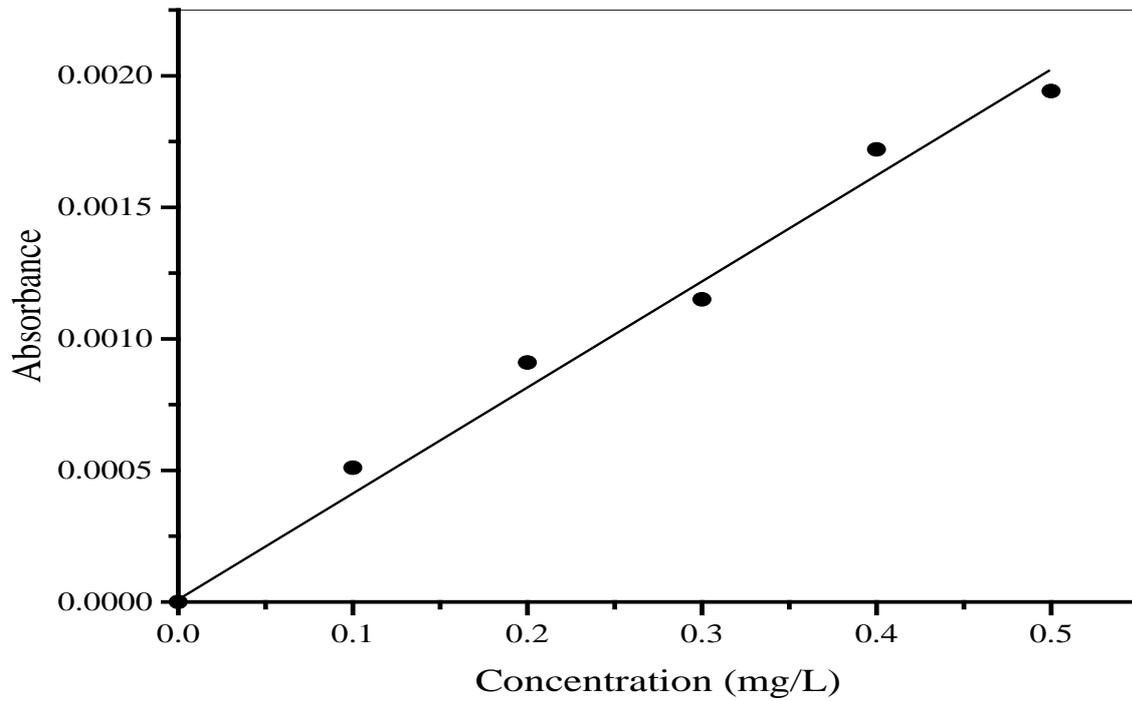


Figure 19: Courbe d'étalonnage du cuivre à longueur d'onde 327,40 nm.

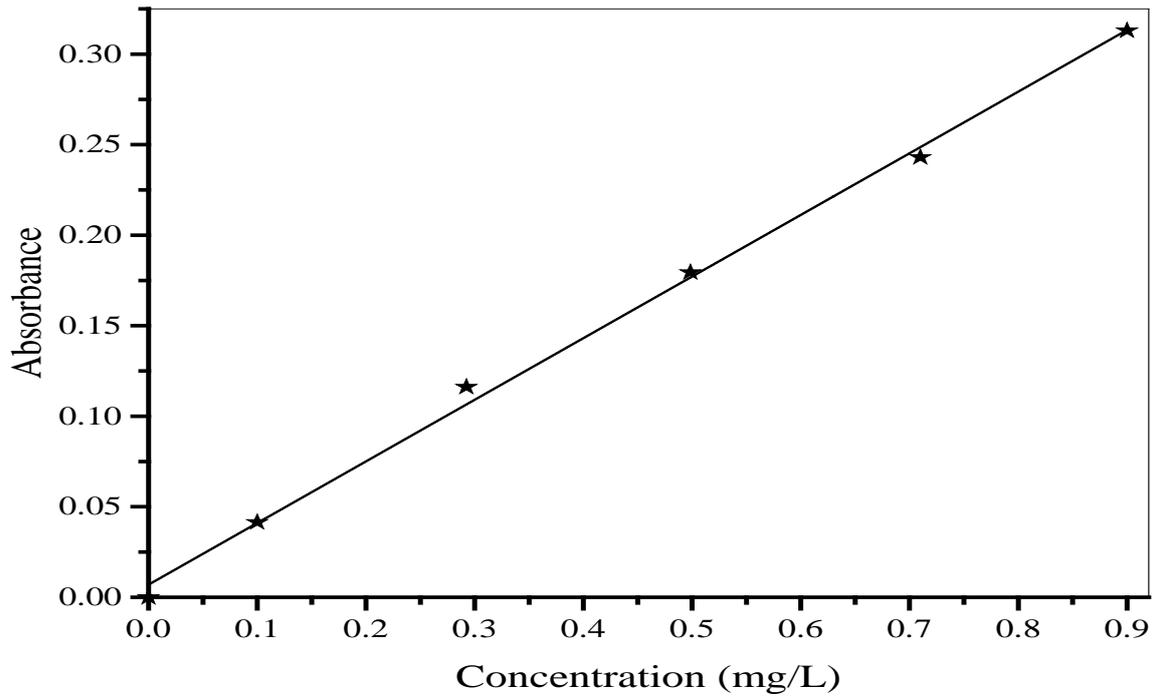


Figure 20 : Courbe d'étalonnage du zinc à longueur d'onde $\lambda = 213,86$ nm.

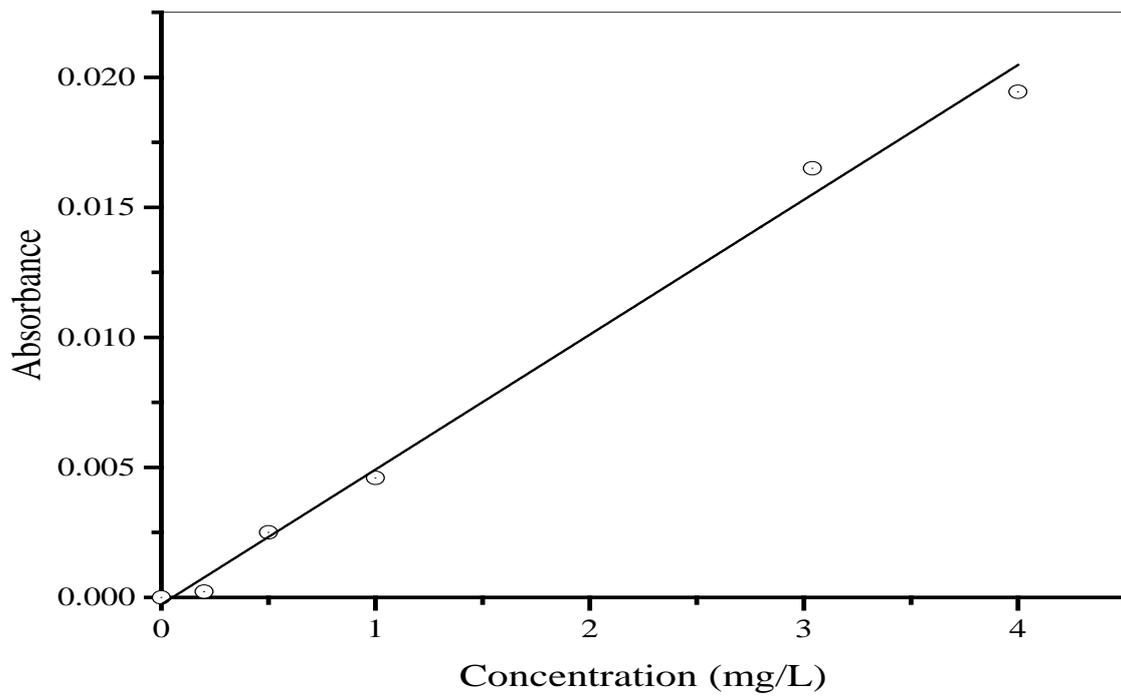


Figure 21 : Courbe d'étalonnage du fer à longueur d'onde 248,33 nm.

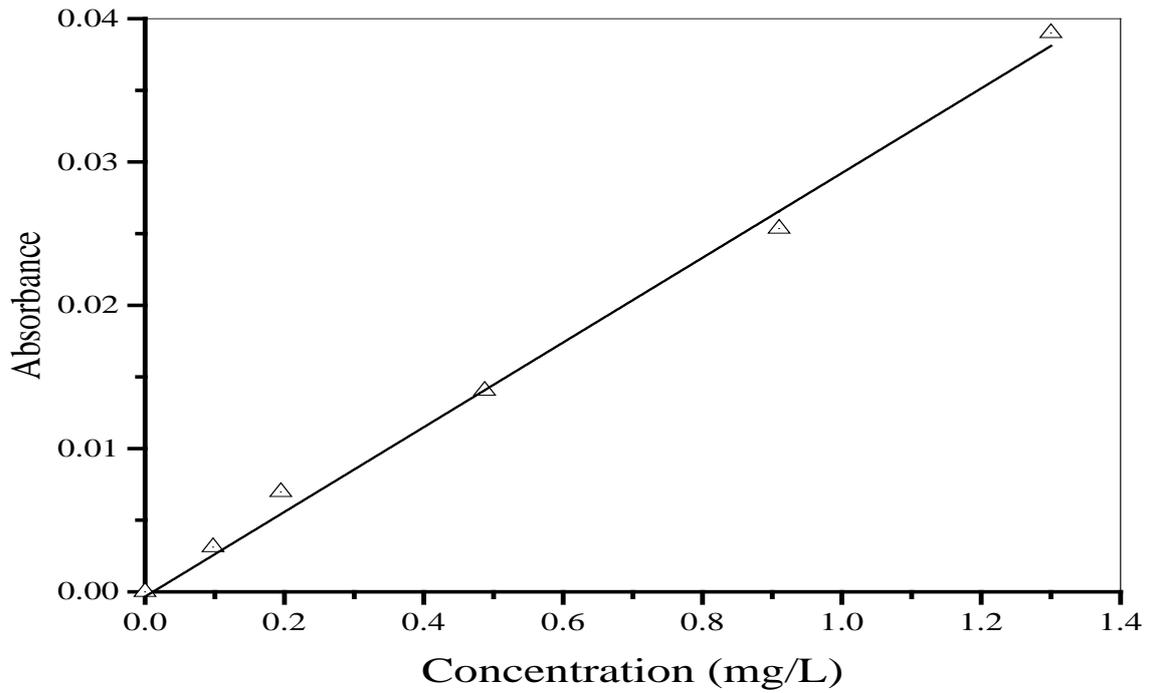


Figure 22 : Courbe d'étalonnage du cadmium à longueur d'onde 278,80 nm.

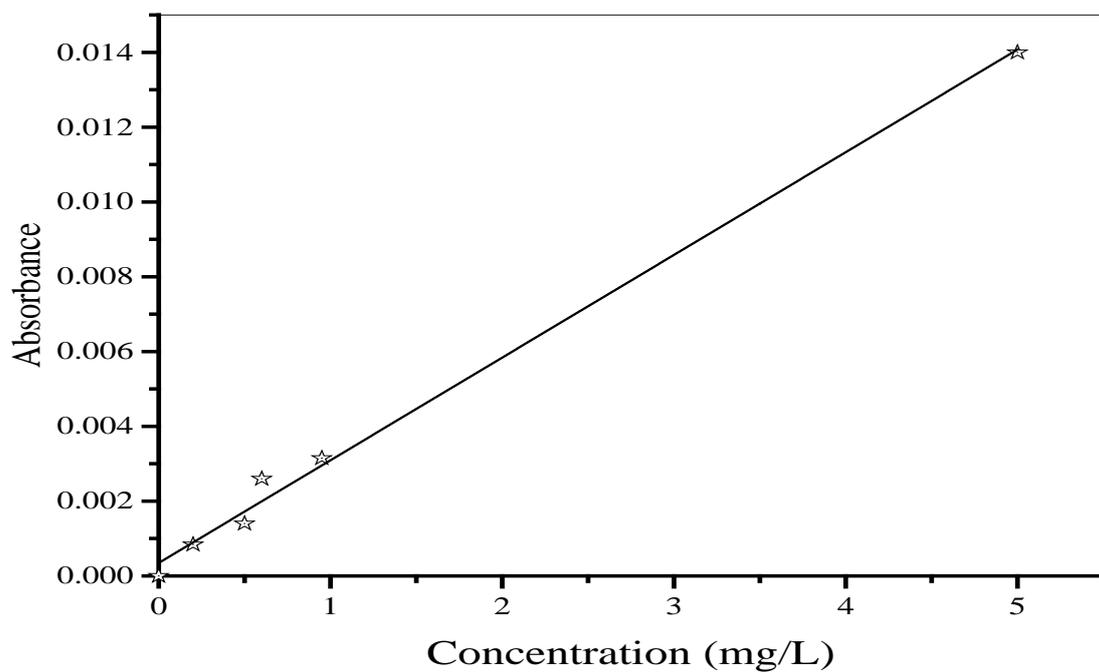


Figure 23 : Courbe d'étalonnage du plomb à longueur d'onde 217 nm.

Les figures 19, 20, 21, 22 et 23 décrivent les courbes d'étalonnage des métaux : Cu, Zn, Fe, Cd et Pb respectivement. On remarque que tous ses figures sont des droites qui passent par

l'origine et respectent bien la loi de Beer-Lamber décrit en **page 37**. Les coefficients de corrélations et les longueurs d'ondes utilisées sont donnés dans le tableau suivant

Tableau 16 : longueur d'onde et coefficient de corrélation de chaque métal

| Métal | Cadmium | Plomb | Zinc | Cuivre | Fer |
|----------------------|---------|-------|--------|--------|--------|
| Longueur d'onde (nm) | 278,80 | 217 | 213,86 | 327,40 | 248,33 |
| Coef de corrélation | 0,998 | 0,994 | 0,998 | 0,970 | 0,985 |



Chapitre 3 : Résultats et Discussion



1. Introduction

Notre étude a été réalisée au niveau du laboratoire toxicomed de la faculté de médecine de Tlemcen.

La récolte des échantillons concerne les eaux de source et les eaux de mer, mais en raison de l'épidémie COVID-19 qui a touché le pays en particulier, et le monde entier, cette année 2019-2020, l'échantillonnage a été limité, et on s'est restreint à seulement deux points de prélèvement pour l'eau de mer et six points pour l'eau de source.

2. Objectif

Dans ce travail, deux types d'eau ont été visés à savoir l'eau de mer, et l'eau de source ou potable de la wilaya de Tlemcen. Les points de prélèvement de l'eau de mer ont été choisis soit en proximité d'une zone industrielle ou très éloigné, et des eaux potables de source naturelle afin d'évaluer la qualité de celles-ci et le degré de contamination s'il y a lieu. Les polluants visés dans cette étude sont les métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre et le fer.

✚ Les eaux de sources

Six points de prélèvements ont été choisis

- ✓ Source de Birouana
- ✓ Source de Sidi Boumedienne
- ✓ Source de Saf Saf
- ✓ Source de Beniboublenne
- ✓ Source de Ounadjela
- ✓ Source de Beni Mester

✚ Les eaux de mer

Deux points seulement ont été visés

- ✓ Plage de Sidi Youchaa
- ✓ Port d'Oran

3. L'eau de source

Etant considéré comme eau potable, la qualité de l'eau de source doit être parfaite pour conserver la santé humaine dont l'eau de son corps présente 60 % de son poids. C'est pour cela que des analyses d'eau de source sont faites.

✚ Le zinc

Zn est l'un des oligo-éléments les plus abondants du corps humain. C'est d'une importance fondamentale pour beaucoup de molécules, de processus cellulaires, métaboliques et immunologiques, y compris les réponses antioxydantes. La carence en zinc a été associée à un grand nombre de déficit de l'organisme.

Etant un métal essentiel pour le corps humain la présence de ce métal dans l'eau potable ne cause pas un problème

L'intoxication par le zinc est à l'origine de la fièvre du fondeur, ainsi que d'autres symptômes tel que : les désordres respiratoires, gastro-intestinaux, et aussi une anémie. [67]

Les résultats d'analyse spectrale des eaux de sources sont représentés dans la **figure 24**

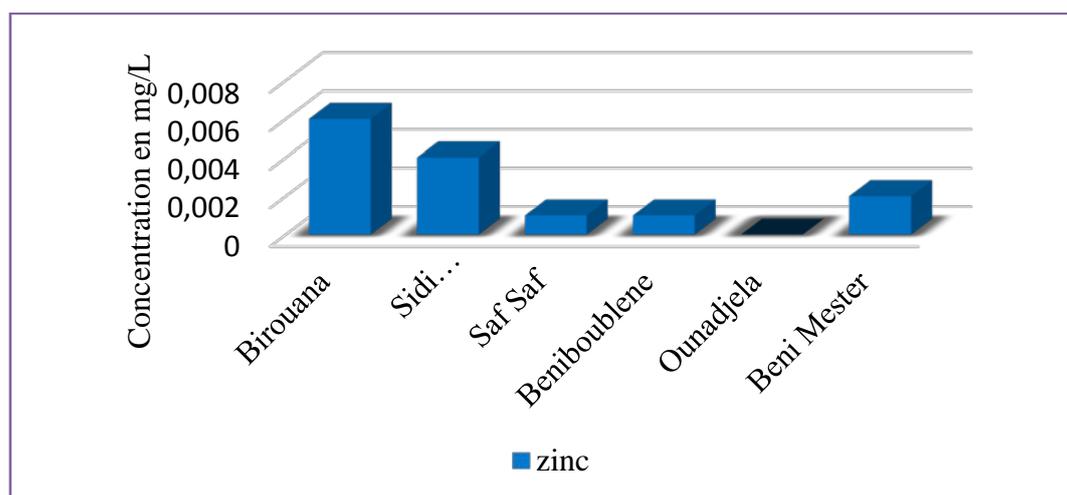


Figure 24 : Teneur en zinc dans l'eau de source.

L'histogramme montre que les concentrations du zinc dans l'eau de source de la région de Tlemcen sont très basses, allant de concentrations traces au niveau de la source de Ounadjela et ne dépassant pas les 0,006 ppm au niveau de la source de Birouana. Pour aucun des échantillons de l'eau de source la limite déterminée par l'O.M.S à 3 mg/L n'a pas été atteinte, éliminant la moindre chance de causer une intoxication par ce métal.

Le cuivre

Cet oligo-élément est aussi considéré comme l'un des métaux les plus importants dans le corps, Il joue des rôles fondamentaux dans plusieurs processus biologiques parmi eux sont : la capacité à accepter facilement et donner des électrons, ce qui explique son rôle important dans les réactions enzymatiques tel que l'oxydation-réduction et l'élimination des radicaux libres de l'organisme impliqué dans le métabolisme cellulaire, ainsi que dans la formation de globules rouges

En cas de carence en cuivre se produit, la neutropénie, les troubles cardiaques, ostéoporose et anémie.

L'intoxication par ce métal est déterminée par des maux de têtes, des et problèmes gastro-intestinaux. Différents types de cancer peuvent être à l'origine d'une exposition excessive au cuivre. [67]

L'histogramme ci-dessous (**figure 25**) montre les teneurs en cuivre dans l'eau de source

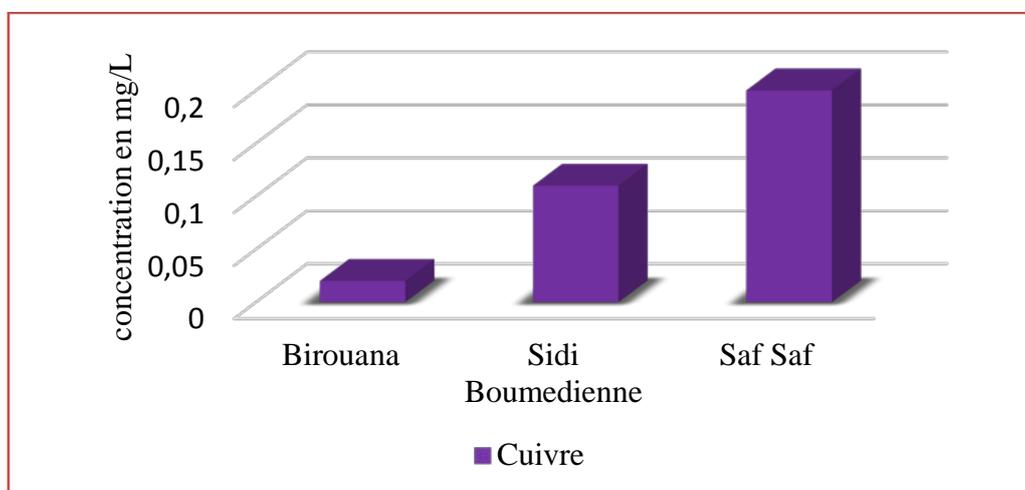


Figure 25 : Teneur en cuivre dans l'eau de source.

Ce métal ainsi considéré comme essentiel a été autorisé d'être présent dans l'eau potable à une concentration de 2 mg/L, le dosage n'a concerné que 3 stations qui sont source de Birouana, source de Sidi Boumedienne et source Saf Saf. Les résultats d'analyses ont montré que l'eau n'est pas contaminée par ce métal, en vue des concentrations qui s'étalent dans un intervalle de [0,02-0,11] mg/L.

Les concentrations de ce métal dans l'eau potable sont rassurantes, mais il faut tout de même les vérifier de temps à autre pour être sûre que la teneur en cuivre n'a pas augmenté ou même atteint la norme déterminée.

Le fer

Le fer est l'un des métaux les plus importants et les plus abondants dans les cellules humaines dont l'importance ne peut être négligeable, pourvu de ses multiples fonctions dans l'organisme.

Rentrant dans la composition de l'hémoglobine le fer fonctionne comme un transporteur de l'oxygène dans le sang et les muscles. Ce métal intervient dans la synthèse des hormones, ainsi que de certaines protéines et tissu conjonctif, l'effet le développement, la croissance et le fonctionnement normale de la cellulaire.

La carence en fer donne origine à l'anémie ferriprive. Et un excès de ce métal dans le sang cause une multitude de problèmes dans l'organisme humain principalement la formation de radicaux libres qui est à l'origine de maladies dégénératives cancer, la crise cardiaque, la fibrose hépatique ainsi que le stress oxydant. [67]

La **figure 26** représente les résultats trouvés lors de l'analyse par SAA des eaux de source récoltées.

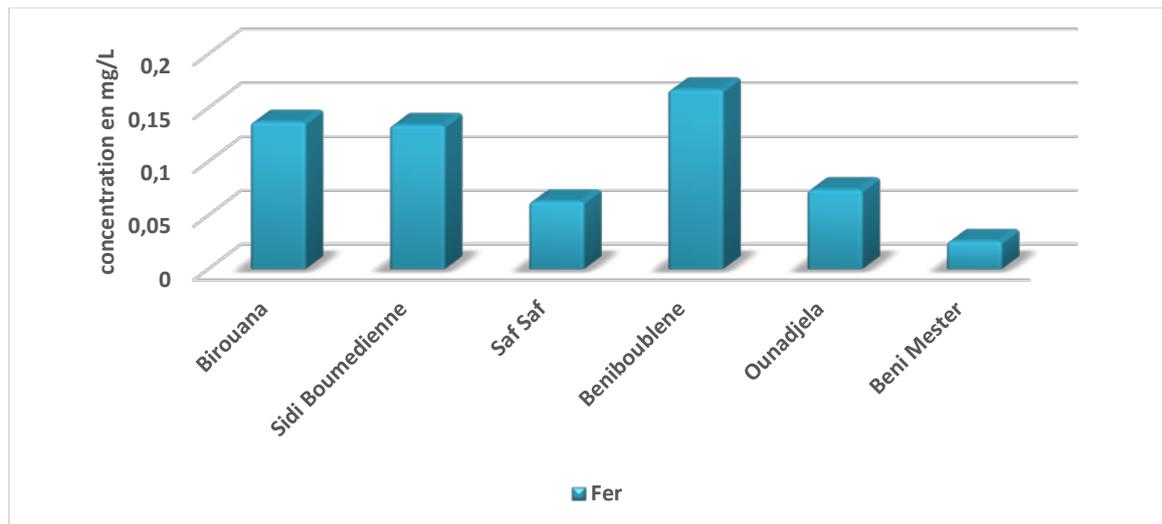


Figure 26 : Teneur en fer dans l'eau de source.

Notre troisième élément trace métallique essentiel pour l'organisme et qui peut être présent dans l'eau potable à une concentration estimée à 0,3 mg/L. Les concentrations trouvées au niveau des échantillons des eaux de sources, sont les suivantes, la source de Beni Boublene a montré la plus haute teneur avec une valeur de 0,167 mg/L, source de Birouana et source de

Sidi Boumedienne contiennent des concentrations proche avec des valeurs de 0,137 mg/L et 0,134 mg/L, pour la source de Saf Saf, la source de Ounadjela et la source de Beni mester les concentrations en fer sont moins importantes 0,063mg/L pour source Saf Saf et 0,074 mg/L pour la valeur la plus petite de Beni mester est 0,026 mg/L. On remarque que les concentrations du fer n'ont pas atteint ou dépassé le seuil de la valeur limite déterminée selon les normes de l'OMS qui est de 0,3 mg/L.

✚ Le cadmium

Ce métal dont l'importance dans le corps n'a pas encore été trouvé ce qui laisse à dire que ce métal est non essentiel.

La toxicité du cadmium se manifeste principalement par une anémie, des troubles digestifs, ainsi qu'une atteinte rénale qui engendre par la suite un désordre osseux. Une diminution de la fonction pulmonaire peut avoir lieu. [67]

L'histogramme représenté dans la **figure 27** montre les teneurs en cadmium dans l'eau de source.

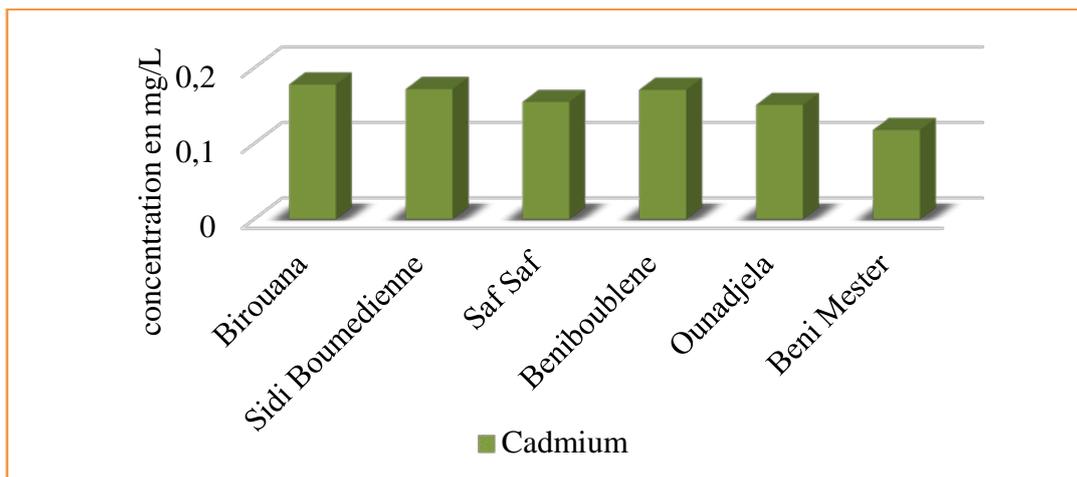


Figure 27 : Teneur en cadmium dans l'eau de source.

Un métal considéré comme très toxique et dont sa présence dans l'eau potable ne doit pas dépasser 0,003 mg/L. les résultats de l'analyse révèlent autre chose. La source de Birouana, source de Sidi Boumedienne, la source de Beni Boublenne ont des valeurs proches 0,178 mg/L, 0,172 mg/L et 0,171 mg/L, la source Saf Saf et la source de Ounadjela contiennent des concentrations proches aussi avec des valeurs 0,155 mg/L et 0,151 mg/L, reste la source de

Beni mester avec la plus petite concentration 0,118 mg/L. On constate que les valeurs dépassent largement la concentration limite, ce qui rend cette eau contaminée et risque d'être dangereuse. En raison des problèmes causés par le cadmium en cas d'intoxication tel que l'anémie, la néphrotoxicité, un désordre osseux, ainsi qu'une diminution de fonction pulmonaire.

✚ Le plomb

Elément toxique dont la toxicité est très élevée même à des concentrations traces, et sans aucun effet bénéfique connu.

L'intoxication par ce métal se manifeste par une anémie qui fait partie de ses symptômes principaux, la néphrotoxicité l'est aussi. Il cause des troubles du système neurologique causant une encéphalopathie, le trouble digestif est présent aussi. [67]

les teneurs en plomb sont déterminés dans la figure 28

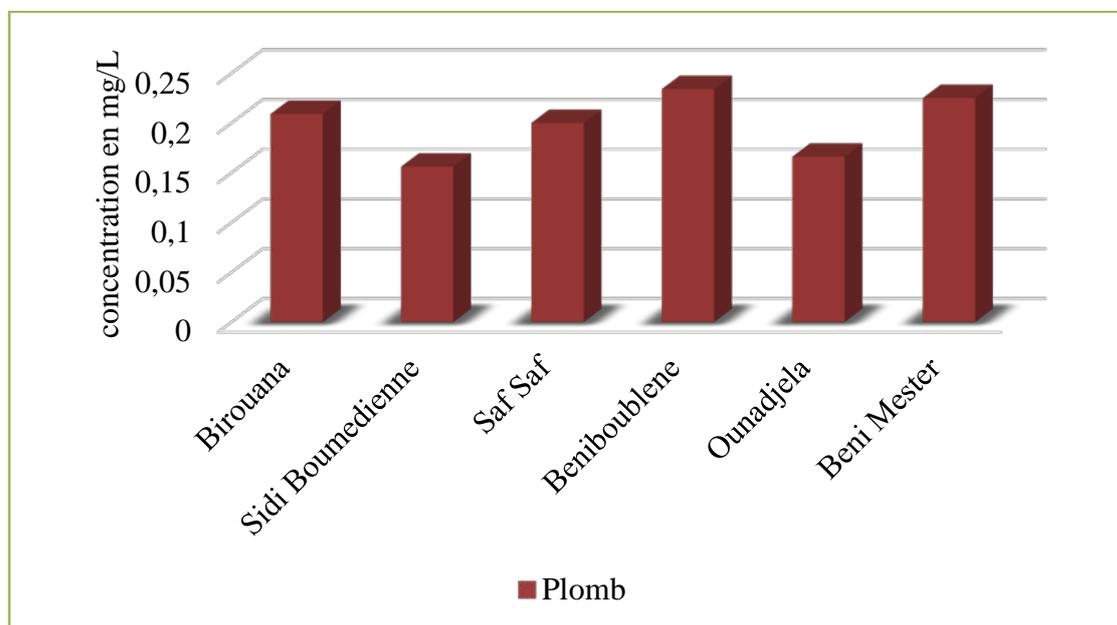


Figure 28 : Concentration du plomb dans l'eau de source.

Un métal aussi connu par son activité toxique une fois présent dans le corps humain, et le dosage de cet élément a donné les résultats suivants : 0,209 mg/L pour source de Birouana, 0,234mg/L pour S4, 0,225 mg/L pour la source de Beni mester, et enfin avec la dernière valeur proche des précédents 0,2 mg/L pour la source Saf Saf, la concentration de l'eau de la source de Ounadjela est 0,166 mg/L et pour la concentration la plus faible c'est la source de Sidi Boumedienne avec une valeur de 0,156 mg/L. Etant un métal qui nuit à la santé humaine,

la concentration limite est logiquement faible, et qui est 0,05 mg/L. Les résultats obtenus montrent que toutes les sources qui ont servi d'échantillon sont contaminés par ce métal qui se caractérise par sa forte accumulation dans le corps qui peut atteindre une demi vie de 20 ans lorsqu'il atteint l'os causant en passage, une néphrotoxicité, encéphalopathie, trouble digestifs, et l'anémie qui fait partie des premiers symptômes.

📊 Répartition des métaux lourds dans l'eau de source

L'histogramme donné dans la **Figure 29** regroupe les résultats de l'analyse des échantillons d'eau potable récoltés dans plusieurs sources au niveau de la wilaya de Tlemcen

D'après les résultats montrés dans l'histogramme on observe que les concentrations des métaux lourds dans l'eau potable ne sont pas négligeables et que les concentrations dans la même ville varie d'une région à une autre.

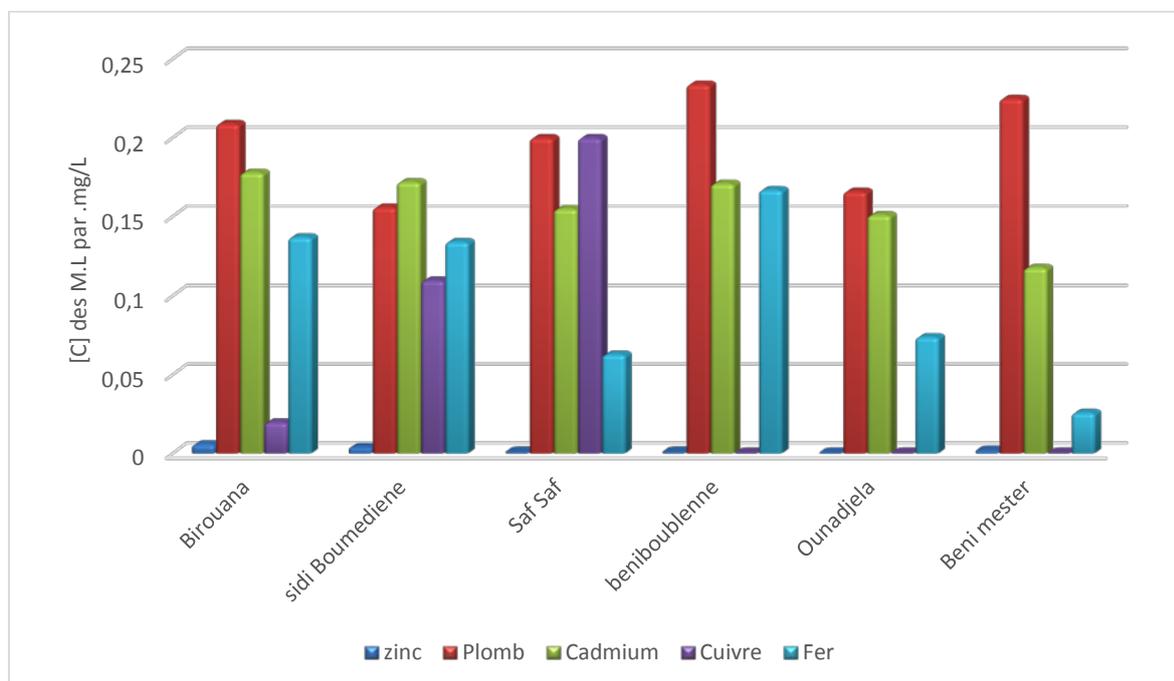


Figure 29 : Concentration des M.L dans l'eau potable aux niveau de la wilaya de Tlemcen.

La source de Birouana qui est située à environ 1 km du centre-ville de Tlemcen présente la valeur la plus haute en cadmium qui est un métal toxique et qui ne doit pas être présent à une valeur supérieure à 0,003 ppm dans l'eau potable, et cela d'après l'organisation mondiale de la santé, alors que la valeur déterminée après l'analyse spectrale est de 0,178 ppm. La concentration est très haute, et rend la consommation de cette eau dangereuse pour la santé

humaine. Le métal suivant nommé plomb est considéré comme toxique aussi et ne doit pas dépasser une concentration de 0,01 ppm dans l'eau potable mais ce n'est pas le cas, car sa concentration dans cette source est de 0,209 ppm, alors qu'une dose élevée du plomb ou ce qu'on appelle une intoxication, cause des problèmes rénaux, des problèmes neurologiques tels que l'encéphalopathie, ainsi qu'une anémie, la gravité de ce métal peut atteindre le coma ou plus, la mort.

Cette source contient aussi la concentration la plus importante de zinc et de fer avec les valeurs successives de 0,006 ppm et 0,137 ppm, mais cela n'est pas un grand problème vu que ces deux métaux sont considérés comme oligo-éléments dans le corps en raison de leur importance dans les mécanismes biologiques et ne dépasse pas la norme de L'O.M.S qui a limité la norme du zinc à 3 ppm et celle du fer à 0,3 ppm, mais cela n'exclue pas le fait de faire attention car la concentration du fer n'est pas loin de la valeur limite. Lors d'une introduction excessive de fer dans le corps, des effets indésirables font apparitions, tels que les troubles digestifs qui se manifestent par des nausées, vomissement, douleur abdominale, diarrhée. Cette état ne dure pas longtemps car la personne ressent une amélioration nommée transitoire, mais des symptômes commencent à apparaître par la suite qui sont : toxicité systématique avec choc, acidose métabolique, une toxicité hépatique avec coagulopathie seront les signes suivants pour avoir par la fin des séquelles digestives à types de sténose. Un coma peut avoir lieu. Concernant le cuivre, sa concentration au niveau de cette eau est de 0,02 ppm, rien d'alarmant pour ce métal puisque la norme est de 2 ppm

Les résultats trouvés dans cette étude a révélé que l'eau est contaminée et que sa consommation risque de causé des problèmes à l'homme.

La seconde source nommé Sidi Boumediene situé à environ 700 m de la source de Birouana qui est clairement moins contaminé que la précédente, et dont la concentration de métaux est moins importante, sauf pour le cuivre avec une valeur de 0,11 mg/L, cette concentration bien qu'elle soit inférieure à la norme qui est de 2 mg/L, mais elle est comme même proche, et ce métal qui est connu par ses effets bénéfiques dans l'intervention dans les fonctions immunitaires et contre le stress oxydant, ne devrait pas être présent à des concentration plus hautes que la normale car ceci causerait des problèmes gastro-intestinaux, et les symptômes les plus fréquents sont les nausées, les maux de tête, les étourdissements, les vomissements, les douleurs abdominales et la diarrhée. Donc il faudrait rester sur ses gardes et veiller à ne pas laisser la concentration de ce métal dépasser le seuil prédéterminé. L'analyse de cette eau

a montré qu'elle comporte la valeur en plomb la plus basse, parmi toutes les sources d'eau en question, avec une concentration de 0,156 ppm. La valeur reste supérieure à la norme, et est considéré comme dangereuse. Pour le zinc (0,004 ppm), et le fer (0,134 ppm) ainsi que le cadmium (0,172 ppm), les concentrations sont proches de celle de Birouana.

Les valeurs données lors de l'analyse spectrale montrent que l'eau de cette source est aussi contaminée par les métaux lourds mais de manière moins importante pour le plomb, mais cela en restant toujours en dessus de la norme, et il ne faut pas nier que la concentration du cuivre est importante, sans dépasser la valeur limite. Il faut donc veiller à ce qu'elle ne l'atteigne pas.

A environ 1,3 km plus loin que la source 2 se situe la source de Saf Saf, dont les résultats interprétés montrent que la concentration en cadmium est moins importante que celle des deux sources précédentes avec une valeur de 0,155 ppm, cela dit que la valeur est plus que la normale mais seulement moins importante que les deux autres régions ou plutôt trois régions si on prend en compte la source de Beniboublenne avec une concentration de 0,171 mg/L. La concentration en plomb pour cette eau est classée quatrième, après l'eau de Birouana (0,209 ppm), et Beniboublen (0,234 ppm), et Beni Mester (0,225 ppm), laissant la norme loin derrière. En ce qui concerne la concentration du fer avec une valeur de 0,063 ppm qui est proche celle de l'eau de Beni boublenne 0,074 ppm, et du cuivre 0,02 ppm, ainsi que le zinc qui a la même concentration que la source de Beniboublenne et Beni Mester avec une valeur de 0,001 mg/L les valeurs sont en dessous des normes.

La régions suivante est Beni Mester de laquelle on a prélevé deux échantillons

La source de Beni Mester a la concentration la plus faible parmi toute les sources d'eaux analysés avec une concentration de 0,118 ppm, ainsi que celle du fer avec une teneur de 0,026 ppm.

La source de Ounadjela qui se situe dans une montagne dans la région de Beni Mester a été presque intrassable lors de l'analyse du zinc dont la SAA a révélé des traces comme seul concentration. Cette dernière a aussi eu la concentration la plus basse en plomb avec une concentration de 0,166 ppm.

La région de Beni Mester avec ses deux sources (Beni Mester et Ounadjla) a révéler les résultats le plus faibles en métaux lourds parmi les six échantillons. Etant comme ça les

sources les moins polluées de notre étude. Ceci se traduit par l'éloignement de cette région de la ville et surtout en ce qui concerne la source Ounadjela qui se trouve au bord d'une montagne.

Cette analyse nous indique que la pollution touche pas seulement l'eau exposée directement au polluant mais aussi celui des sources qui sort naturellement du sol.

4. L'eau de mer

La contamination des océans et les mers, qui recouvrent les deux tiers de notre planète bleue est un vrai problème et en particulier le milieu marin côtier est en contact permanent avec de nombreuses activités (transports, effluents urbains, industriels, agriculture, etc.) ; il est de ce fait particulièrement exposé aux contaminations, car au cours des activités humaines sont introduites toutes sortes d'éléments étrangers à la mer, qui conduisent à une dissémination d'une multitude de molécules susceptibles de perturber les équilibres des écosystèmes marins.

Au niveau de cette étude qui consiste à décrire les résultats personnels, et les résultats d'études antérieures. Une analyse spectrale a été faite pour des échantillons d'eau de mer, afin d'examiner le taux de contamination de ces eaux par les métaux lourds [8].

Les **figures 30, 31, 32 et 33** représentent les résultats de l'analyse par SAA sur les régions visées.

Honaine

L'eau de mer de la région de Honaine a été testée en 2015 ces résultats sont pris dans le but de faire une comparaison entre la teneur des métaux lourds au niveau du port et celle au niveau de la plage.

La **figure 30** représente les teneurs en métaux lourds au niveau de la région de Honaine

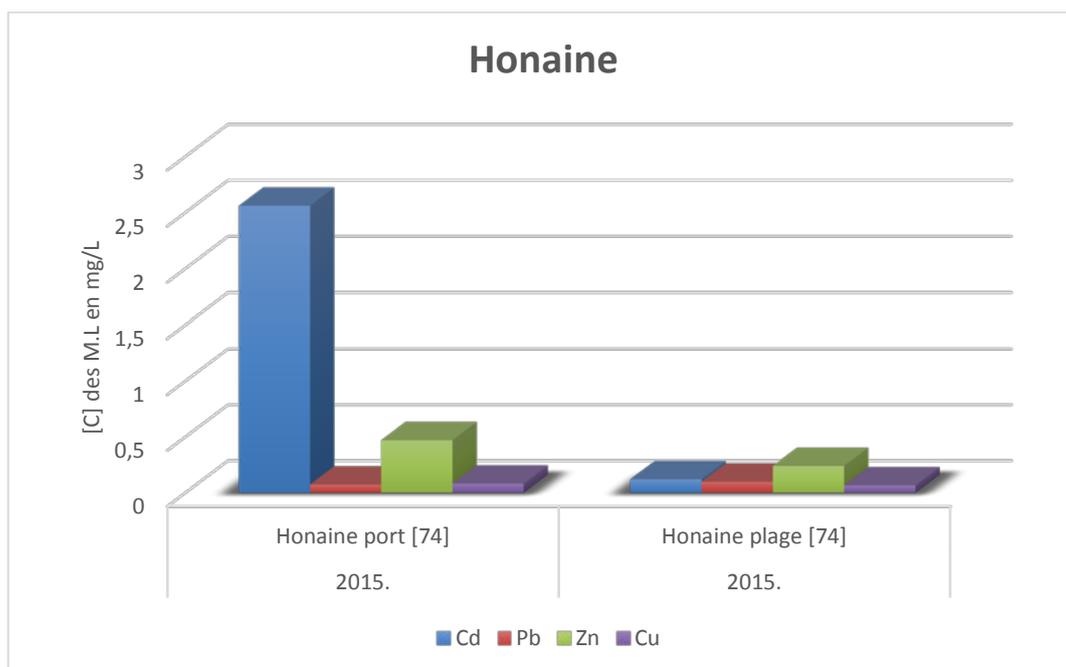


Figure 30 : Concentration des ETM dans l'eau de mer de Honaine.

Les études faites au niveau de Honaine, concernant la plage et le port, l'échantillonnage a eu lieu en 2015 [74].

Au niveau du port de Honaine la concentration du plomb est de 0,47 mg/L, très proche de la concentration limite du plomb qui est de 0,5 mg /L, au niveau de l'eau de mer prélevé de la plage de Honaine la concentration est de 0,24 mg/L.

Concernant le Cadmium avec une concentration limite de 0,07 mg/L l'eau prélevée au niveau du port a montré une concentration de 0,074 mg/L, les échantillons de la plage contiennent une concentration de 0,098 mg/L.

La concentration du zinc dans l'eau peut atteindre une concentration de 3 mg/L selon les normes algériennes, mais il ne faut pas la dépasser, effectivement la concentration de ce dernier a été proche de la valeur limite avec une valeur de 2,56 mg/L au niveau du port, mais la valeur est moins importante au niveau de la plage 0,12 mg/L.

Les concentrations du cuivre ne dépassent pas le 0,086 mg/L au niveau du port de Honaine et 0,066 mg/L au niveau de la plage, restant inférieur a la norme de concentration qui est de 0,5 mg/L.

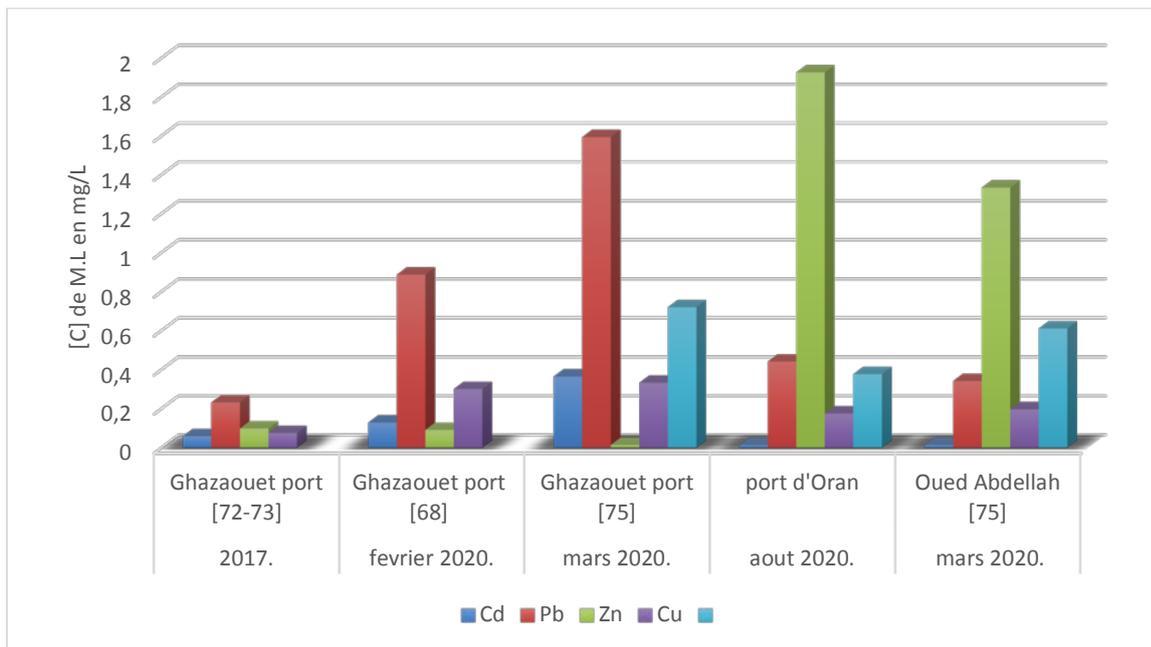
La région de Ghazaouet est connue d’être le site des échanges commerciaux, mais la présence de l’usine Alzinc est le principal sujet d’inquiétudes, malgré le fait qu’il soit fermé il rejete toujours des ordures sous forme de boue dans la mer, sans oublier l’effet accumulatif des métaux lourds ce qui explique les analyses de l’eau de port depuis 2017 jusqu’à 2020 pour la teneur en métaux lourds

Pour la région de Oued Abdellah, l’analyse a été faite pour voir si la contamination de la région de Ghazaouet qui est situé à quelques centaine de mètres, a affecté cette plage.

Le site d’échange commerciaux qui est le port d’Oran fait partie de la comparaison pour avoir la capacité de voir lequel des deux ports est le plus pollué.

Pour l’histogramme si dessous, le port de Ghazaouet est le site des analyses depuis 2017 jusqu’à cette année 2020.

Figure 31 : Teneur en ETM dans l’eau de mer de Ghazaouet, Oued Abdellah et Oran.



Ghazaouet

La région de Ghazaouet est le centre d’inquiétude pour les écologistes en raison de la présence des usines qui déverses leurs déchets directs dans la mer ce qui risque de causer une haute contamination. L’histogramme représente des études faites au niveau de Ghazaouet,

dans les années suivante, 2017 [72-73] , 2020 (mois de Février [68] et le mois de Mars [75]) sur la contamination de l'eau de mer par les ETM.

La concentration du plomb dans cette partie du milieu marin a augmenté au fil des années, en 2017 l'échantillon prélevé du port de Ghazaouet et a donné une valeur de 0,087 mg/L, dépassant ainsi les normes prédéfinies. Cette année 2020 les valeurs résultantes de l'échantillonnage de l'eau de mer en mois de février dans les environs du port de Ghazaouet sont encore plus élevées que les résultats précédents avec une concentration de 0,887 mg/L, mais les résultats du mois de Mars ont atteint une concentration de 1,594mg/L, alors que la norme est de 0,5mg/L ce qui est très inquiétant vu les toxicités qui peuvent être à l'origine du plomb, tels que l'anémie qui est très connue, l'encéphalopathie, l'atteinte rénale et autres problèmes graves résultants de l'intoxication au plomb.

La concentration du cadmium ne doit pas dépasser à 0,07 mg/L selon le décret exécutifs N° 06-141 de 23/04/2006. En 2017 l'échantillon prélevé du port de Ghazaouet a donné une valeur de 0,059 mg/L, elle est proche de la limite, en effet trois ans plus tard, en 2020 au mois de février la concentration du métal a dépassé le seuil avec une concentration de 0,129 mg/L, sauf que la teneur en cadmium en Mars 2020 a été de 0,365mg/L. la concentration de ce métal fortement toxique qui cause en cas d'intoxication, une anémie, une néphrotoxicité, peut altérer la fonction pulmonaire, et ainsi causés un désordre osseux, ainsi que d'autres symptômes clinique peuvent apparaître lors d'une intoxication au cadmium, doit être contrôlé, pour réduire ces risques sanitaires.

Les analyses faites en 2017 et en 2020 sur le cuivre ont toute eu des résultats inférieurs à la norme déterminée en Algérie qui est 0,5 mg/L. en 2017 la valeur été 0,075 mg/L au niveau du port de Ghazaouet, les valeurs en 2020 varient entre 0,057 mg/L et 0,333 mg/L montrant une augmentation remarquable, mais la concentration n'a pas dépassé la valeur limite autorisée.

Le métal lourd qui porte le nom du zinc est un métal qui a la particularité d'être légalement présent dans l'eau jusqu'à une concentration de 3 mg/L. Il a été analysé dans l'eau de mer au niveau du port de Ghazaouet en 2017 donnant une concentration de 0,098 mg/L bien inférieur à la limite. En février 2020 la concentration de 0,091 mg/L, la valeur de ce dernier a baissé en Mars 2020 donnant une concentration de 0,014 mg/L. La baisse de concentration est très visible mais aussi impressionnante pour une durée d'un mois ce qui remet en question les résultats d'analyse précédentes mais rien ne peut être confirmé.

Oued Abdellah

La plage d'Oued Abdellah fait partie de la région Ghazaouet et d'après l'étude faite mars 2020 [75], les résultats suivants ont été observés ; La concentration du Pb est de 1,334 mg/L dépassant la valeur limite, ainsi que la concentration du Cd avec une valeur de 0,342 mg/L, mais concernant les autres métaux qui sont considérés comme essentiel, ils n'ont pas atteint la valeur limite, la concentration du Zn était de 0,011 mg/L, alors que celle du Cu était de 0,197 mg/L.

Port d'Oran

A titre de comparaison on a pris un échantillon de l'eau du port d'Oran et avons fait une analyse spectrale pour détermine sa concentration en métaux lourds, et cela a donner les résultats suivants.

La concentration du plomb est de 1,926 mg/L alors qu'elle devrait rester en dessous de 0,5 mg/L.

Le cadmium quant à lui sa concentration a atteint une valeur de 0,442 mg/L une valeur qui est inquiétante lorsqu'on sait que dans les normes sa valeur ne devrait même pas dépasser 0,07 mg/L, et que ce métal est une substance très toxique.

Le zinc connu d'être un métal non toxique tant qu'il est présent à une concentration inférieure à 3 mg/L, l'eau récolté du port contient une concentration de 0,012 mg/L ce qui ne cause aucun problème.

On peut dire que le cuivre aussi ne cause pas de problème lorsqu'on voit que sa concentration ne dépasse pas 0,175 mg/L alors qu'il peut atteindre une valeur de 0,5 mg/L.

On peut faire une petite comparaison entre le port de Ghazaouet et celui d'Oran, en prenant en considération que les deux ports sont les ports les plus importants de leur ville, pour savoir le taux de contamination dans chacun, et que l'analyse des échantillons a eu lieu la même année, et les résultats déterminés dans l'histogramme ont montré que le port de Ghzaouet contient des concentrations plus grandes en métaux lourds que le port d'Oran cela est due peut être à la présence de l'usine Alzinc qui décharge ses déchets dans la mer, même en étant fermé il continue à le faire à partir de boue, sans oublier l'effet cumulatif des métaux.

Sidi Youchaa

Cette partie de l'étude concerne la même région qui est la plage de Sidi Youchaa ainsi que la même année 2020 mais au fil des mois (février ; mars ; aout) pour pouvoir observer la variation des teneurs en métaux lourds au fil des mois.

La **figure 32** représente les résultats trouvés au niveau de l'eau de Sidi Youchaa.

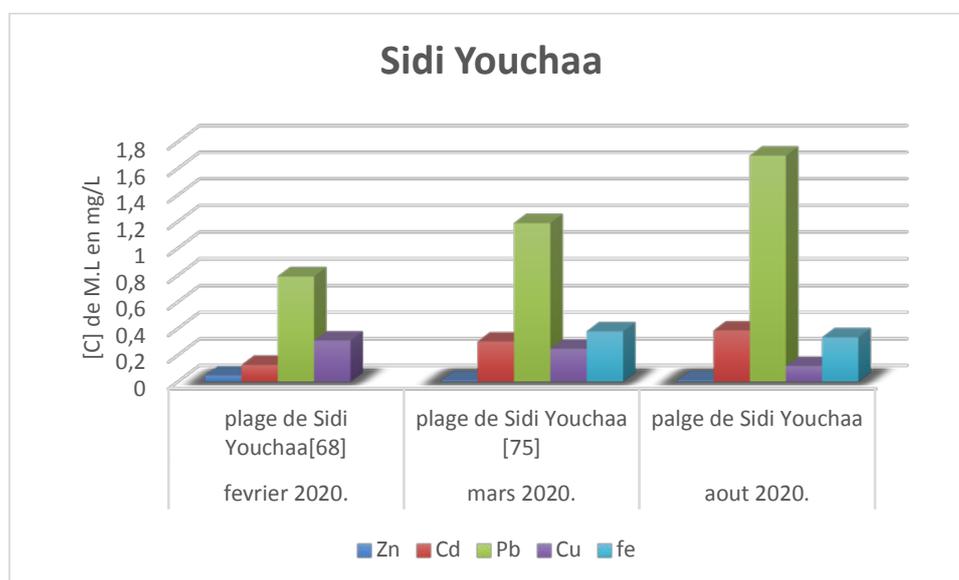


Figure 32: Concentration des ETM dans la plage de Sidi Youchaa.

Au niveau de la plage de sidi Youchaa les analyses de son eau de mer a eu lieu trois fois pendant l'année 2020, la première et d'après la source des résultats a eu lieu au mois de février [68], la deuxième a eu lieu en mois de mars[75] et mon échantillonna a eu lieu en mois d'aout.

Pour la concentration du Cd au mois de février été de 0,126 mg/L, sa teneur a été déterminé en mois de mars par une concentration de 0,303mg/L, alors qu'au mois d'aout elle a augmenté à 0,386 mg/L, et d'après les normes prédéterminés la valeur du Cd ne doit pas dépasser 0,07 mg/L, on constate aussi que la concentration de ceux métal toxique a augmenté de manière remarquable au cours de ces six derniers mois.

Pour le plomb la concentration qui ne doit pas dépasser 0,5 mg/L selon les normes, au mois de février de cette année été de 0,793 mg/L, et au mois de mars elle a atteint une concentration de 1,189mg/L, mais au mois d'aout, la valeur a été de 1,697 mg/L, on peut voir que la

concentration du plomb continue d’augmenter de manière inquiétante laissant derrière elle la valeur limite.

Les valeurs obtenues pour le zinc sont inférieures à la limite déterminée à 3 mg/L avec une concentration de 0,046 mg/L au mois de février, 0,01mg/L en mois de mars, et 0,011 mg/L au mois d’aout, mais on peut remarquer que la valeur du mois d’aout et de mars sont inférieure que celle du mois de février,

Concernant le cuivre on a obtenu la même remarque que celle du zinc avec les valeurs suivantes 0,31 mg/L au mois de février, 0,248mg/L en mois de mars et 0,119 mg/L au mois d’aout, la concentration de ce métal a diminué et n’a pas dépassé la limite de 0,5 mg/L dans l’eau.

✚ Répartition des métaux lourds dans l’eau de source

L’histogramme regroupe des recherches faites au niveau de la wilaya de Tlemcen, sur la contamination de l’eau de mer au fil des cinq dernières années à partir de plusieurs plages.

L’histogramme représente ainsi les résultats de ma recherche qui concerne l’eau de mer de la plage de Sidi Youchaa et l’eau de mer du port d’Oran qui ont été prélevés au mois d’aout 2020.

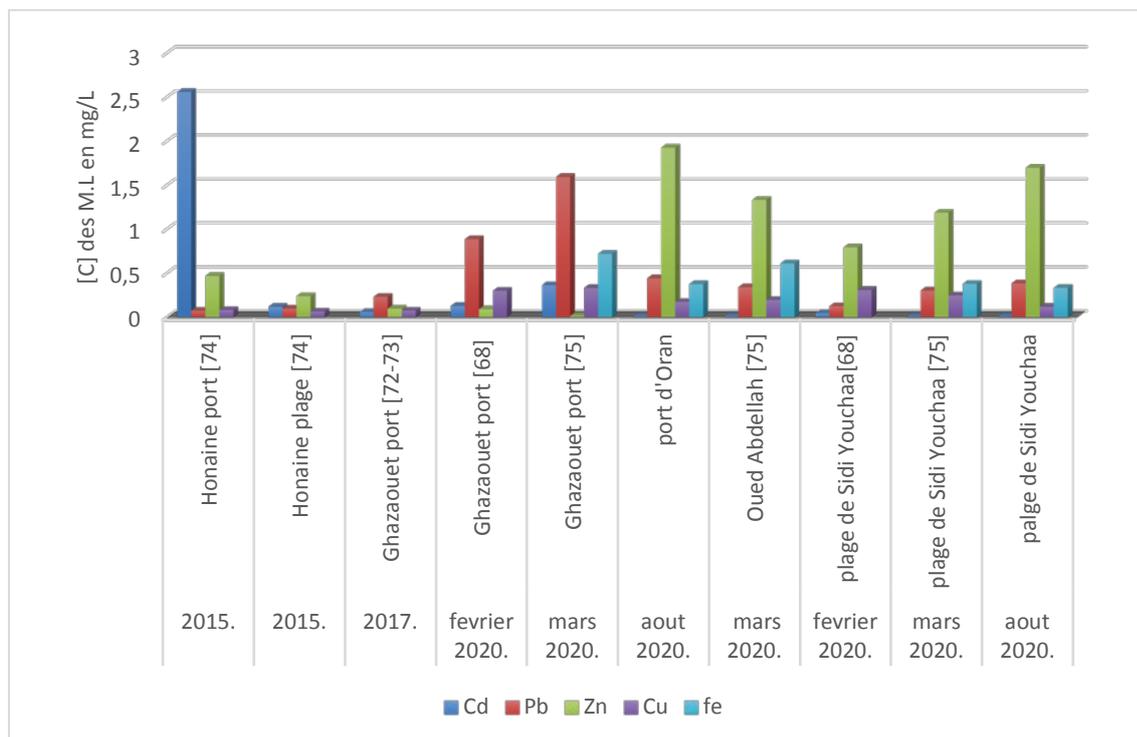


Figure 33 : Variation des métaux lourds au court des années dans différentes plages

Après l'analyse des résultats on constate que les teneurs en métaux lourds varient d'une année à une autre et on peut avoir les constatations suivantes

❖ Le cadmium

Pour ce métal toxique et accumulatif on constate que sa concentration est très variée avec quelques valeurs pas très logiques tel que la concentration au niveau du port de Honaine en 2015 qui était de 2,56 ppm. Au niveau du port de Gazaouet on constate que la teneur en cadmium augmente au fil des années, et comparée au port d'Oran analysé à la même année sa concentration est plus élevée, concernant la plage de Sidi Youchaa les concentrations varient entre 0,01 et 0,046 ppm.

La concentration de ce métal est très inquiétante et des solutions doivent être trouvées pour réduire sa teneur dans l'eau de mer.

❖ Le plomb

Les concentrations en plomb au fil des années n'ont jamais été en dessous de la norme, marquant comme valeur minimale de 0,074 ppm au niveau du port de Honaine en 2015 et comme valeur maximale de 1,59 ppm en 2020 au niveau du port de Ghazaouet dépassant ainsi la teneur de plomb au niveau du port d'Oran. On a pu constater que sa concentration au niveau de Ghazaouet a augmenté au fil des années, et aussi elle a augmenté au niveau de la plage de Sidi Youchaa au fil des mois.

A une concentration qui ne doit pas dépasser 0,5 ppm, le plomb qui est dangereusement toxique et cumulatif, sa présence dans l'eau de mer représente un vrai danger qui doit être réglé.

❖ Le zinc

Ce métal est autorisé à être présent dans l'eau de mer à une concentration de 3 ppm selon les normes algériennes. Et ceci est le cas durant les cinq dernières années au niveau de toutes les stations d'où on a fait notre échantillonnage. La valeur maximale trouvée était en 2020 au niveau du port d'Oran, avec une teneur de 1,926 ppm.

❖ Le cuivre

Pour ce métal considéré comme essentiel pour le corps sa présence dans l'eau de mer n'a pas dépassé les normes autorisées à 0,5 ppm avec une concentration maximale marquée au niveau du port de Ghazaouet en année 2017, avec une valeur de 0,33 ppm. La valeur minimale était au niveau de la plage de Sidi Youchaa avec une concentration de 0,031 ppm mais un mois plus tard la concentration au niveau de la même plage était de 0,248 ppm ce qui remet en question le résultat car six mois plus tard, le résultat de mon analyse montre une petite diminution donnant une valeur de 0,119 ppm.

La présence de ce métal doit être surveillé car les valeurs sont proches de la norme.

❖ Le fer

L'analyse de ce métal n'a concerné que quelques stations et ont tous donné des valeurs plutôt rassurantes.



Conclusion générale



Le travail a été dans le but de réaliser une estimation sur le taux de contamination des eaux de mer et des eaux de sources par les éléments traces métalliques.

Notre étude comporte six échantillons d'eau de source situées au niveau de la ville de Tlemcen qui sont les suivants: source de Birouana, source de Sidi Boumediene, source Saf Saf, source Beni Boublene, il y'a aussi la source de Beni mester et source Ounadjela.

Concernant l'eau de mer notre échantillonnage n'a consisté qu'à deux points qui sont la plage de Sidi Youchaa et le port d'Oran,

Une revue bibliographique a été ajoutée pour regrouper les teneurs en métaux de l'eau au niveau de différents port et plages au fil des dix dernières années.

A la fin de notre étude on a pu constater que l'eau de source potable qui est en contact direct avec l'être humain est complètement contaminée par le cadmium et le plomb en raison des valeurs obtenues et qui sont supérieures aux normes déterminées. Concernant les métaux essentiels, qui sont le zinc, le cuivre, et le fer, les résultats de l'analyse ont montré que leur présences dans l'eau potable ne causent pas de risque grâce à leurs concentrations qui est beaucoup plus inférieurs que la valeur limite.

En tenant compte des résultats des recherches récoltées depuis 2015 jusqu'au 2020 sur les eaux de mer, on a pu obtenir les constatations suivant

La contamination aquatique par le plomb et le cadmium dépasse la limite déterminée par l'O.M.S, et les normes algériennes ; et les valeurs ne cessent d'augmenter au fil des années devenant de plus en plus inquiétantes.

Le port d'Oran est moins contaminé par les métaux toxiques, que le port de Ghazaouet et le port de Honaine. Son eau représente un risque plus élevé sur l'environnement et les êtres vivants.

Le zinc, le cuivre, le fer (pour les deux échantillons prélever cette année au mois d'aout). Ces trois métaux sont restés en dessous de la valeur limite pour tous les échantillons en gardant un certain équilibre de concentration en d'autre terme pas d'augmentation ou de baisse qui puisse attirer l'attention, depuis 2015 jusqu'à nos jours. Cela ne nous amène à aucune inquiétude sur le risque de contamination.

L'analyse de l'eau de mer représente un point essentiel pour voir le taux de contamination, mais une revue bibliographique rassemblant des recherches faites au cours des cinq dernières années donne une vue plus exacte sur le changement de la consistance de l'eau, mais aussi sur la progression du problème de contamination, qui est due à l'augmentation remarquable des concentrations des ETM dans l'eau au fil des années.

L'effet cumulatif des métaux, risque d'aggraver la situation, car après une longue durée d'exposition à ces substances quoi que la quantité absorbée à chaque fois est petite mais dépasse la limite autorisée par la loi, le risque d'intoxication est plus important.

La contamination aquatique est un sujet d'inquiétude vu l'importance de l'eau dans la survie de la planète. On se doit donc de trouver des solutions pour diminuer la contamination marine, dans le but de protéger l'humanité de différentes catastrophes qui peuvent générer la pollution métallique de l'eau



Références bibliographiques



- [1] **G. Dönmez., Z. Aksu., 1999.** The effect of copper (II) ions on the growth and bioaccumulation properties of some yeasts. *Process Biochemistry.*, vol. 35, pp. 135–142.
- [2] **S. Cheng., W. Grosse., F. Karrenbrock., M. Thoennesen., 2002.** Efficiency of constructed wetlands in decontamination of water polluted by heavy metals. *Ecological Engineering.* PP 317–325.
- [3] **S. Casas., 2005.** Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Cu et Zn) chez la moule, *mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat : Océanologie biologique, environnement marin, Toulon., 314p.
- [4] **J.M. Akins., J.A. Schroeder., D.L. Brower., H.V. Aposhian., 1992.** Evaluation of *Drosophila melanogaster* as an alternative animal for studying the neurotoxicity of heavy metals. Department of Pharmacology and Toxicology and University Department of Molecular and cellular biology, University of Arizona, Tucson, AZ, USA, *biometals*, 5, 111, 120.
- [5] **C. Elichegaray., S. Bouallala., A. Maitre., M. Ba., 2009.** État et évolution de la pollution atmosphérique. *Revue des Maladies Respiratoires* Vol 26, N°, pp 191-206.
- [6] **M. Ashref-Dar., G. Kaushik1., J.F. Villarreal-Chiu., 2020.** Pollution status and biodegradation of organophosphate pesticides in the environment. *Abatement of Environmental Pollutants .Trends and Strategies*, Pages 25-66.
- [7] **P.J. Jarvis., 2000.** Biological invasions, competition and the niche. In *Ecological Principles and Environmental issues.* Pearson Education. pp 244–274.
- [8] **L. Schweitzer., J. Noblet., 2018.** *Water Contamination and Pollution.* Chapter 3.6.
- [9] **T.Y. Hsien., G.L. Rorrer., 1995.** *Sep. Sci. Technol*, vol. 30, pp. 2455–2475.
- [10] **F. Mekhalif, 2009.** Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d’appoint dans un circuit de refroidissement. Mémoire de Magister. Skikda, 158p.
- [11] **A. Botta., L. Bellon., 2001.** Pollution de l'eau et santé humaine. Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale. Université EuroMéditerranée TEHYS.
- [12] **S. Paquerot., 2005.** Préface de Frédéric Lasserre., *Eau douce, la nécessaire refondation du droit international.*

- [13] **N. Aarab., 2004.** Les biomarqueurs chez les Poissons et les Bivalves: de l'exposition à l'effet et du laboratoire au terrain. Thèse de Doctorat en Science du Vivant, Géosciences et Science de l'environnement, option: Ecotoxicologie des milieux aquatiques, Bordeaux, 276 p.
- [14] **L.A. Kauark-Leite , 2010.** Réflexions sur l'utilité des modèles mathématiques dans la gestion de la pollution diffuse d'origine agricole. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 288 p.
- [15] **S. Hébert., S. Légaré., 2000.** Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. La Direction régionale de l'Estrie, 48 p.
- [16] **D.C. Adriano.** (2001). Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. Second edition . Springer-Verlag, New York.
- [17] **T. Lacoue-Labarthe., 2007.** Incorporation des métaux dans les œufs de la seiche commune *Sepia officinalis* et effets potentiels sur les fonctions digestives et immunitaires. Thèse de doctorat : Océanologie Biologique & Environnement Marin, Rochelle, 200 p.
- [18] **Rédaction de futura ,** le tableau périodique Mendeleïev. © Guillaume Le Bloas, fotolia , futura-science.
- [19] **E. Nieboer., David H.S. Richardson., 1980.** Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical .Volume 1 issue 1. The replacement of the nondescript term 'heavy metals' by a biologically and chemically significant classification of metal ions.
- [20] **S.P. Hopkin., 1989.** Ecophysiology of Metals in Terrestrial Invertebrates. Elsevier, Applied Science. London UK.
- [21] **P.S. Rainbow., 2018.** Trace Metals in the Environment and Living Organisms: The British Isles as a case study. Cambridge University Press.
- [22] **M. Mench., D. Baize., 2004.** Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces. Mesures pour réduire l'exposition.
- [23] **T. ATTAR., 2014.** Dosage des éléments traces dans le sang humain par voltampérométrie à redissolution anodique et/ou cathodique. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie.

- [24] **L. Denaix., C. Nguyen., 2011.** 3èmes Rencontres du RMT QUASAPROVE. Démystifier le transfert des contaminants minéraux du sol à la plante. Lycée Agricole Pau-Montardon.
- [25] **H.B. Bradl., 2005.** Chapter 1, sources and Origins of Heavy Metals. Department of Environmental Engineering, University of Applied Sciences Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld, P.O. Box 301380, 55761 Birkenfeld, Germany.
- [26] **M. Jozef., Pacyna and Elisabeth G. Pacyna., 2001.** An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. Norwegian Institute for Air Research (NILU), Kjeller, Norway.
- [27] **D.W. O'Connell., C. Birkinshaw., T.F. O'Dwyer., 2008.** Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: A review. *Bioresource Technology*, 99(15), 6709–6724.
- [28] **A. Gouzy., G. Ducos., 2014.** La connaissance des éléments traces métalliques : un défi pour la gestion de l'environnement.
- [29] **J.O. Nriagu., 1989.** A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals, *Nature*, 338: 47–49.
- [30] **A.T. Hejabi., H.T. Basavarajappa., A.R. Karbassi., S.M. Monavari., 2011.** Heavy metal pollution in water and sediments in the Kabini River, Karnataka, India.
- [31] **Alterre., 2011.** La biodiversité : un capital pour nos territoires . Repères n° 49 , 12 pages.
- [32] **F.P. Arantesi., L.A. Savassi., H.B. Santos., M.V.T. Gomes., N. Bazzoli., 2015.** Bioaccumulation of mercury, cadmium, zinc, chromium, and lead in muscle, liver, and spleen tissues of a large commercially valuable catfish species from Brazil.
- [33] **M. Mahurpawar., 2015.** Effects of heavy metals on human health .International journal of research-granthaalayah .A knowledge repository.
- [34] **B.H. Mahan., 1987.** Química. Curso Universitario. Fondo Educativo Interamericano S. A.
- [35] **C.D. Klaassen., 2008.** Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons. Seventh Edition. Chapter 23: toxic effects of metals.

- [36] **F. Ramade., 1992.** « Biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales » p55.
- [37] **G. Genchi., M.S. Sinicropi., G. Lauria., A. Carocci., A. Catalano., 2020.** The Effects of Cadmium Toxicity.
- [38] **INERIS., 2011.** Cadmium et ses dérivés. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques.
- [39] **L. Regoli., 2005.** The relative contributions of different environmental sources to human exposure and the EU cadmium risk assessment meeting of UNECE task force on heavy metals. Presentation for the UNECE Long-Range-Trans-boundary Air Pollutants – Task Force on Heavy Metals 16–18., Berlin.
- [40] **ATSDR., 2012.** Toxicological profile for cadmium.
- [41] **E. Sang Seung** -Y ong., Y . D
Seung -Dopp G.-Byung- Sun., P. J
imbalance induces kidney tubule damage and oxidative stress in a population exposed to chronic environmental cadmium. 8p.
- [42] **C. Evelyne., 2006.** Le cadmium. JDV Besançon.
- [43] **T. Attar., 2019.** Determination of serum cadmium and lead in healthy adults from the west of Algeria SPC Journal of Environmental Sciences 1 (2), 12-15
- [44] **T. Attar., Y. Harek., N. Dennouni-Medjati., L. Larabi., 2012.** Dosage du cadmium et du plomb dans le sang humain par voltamétrie à redissolution anodique. Ann Biol Clin, 70(2012)595-8.
- [45] **M. Jaishankar., T. Tseten., N. Anbalagan., B.B. Mathew., K.N. Beeregowda., 2014.** Toxicité, mécanisme et effets sur la santé de certains métaux lourds.
- [46] **R. Garnier., 2005.** Toxicité du plomb et de ses dérivés, EMC (Elsevier Masson SAS) Pathologie Professionnelle et de l'Environnement, p. 67-88.
- [47] **A. Burnol., L.M. Duro., 2006.** Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les eaux souterraines. Rapport final, BRGM/RP-52910 –FR, 73 pp.
- [48] **A. Chahid., 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 de doctorat, Agadir, Maroc, 191p.

- [49] **A. Labat., M. Lhermitte., 2007.** Sources, exploration et prise en charge de l'intoxication par le plomb.
- [50] **S. Sabouraud., B. Coppéré., C. Rousseau., F. Testud., C. Pulce., F. Tholly., M. Blanc., F. Culoma., A. Facchine., J. Ninet., P. Chambon., B. Medina., J. Descotes., 2008.** Intoxication environnementale par le plomb liée à la consommation de boisson conservée dans une cruche artisanale en céramique vernissée. Environmental lead poisoning from lead-glazed earthenware used for storing drinks.
- [51] **A.F. Villa., S. Maisant., J. Poupon., J. Langrand., R. Garnier., 2015.** L'analyse isotopique du plomb : un outil utile en santé au travail en cas de multi-expositions.
- [52] **N. Pascale., P. François., 2008.** Contamination des eaux du canton de Genève par le cuivre : caractérisation des sources. Service de l'écologie de l'eau (SECOE).
- [53] **ATSDR., 2004.** Toxicological profile for copper, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA, 1-265.
- [54] **T. Attar., Y. Harek., N. Dennouni-Medjati., L. Larabi., 2012.** Determination of copper levels in whole blood of healthy subjects by anodic stripping voltammetry. *International Journal of Analytical and Bioanalytical Chemistry*, pp160-164.
- [55] **T. Attar, Y. Harek, L. Larabi., 2014.** Determination of copper in whole blood by differential pulse adsorptive stripping voltammetry. *Mediterranean Journal of Chemistry*, pp 691-700. <http://dx.doi.org/10.13171/mjc.2.6.2014.21.02.25>.
- [56] **T. Attar., Y. Harek., N. Dennouni-Medjati., L. Larabi., 2012.** Dosage du cadmium et du plomb dans le sang humain par voltamétrie à redissolution anodique. *Ann Biol Clin*, 595-8. <http://dx.doi.org/10.1684/abc.2012.0738>.
- [57] **T. Attar, N. Dennouni-Medjati, Y. Harek, L. Larabi., 2013.** The Application of Differential Pulse Cathodic Stripping Voltammetry in the Determination of Trace Copper in Whole Blood. *Journal of Sensors and Instrumentation*, pp 31-38.
- [58] **G.S. Plumlee., T.L. Ziegler 2003.** The medical geochemistry of dust, soils and other earth materials. In: B.S. Lollar (Ed.), *Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry*. Elsevier-Pergamon, Oxford, pp. 264-310.

- [59] **M. Araya., M.C. McGoldrick., L.M. Klevay., J.J. Strain., P. Robson., F. Nielsen., M. Olivares., F. Pizarro., L.A. Johnson., K.A. Poirier., 2001.** Determination of an acute no-observed-adverse-effect level (NOAEL) for copper in water, *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, Vol. 34, No. 2, pp. 137-145.
- [60] **G.M. Richardson., R. Garrett., L. Mitchell., M. Mah-Poulson., T. Hackbarth., 2001.** Critical review on natural global and regional emissions of six trace metals to the atmosphere. *Prep. Int. Lead Zinc Res. Organ. Int. Copp. Assoc. Nickel Prod. Environ. Res. Assoc.*
- [61] **D. Stewart., 2012.** Zinc element facts. *Chemicool.*
- [62] **T. Attar., 2019.** Levels of serum copper and zinc in healthy adults from the west of Algeria. *SPC Journal of Environmental Sciences*, pp 26-28. <https://doi.org/10.14419/jes.v1i2.30107>.
- [63] **T. Attar, N. Medjati, Y. Harek, L. Larabi., 2013.** Determination of Zinc levels in Healthy Adults from the West of Algeria by Differential Pulse Anodic Stripping Voltammetry. *Journal of Advances in Chemistry*, pp 855-860. <https://doi.org/10.24297/jac.v6i1.964>.
- [64] **M. Favier., I. Hininger-Favier., 2005.** Zinc et grossesse. *Gynécologie Obstétrique & Fertilité* 33., pp 253–258.
- [65] **D.G. Barceloux., 1999.** Zinc. *Clinical toxicology* ;37: 279–92.
- [66] **D. Stewart., 2012.** Iron element facts. *Chemicool.*
- [67] **T. Attar., 2020.** A mini-review on importance and role of trace elements in the human organism. *Chem Rev Lett*, pp 117-130. <https://doi.org/10.22034/CRL.2020.229025.1058>.
- [68] **H. Hadjou Smir., 2020.** Dosage de Pb, Cd, Zn et Cu dans l'Eau de Source et l'Eau de Mer de la Wilaya de Tlemcen. Mémoire de master, Tlemcen, Algérie. 59 p.
- [69] **Rodier., J. Legube., B. Merlet N. Coll., 2009.**L'Analyse de l'eau. 9eme édition. Du nod. Paris, France. 1526p.
- [70] **G. Aubert., 1978.** Méthode d'analyse des sols. Centre national de documentation pédologique. Marseille, France. 191p.
- [71] **M. Bendedouche., 2016.** Traitement des métaux lourds dans le port de Ghazaouet. Impact sur la sardine. Mémoire de master, Tlemcen, Algérie. 82p.

- [72] **M. Touil., 2016.** Contribution aux traitements des eaux usées par des matériaux naturels. Mémoire de master, Tlemcen, Algérie. 54p.
- [73] **Y. Daoud., 2017.** Evaluation du piégeage des métaux lourds des eaux usées de la région de Tlemcen par absorption atomique. Mémoire de master, Tlemcen, Algérie. 57p.
- [74] **L. Abi-Ayad., 2015.** Etude expérimentale et statistique du dépôt spatiotemporel de métaux dans le milieu marin. Cas de la cote de dessalage du littoral ouest d'Algérie. Thèse de doctorat, Tlemcen, 230p.
- [75] **B.M. Yousfi., 2020.** Analyse des métaux lourds dans les eaux marines par SAA. Mémoire de master, Tlemcen, Algérie. 54p.

Résumé

L'étude est basée sur le dosage des métaux lourds dans l'eau de mer et l'eau de source, par la méthode de spectrométrie d'absorption atomique ; visant cinq métaux ; le plomb, le cadmium, le fer, le zinc et le cuivre. Elle regroupe aussi des recherches basées sur le même principe, réalisé au part-avant, de l'année 2015 à février 2020.

Les résultats de cette étude montrent clairement que l'eau de mer, comme l'eau de source est contaminée par les métaux lourds, et les éléments traces métalliques ce qui cause ce problème, se sont le cadmium et le plomb, qui sont présent en excès et dépassent les normes dans l'eau. Ces deux métaux sont en augmentation continu depuis plusieurs années.

Pour le reste des métaux analysés, qui sont le zinc, le cuivre, et le fer, leur concentration dans l'eau reste en dessous des valeurs limites, le problème est l'accumulation des métaux lourds au fil des années.

Les mots clés : Pollution, eaux de mer, eaux de source, SAA, Pb et Cd.

Abstract

The study is based on the determination of heavy metals in seawater and source water, using the atomic absorption spectrometry method; covering five metals: lead, cadmium, iron, zinc and copper. It also brings together research based on the same principle, carried out in the foreground, from 2015 to February 2020.

The results of this study clearly show that seawater, as the source water is contaminated with heavy metals, and that causes problem, are cadmium and lead, which are present in excess and exceed the standards in the water. These two metals have been increasing continuously for several years.

For the rest of the metals analyzed, which are zinc, copper, and iron, their concentration in water remains below the limit values, the problem is the accumulation of M.L over the years.

Keywords: Pollution, sea water, spring water, SAA, Pb and Cd

ملخص

تعتمد الدراسة على تحديد العناصر الثقيلة في مياه البحر ومياه الينابيع، بطريقة الامتصاص الذري. استهداف خمسة معادن؛ الرصاص والكاديوم والحديد والزنك والنحاس. كما أنه يجمع بين الأبحاث القائمة على نفس المبدأ، والتي تم إجراؤها مسبقاً، من 2015 إلى فبراير 2020.

تظهر نتائج هذه الدراسة بوضوح أن مياه البحر، مثل مياه الينابيع، ملوثة بالمعادن الثقيلة، والمشكلة هي الكاديوم والرصاص اللذان يتواجدان بشكل زائد ويتجاوزان المعايير في الماء. يتزايد هذان المعدنان بشكل مستمر لعدة سنوات.

بالنسبة لبقية المعادن التي تم تحليلها، وهي الزنك والنحاس والحديد، فإن تركيزها في الماء يظل أقل من القيم الحدية، والمشكلة هي تراكم المعادن الثقيلة على مر السنين.

الكلمات المفتاحية: التلوث، مياه البحر، مياه الينابيع، الشعيرة، الرصاص، الكاديوم، الامتصاص الذري.

