

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

UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

Mémoire

De fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : science de la nature et de la vie (S.N.V)

Filière : Biotechnologies

Spécialité : Biotechnologie et valorisation des plantes

Intitulé du thème :

**Effet des métaux lourds sur la santé humaine cas de cadmium,
aluminium, et plomb**

Présenté par: Melle *MARHOUL Imène*

Melle *LEBOUKH Halima*

Mémoire soutenu devant l'honorable jury composé de :

Président de jury	: Mme TOUMI BENALI Fouzia	(Professeur, SBA)
Examineur	: Mme MOURI CHARAF	(MCB, SBA)
Promoteur	: Mme CHIALI Khadidja	(MCB, SBA)

Année universitaire 2019-2020

Session « 01 »



Remerciement

Avant tout, nous remercions ALLAH le tout Miséricordieux. L'unique, Le Puissant, Maître des cieux et de la terre pour nous avoir guidées, protégées, aidées et pour nous permettre de mener à bien réaliser ce travail.

Nos vifs remerciements s'adressent à de notre encadreur **Mme CHIALI Khadidja**, pour nous avoir fait l'honneur de diriger ce mémoire, qu'il nous soit permis de lui exprimer notre sentiments d'estime et de considération pour ses précieux conseils tout au long de notre travail.

Nous exprimons nos vifs remerciements à **Mme. TOUMI**, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire malgré ses nombreuses charges.

Aussi, nous tenons à exprimer également notre profonde reconnaissance à **Mme MOURI** d'avoir accepté d'examiner notre travail. Nous tenons à lui exprimer notre grand respect.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants et tous les responsables de la faculté de sciences de la nature et la vie.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.



Dédicace

Au nom de Dieu le clément miséricordieux

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail

À mes très chers parents; "MARHOUL Mohamed" et "MAAFI Fatima"

Sources inépuisables d'amour, d'affection et de sacrifices. En témoignage de ma reconnaissance pour leur inéluctable patience, et leur soutien au cours de mes longues études. Toutes les dédicaces du monde ne sauraient exprimer mon profond amour et ma vive gratitude. Que Dieu leur donne santé et longue vie et les garde pour moi.

À Mes très chers frères "Abdelhaq", "Abdeljalil", "Ayoub";

Pour leur tendresse, complicité et leur présence, merci pour votre appui et encouragement

À mon époux "Redha", pour son aide morale.

À ma poussine "Ferdaws"

À tout ma famille.

À mes chères amies Hadjer, Rekia, Halima, Marwa, Madjwa, Hadjer, Hanaa et Fatima;

Pour leurs précieux encouragements surtout et pour setenir à côté de moi jusqu'à la fin de ce travail.

Et à tous les enseignantes qui ont contribué à ma formation, qu'ils veuillent trouver ici, l'expression de ma profonde gratitude.

Imene

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail réalisé grâce à l'aide de Dieu tout puissant

A Celui qui m'a toujours encouragé et soutenu durant toutes mes années d'études

Merci pour ton amour et ta confiance totale ...A toi très Cher Père. Ce travail est le tien

A Celle qui m'a tant bercé, tant donné et tant enseigné, toi qui m'as guidé dans le bon chemin, toi qui m'as appris que rien n'est impossible

A Celle qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui ne cesse de prier pour moi ...A toi très Cher mère

Merci pour votre tendresse, ton amour et votre soutien ...maman Ce travail est le fruit de tes efforts

A Mes très chers frères : Mohamed et sa femme iman, kouider et sa femme amina, kadda et sa femme rania, et fayçal merci pour votre appui et encouragement

Mes neveux: abd Elkader, mostafa iyad, mohamed jad, adem zayd

A toute ma grande famille sans exception, oncles, cousins et cousines ...etc.

Mes très chère amies : ensemble : imène, hajer, najwa

Et à tous les enseignantes qui ont contribué à ma formation, qu'ils Veillent trouver ici, l'expression de ma profonde gratitude

A tous ceux que j'aime.

Halima



Résumé

Résumé

Cette modeste étude consiste à identifier l'effet des métaux lourds sur la santé humaine, cas du cadmium, plomb, et l'aluminium.

Dans ce contexte, Notre objectif est de déterminer la relation entre les métaux lourds, leurs toxicités et leurs l'effet sur l'environnement et la santé.

Suite à notre études, nous avons pu énumérer certains métaux qui sont essentiels à l'organisme, d'autres n'ont aucune fonction biologique et ils peuvent s'avérer toxiques à une certaine concentration.

Mots clés : métaux lourds, cadmium, plomb, aluminium, toxicité, environnement, santé.

Abstract

This modest study is to identify the effect of heavy metals on human health, cases of cadmium, lead, and aluminum.

In this context, our goal is to determine the relationship between heavy metals, their toxicities and their effect on the environment and health.

As a result of our studies, we were able to list some metals that are essential to the body, others have no biological function and they can be toxic at a certain concentration.

Keywords: heavy metals, cadmium, lead, aluminum, toxicity, environment, health.

ملخص

هذه الدراسة المتواضعة لتحديد تأثير المعادن الثقيلة على صحة الإنسان، وحالات الكاديوم والرصاص والألومنيوم.

وفي هذا السياق، فإن هدفنا هو تحديد العلاقة بين المعادن الثقيلة، وسمياتها وتأثيرها على البيئة والصحة.

نتيجة لدراساتنا، تمكنا من سرد بعض المعادن التي تعتبر ضرورية للجسم، والبعض الآخر ليس له وظيفة بيولوجية ويمكن أن تكون سامة بتركيز معين.

الكلمات الرئيسية: المعادن الثقيلة، الكاديوم، الرصاص، الألومنيوم، السمية، البيئة والصحة.

Liste des abréviations

Liste des abréviations

% : pourcentage

°C : degré Celsius

µg/kg : micro gramme par kilo gramme

AFSCA : agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire

Ag : argent

Al : aluminium

ANSES : Agence National de Sécurité Sanitaire

As: arsenic

Ba: baryum

Cd: cadmium

cm³ /mol : centimètre cube par mole

CO : Le monoxyde de carbone

CO₂ : Le dioxyde de carbone

COV : Des composés organiques volatils

COVNM : Le composés organiques volatils non méthaniques

Cr VI : chrome hexavalent

Cr : chrome

Cr³⁺ : ions de chrome

Cu : cuivre

Liste des abréviations

DHTP : Dose Hebdomadaire Tolérable Provisoire

E 173 : aluminium métallique

E 520 : sulfate d'aluminium

E 521 : sulfate d'aluminium sodique

E 522 : sulfate d'aluminium potassique

E 523 : sulfate d'aluminium ammoniacal

E 541 : phosphate d'aluminium sodique

E 554 : silicate alumino-sodique

E 555 : silicate alumino-potassique

E 556 : silicate alumino-calcique

E 559 : silicate d'aluminium

EFSA : European Food Safety Authority (Autorité Européenne de Sécurité des Aliments)

ETM : les éléments traces métalliques

F : fluor

Fe : fer

g /cm : gramme par centimètre

g.m² : gramme par centimètre au carré

g/cm³ : gramme par centimètre cube

g/mol : gramme par mole

Liste des abréviations

H : hydrogène

H₂SO₄: l'acide sulfurique

Hg: mercure

Kg: kilogramme

Kg/m³ : kilogramme par mètre cube

KJ /mol : kilo jol par mole

kJ/mol : kilo jol par mole

KOH : hydroxyde de potassium

m : mètre

mg : milligramme

mg.kg⁻¹ : milligramme par kilo gramme

mm : millimètre

Mn : manganèse

Mo : molybdène

mol/m³ : mole par mètre cube

Ni : nickel

NiMH : nickel-hydrure métallique

nm : nanomètre

NO_x : Les oxydes d'azote

Liste des abréviations

O₂ : oxygène

OMS : organisation mondiale de la santé

Pb : plomb

Pb₂Cl₂CO₃ : Phosgénite

PbCO₃ : carbonate de plomb (cérusite)

PbOHCl : Laurionite

PbS : sulfure de plomb (Galène)

PH : potentiel d'hydrogène

PM : Les particules atmosphériques

Ppm : partie par million

Se : sélénium

Sn : étain

SO₂ : Le dioxyde de soufre

Sr : strontium

Ta : tantale

UV : ultraviolet

V : volt

VUS : Des véhicules utilitaires ou de sport

Z : le nombre atomique

Zn : zinc.

Liste des abréviations

µm : micro mètre.

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau n°	Titre	Page
Tableau n°1	classification périodique des éléments	20
Tableau n°2	caractéristiques physico-chimiques de Cadmium	26
Tableau n°3	caractéristiques physico-chimiques de Plomb	28
Tableau n°4	caractéristiques physico-chimiques de l'Aluminium	33
Tableau n°5	Effets de certains métaux lourds sur la santé	39
Tableau n°6	Aperçu des différentes matrices dans lesquelles la quantité de cadmium (Cd) a été déterminée par l'AFSCA en 2006, 2007 et 2008	51

Liste des figures

Liste des figures

Figure n°	titre	page
Figure n°1	pollution de sol	4
Figure n°2	pollution de l'air par des rejets d'origine anthropiques	5
Figure n°3	pollution de l'eau	6
Figure n°4	les sources de pollution	6
Figure n°5	l'élément de Cadmium	23
Figure n°6	l'élément de Plomb	27
Figure n°7	l'élément de l'Aluminium	32

Table des matières

Table des matières

Résumé (français, anglais, arabe)

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale.....01

Chapitre I : Généralité sur la pollution

I.1. Définition de pollution.....03

I.2. Les différents types de pollution03

I.2.1 Pollution de sol.....03

I.2.2 Pollution de l'air.....05

I.2.3 Pollution de l'eau05

I.3. les sources de pollution06

I.3.1 La production d'énergie thermique.....07

I.3.2 Le transport et l'automobile.....07

I.3.3 Les déchets.....08

I.3.4 L'industrie.....08

I.3.5 L'agriculture et la sylviculture.....08

I.4. les conséquences de la pollution.....08

I.4.1 Les conséquences de pollution de l'eau.....08

I.4.2 Les conséquences de pollution de l'air.....09

I.4.3. Les conséquences de pollution de sol10

I.5. Définition de polluant.....11

I.5.1 Différents types de polluants11

I.5.1.1 Les polluants primaires.....11

I.5.1.1.1 Monoxyde de carbone (CO).....11

I.5.1.1.2 Le dioxyde de soufre (SO₂).....12

I.5.1.1.3 Les oxydes d'azote (NOX).....13

Table des matières

I.5.1.1.4 Les composés organiques volatiles (COV).....	14
I.5.1.1.5 Les particules en suspension.....	15
I.5.1.1.6 Le Méthane.....	16
I.5.1.1.7 les hydrocarbures.....	16
I.5.1.1.8 les métaux lourds.....	17
I.5.1.2 Les polluants secondaires.....	17
I.5.1.2.1 L'ozone.....	17

Chapitre II : Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

II.1. Définition des métaux lourds.....	19
II.2. Les différents types des métaux.....	20
II.2.1. Les métaux toxiques.....	20
II.2.2. Les métaux essentiels ou oligoéléments.....	20
II.3. Origines des métaux lourds.....	21
II.3.1. Origine naturelles.....	21
II.3.2. Origine anthropique.....	22
II.3.2.1. L'industrie	22
II.3.2.2. Le transport.....	22
II.3.2.3. L'agriculture	22
II.4. Particularités de quelques métaux lourds.....	23
II.4.1. Le cadmium.....	23
II.4.1.1. Propriétés biologiques.....	24
II.4.1.2. Sources.....	24
II.4.1.2.1. Sources naturelles.....	24
II.4.1.2.2. Sources anthropiques.....	24
II.4.1.3. Utilisation du cadmium.....	24
II.4.1.4. Toxicité.....	26
II.4.2. Plomb.....	27

Table des matières

II.4.2.1. Propriétés biologiques.....	27
II.4.2.2. Sources.....	29
II.4.2.2.1. Sources naturelles.....	29
II.4.2.2.2. Sources anthropiques.....	30
II.4.2.3. Utilisation de plomb.....	30
II.4.2.4. Toxicité.....	31
II.4.3. L'aluminium.....	32
II.4.3.1 Propriétés biologiques.....	33
II.4.3.2 Sources.....	34
II.4.3.2.1. Sources naturelles.....	34
II.4.3.2.2. Sources anthropiques.....	36
II.4.3.3. Utilisation de l'Aluminium.....	36
II.4.3.4. Toxicité.....	37
II.5. les effets des métaux lourds sur la santé.....	38
II.5.1. L'effet de cadmium.....	40
II.5.2. L'effet de Plomb.....	42
II.5.3. L'effet de l'Aluminium.....	43

Chapitre III : Les effets des métaux lourds sur la santé humaine

III.1. l'exposition alimentaire aux métaux lourds.....	46
III.1.1. L'exposition alimentaire à l'aluminium.....	46
III.1.1.1. Les aliments pouvant contenir de l'aluminium	46
III.1.1.2. Les additifs alimentaires.....	47
III.1.1.3. Les objets en aluminium au contact des aliments.....	48
III.1.2. L'exposition alimentaire au plomb.....	48
III.1.2.1. Contamination par l'environnement.....	48
III.1.2.2. Contamination par contact avec des matériaux.....	49
III.1.3. L'exposition alimentaire au cadmium	49

Table des matières

III.2. Les métaux lourds et leur circulation dans l'air.....	54
Conclusion.....	57
Références bibliographiques	58
Annexe.....	70

Introduction

Introduction générale

Les progrès socio-économiques enregistrés au début du 20^e siècle à travers le monde, ont engendré de graves problèmes de pollution qui ont touché la terre, la mer et l'atmosphère, portant ainsi atteinte à la santé humaine et à l'équilibre écologique.

L'Algérie, à l'instar des autres pays, a connu au cours des dernières années, un important développement économique qui a profité à plusieurs secteurs vitaux implantés essentiellement sur le littoral et autour des grandes agglomérations urbaines. Ce développement économique n'a cependant pas toujours pris en compte la dimension environnementale. Il a généré des rejets polluants sous forme de déchets liquides, solides ou gazeux qui ont altéré les ressources naturelles, et détérioré l'hygiène du milieu et du cadre de vie.

En milieu urbain, la pollution est principalement due aux émissions de la production d'énergie thermique, véhicules automobiles. Des tentatives existent pour réduire ces pollutions, telles que l'ajout des pots catalytiques pour les véhicules à essence, de filtres à poussières pour les véhicules diesel ou GPL....etc. Néanmoins la quantité de polluants produits par les transports, augmente sans cesse en raison de l'accroissement du parc de véhicules et du nombre de kilomètres parcourus annuellement par chaque véhicule.(**Louadah, 2016**)

Métaux lourds constituent un groupe d'éléments très différent. Tous ces éléments peuvent se présenter sous un grand nombre de formes de composés différents (**BENHAMOU, BAKIR, 2016**). La pollution par les métaux lourds comme le plomb, le cadmium, aluminium, le zinc et le mercure représente un risque important sur l'environnement et la santé publique en raison de la pathologie variées que peuvent engendrer ces éléments l'exposition aux forme

Introduction générale

l'inhalation de particules et l'ingestion directe (de poussière) ou par l'intermédiaire d'aliments contaminé etc.

Dans ce présent travail, nous allons identifier quelques métaux lourds et leur impacte sur l'environnement et la santé humaine

Ce mémoire est articulé en trois chapitres :

Premier chapitre : généralités sur la pollution, ses types, ses sources, et ses conséquences

Deuxième chapitre : une synthèse bibliographique sur les métaux lourds (aluminium, Plomb et Cadmium).et leur effet sur l'environnement

Troisième chapitre : l'effet des métaux lourds sur la santé ainsi que l'exposition alimentaire des métaux lourds.

Chapitre I

Généralité sur la pollution

I.1. Définition de pollution

La pollution se définit comme la dégradation d'un milieu naturel par l'introduction d'un polluant. Cette notion de dégradation est très importante d'autant que les polluants sont importants.

C' est une l'introduction directe ou indirecte, par l'activité humaine ou naturelle, de substances, de vibrations, de chaleur ou de bruit dans l'air, dans l'eau ou dans le sol, susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité de l'environnement. **(DIALLO, 2005)**

La définition la plus précise du terme « pollution » a été donnée par le Premier rapport du Conseil sur la qualité de l'Environnement de la Maison Blanche (USA): « La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparait en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine. Au travers des effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux de l'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou indirectement ou à travers des ressources en produits agricoles, en eau, et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objectifs physiques qu'il détient, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature » **(US-EPA, 1986)**.

I.2. les différents types de pollution

I.2.1 Pollution de sol

On dit qu'un sol est pollué lorsqu'il contient une concentration anormale de composés chimiques potentiellement dangereux pour la santé, des plantes ou des animaux et aussi les pesticides. On retrouve aussi le nylon, les plastiques et les caoutchoucs. **(Figure 1). (Mackenzie, 2000)**



Figure 1 : pollution de sol

source : (site web 1)

A) Les pollutions diffusées

Les «contaminations diffusées », est une pollution due à de multiples rejets de polluants dans le temps et dans l'espace. De ce type de contamination résulte principalement des dépôts atmosphériques qui ne peuvent pas être liés à une ou plusieurs sources ponctuelles identifiables et des pratiques agricoles et horticoles (épandage d'engrais, d'amendement, de boues de station d'épuration, traitement phytosanitaire...). **(Benoît et al, 2013)**

B) les pollutions localisées

Les «contaminations localisées », qui touchent une aire relativement faible et sont dues à une ou plusieurs sources bien identifiées et souvent très proches (quelques mètres à quelques kilomètres). Il s'agit généralement d'apports massifs, souvent associés aux exploitations minières, aux installations industrielles et à d'autres installations **(Benoît et al, 2013)**

I.2.2 Pollution de l'air

La pollution de l'air(ou pollution atmosphérique) est l'altération de la pureté de l'air par une ou plusieurs substances ou particules présentes à des concentrations et durant des temps suffisants pour créer un effet toxique **(Elichegaray, 2008)**. L'air est composé à 78% d'azote, 21% d'oxygène, 1% d'argon, et 0.04% de dioxyde de carbone; et toutes les substances étrangères à cette composition provoquent la pollution atmosphérique **(Louadah, 2016)** **(figure 2)**.



Figure2 : pollution de l'air par des rejets d'origines anthropiques **(site web 1)**

I.2.3 Pollution de l'eau

La pollution de l'eau désigne un état qualitatif d'impureté ou de manque de propreté des eaux hydrologiques d'une certaine région, comme un bassin versant. **(Figure 3)**. **(Stellman, 2000)**



Figure 3: pollution de l'eau source : (site web 1)

I.3. les sources de pollution

La plupart des activités humaines génèrent de la pollution atmosphérique sous forme de gaz ou sous forme solide (mise en suspension de poussières). Les principales activités responsables de cette pollution sont les suivantes (figure 4) :

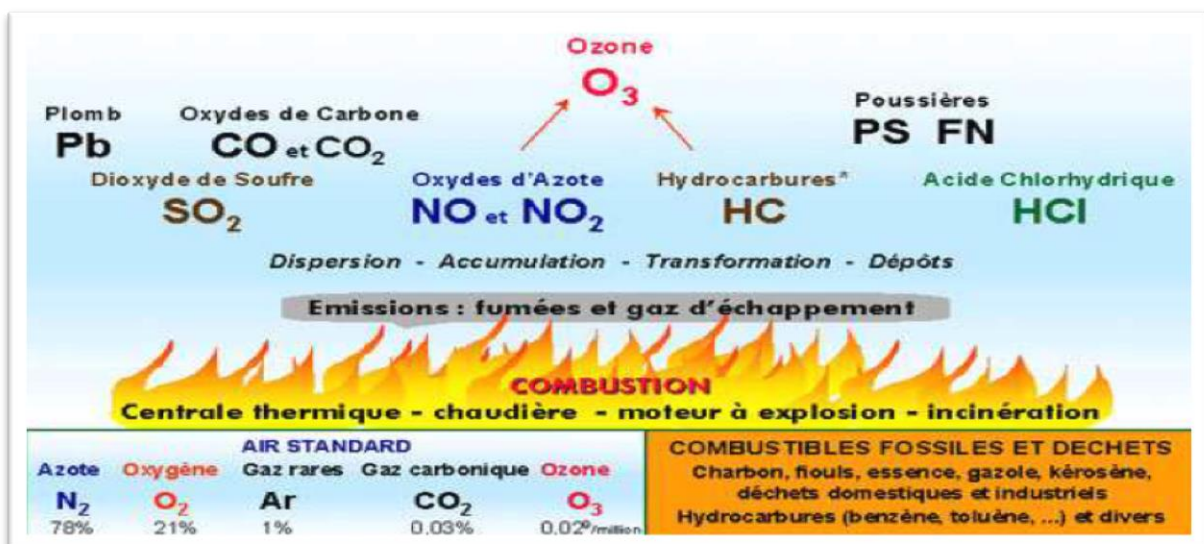


Figure 4 : les sources de pollution source (ZENATA, 2008)

I.3.1 La production d'énergie thermique

La combustion de combustibles fossiles génère d'importantes émissions polluantes :

- Le dioxyde de carbone (CO₂)
- Le monoxyde de carbone (CO)
- Le dioxyde de soufre (SO₂)
- Les oxydes d'azote (NO_x)
- Les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM)
- Les particules atmosphériques (PM) (**ZENATA, 2008**)

I.3.2 Le transport et l'automobile

Les automobiles, les autobus et les camions sont une source de la pollution atmosphérique quand leurs moteurs brûlent du carburant (essence ou diesel) ils produisent des grandes quantités de produits chimiques libérés dans les gaz d'échappement.

Une réglementation stricte sur la performance des moteurs et la composition des carburants ont entraîné une diminution de l'émission de polluants par les véhicules. La quantité totale de pollution produite par le trafic routière dans le monde à diminuer (24,4%). Toutefois, cette source de pollution est toujours très occupante parce que :

- Le nombre de véhicules sur nos routes et autoroutes a augmenté au fil des ans
- Il y a plus de gens qui conduisent des véhicules utilitaires ou de sport (VUS) qui consomment plus d'essence que les automobiles et sont par conséquent plus polluants.

Ce problème est davantage très occupant dans les villes où le trafic est de plus en plus dense. Il est essentiel de souligner que l'automobile est la principale

source de pollution par les émissions d'oxydes d'azote, de monoxyde de carbone et de divers hydrocarbures. (ZENATA, 2008)

I.3.3 Les déchets

Les déchets sont considérés comme l'une des plus grandes sources de pollution. Qu'ils soient abandonnés dans une décharge ou incinérés, par leur décomposition ils sont producteurs de plusieurs polluants, tels que le méthane, l'acide chlorhydrique, les métaux lourds, les dioxines et les furanes. (Rebouh, 2011)

I.3.4 L'industrie

L'industrie est à l'origine des émissions spécifiques dues aux processus de traitement ou de fabrication employés. En quantités variables, selon les secteurs industriels, elle est émettrice de monoxyde et de dioxyde de carbone, de dioxyde de soufre, d'oxyde d'azote, de poussière, de composés organiques volatils (COV), de métaux lourds, etc. (Ait-Ali & Labii, 2010)

I.3.5 L'agriculture et la sylviculture

L'agriculture contribue également à la pollution atmosphérique. Ses émissions (essentiellement l'ammoniac, le méthane, le protoxyde d'azote, le monoxyde de carbone et les produits Phytosanitaires) sont liées à la décomposition des matières organiques et à l'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires. (ZENATA, 2008)

I.5. les conséquences de la pollution

I.5.1 Les conséquences de pollution de l'eau

La pollution de l'eau résulte de la contamination par les matières organiques et chimiques qu'on retrouve dans les déchets humains, animaliers et industriels, ainsi que dans les engrais, les produits phytosanitaires, bactériologiques et même les médicaments.

En fait, dans les pays sous-développés, 95% des eaux usées domestiques et 75% des déchets industriels sont évacués dans les rivières, alors que même les pays industrialisés n'échappent pas au blâme, vu qu'un tiers des déchets humains et des millions de tonnes de déchets animaliers sont rejetés dans les champs, soit pour fertiliser les sols, soit tout simplement pour s'en départir. Ces déchets humains et animaliers contiennent des chlorures et des nitrates qui contaminent les eaux phréatiques.

Il est important de rappeler que l'utilisation de l'eau polluée est très nocive, notamment pour les enfants, qui sont plus sensibles. En effet, environ 6000 enfants meurent par jour à cause des maladies diarrhéiques telles que la dysenterie, la typhoïde et le choléra. Ils sont également la cause de plusieurs maladies dermatologiques comme la gale. **(Site web 2)**

I.5.2 Les conséquences de la pollution de l'air

La pollution de l'air est induite par la présence dans l'atmosphère de substances toxiques, principalement produites par l'activité humaine. Ces gaz et produits chimiques génèrent une quantité de phénomènes et conséquences sur les écosystèmes et les êtres vivants qui peuplent notre planète.

➤ Sur l'environnement

- La pollution de l'air a un impact majeur sur le processus d'évolution des plantes en empêchant la photosynthèse (L'augmentation des gaz polluants perturbe les arbres, l'ozone faisait chuter le rendement de certaines cultures agricoles).
- L'accumulation de gaz dans l'atmosphère génère également des problèmes environnementaux aux conséquences tristement connues : pluies acides, diminution de la couche d'ozone, réchauffement climatique, effet de serre...

➤ **Sur la santé humaine**

Les polluants atmosphériques sont responsables de la détérioration de la santé humaine.

- La pollution de l'air peut notamment causer des problèmes cardiovasculaires, des allergies, des crises d'asthme, des conjonctivites, des maladies des bronches, des cancers du poumon ou de la peau, des problèmes de vision, des maladies du sang, des problèmes dans le développement mental de l'enfant, entre autres. Les personnes les plus vulnérables sont les enfants, les personnes âgées, les femmes enceintes et les malades. **(Site web 3)**

I.5.3 Les conséquences de pollution de sol

Les sols constituent en bien des cas, un intermédiaire obligatoire entre l'atmosphère et l'hydrosphère, pour une fraction de la quantité totale de chaque polluant que l'homme rejette dans l'air. Contrairement à la pollution atmosphérique qui sévit aussi bien en ville que dans les zones rurales, la pollution des sols affectés par essence les campagnes. Elle est avant tout une conséquence de l'expansion de certaines techniques agricoles modernes. Les engrais chimiques augmentent certes les rendements, mais leur application répétée à de très fortes doses, conduites à une pollution des sols par les impuretés qu'ils renferment, il en est de même des pesticides minéraux ou organiques. La présence d'un polluant dans le sol n'est pas en soi un danger, le risque apparaît dès lors que ce polluant peut être mobilisé et agit sur l'environnement (faune, flore) ou sur l'homme. **(DUBEY & DWIVIDI, 1998)**. Les métaux lourds peuvent être adsorbés sur la fraction inorganiques des sols, à travers les réactions d'échanges d'ions **(KNOX et al, 2000) ; GADD, 2001)**. Ainsi le sol ne joue pas un rôle de « filtre » et ces métaux peuvent suivre plusieurs cheminements.

I.6. Définition de polluant

Un polluant désigne un agent physique, chimique ou biologique qui provoque une gêne ou une nuisance dans le milieu liquide ou gazeux et solide. Au sens large, le terme désigne des agents qui sont à l'origine d'une altération des qualités du milieu, même s'ils y sont présents à des niveaux inférieurs au seuil de nocivité. On peut désigner sous le terme de polluant toute substance artificielle produite par l'homme et dispersée dans l'environnement, mais aussi toute modification d'origine anthropogène affectant le taux ou (et) les critères de répartition dans la biosphère d'une substance naturelle propre à tel ou tel milieu. (Site web 4)

I.6.1 Différents types de polluants**I.6.1.1 Les polluants primaires**

Les polluants peuvent être classés comme primaires ou secondaires. Par définition, les polluants primaires sont ceux qui proviennent directement d'une source polluante identifiée, tels que le monoxyde de carbone provenant des processus de combustion et présent dans les gaz d'échappement des voitures, le dioxyde de soufre provenant de l'industrie (Mayer, 1999)

I.6.1.1.1 Monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz sans couleur, inodore, toxique produit lorsque des carburants contenant du carbone sont brûlés où il y a trop peu d'oxygène. Il se forme également en raison de la brûlure des carburants à une température trop élevée. Il brûle dans l'air ou avec de l'oxygène avec une flamme bleue, et est légèrement plus léger que l'air. (BUCHDAHL, 2000)

➤ Effet sur la santé

-A fortes doses, il est un toxique cardio-respiratoire souvent mortel.

- A faibles doses, il diminue la capacité d'oxygénation du cerveau, de cœur et des muscles. Sa nocivité est particulièrement importante chez les insuffisants coronariens et les fœtus. **(BLANCHOT, 2002)**

➤ **Effet sur l'environnement**

Le CO, au même titre que les NO_x et COV, intervient en tant que précurseur dans le processus de formation de la pollution photochimique, notamment de l'ozone troposphérique.

I.6.1.1.2 Le dioxyde de soufre (SO₂)

Le dioxyde de soufre (SO₂) est un gaz sans couleur et ininflammable avec une odeur pénétrante qui irrite les yeux et les voies respiratoires. Il réagit sur la surface d'une variété de particules en suspension solides, il est soluble dans l'eau et peut être oxydé dans les gouttelettes d'eau portées par le vent. Les sources les plus communes de dioxyde de soufre incluent la combustion des combustibles fossiles, la fonte, la fabrication d'acide sulfurique, la conversion de la pulpe de bois en papier, l'incinération des ordures et la production du soufre élémentaire. Le charbon brûlant est la plus grande source synthétique de dioxyde de soufre représentant environ 50% des émissions globales annuelles, avec la brûlure de pétrole représentant 25-30% en plus. Les volcans sont la source naturelle la plus commune de dioxyde de soufre. **(BUCHDAHL, 2000)**

➤ **Effet sur la santé**

- Le dioxyde de soufre est un gaz irritant qui agit en synergie avec d'autres substances telles que les particules en suspension. A forte concentration, le dioxyde de soufre peut avoir de graves effets sur la santé.

-Il a pour effet d'altérer la fonction pulmonaire chez l'enfant et provoque des symptômes respiratoires chez l'adulte (toux, gêne respiratoire, bronchite...).

➤ **Effet sur l'environnement**

- Le dioxyde de soufre est un polluant gazeux acidifiant. Il contribue à l'acidification de l'environnement. Une fois émis dans l'air et en présence d'eau, le dioxyde de soufre forme de l'acide sulfurique (H_2SO_4) qui contribue au phénomène des pluies acides.

- Les émissions de dioxyde de soufre sont aussi à l'origine de la formation de brouillards toxiques connus sous le nom de smog. Le SO_2 s'associe à des particules en suspension qui ont une affinité avec l'eau. (**BLANCHOT, 2002**)

I.6.1.1.3 Les oxydes d'azote (NOX)

Ils comprennent notamment le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2). Ce sont des gaz fortement toxiques qui résultent de l'oxydation de l'azote de l'air par l'oxygène à température élevée, phénomène qui se produit généralement lors des processus de combustion en particulier dans les moteurs à combustion interne et les centrales thermiques (**ARQUÈS, 1998**). C'est dans les zones ayant une forte circulation automobile que nous observons de fortes concentrations en NO et NO_2 . De plus, NO peut réagir avec l'oxygène de l'air pour se transformer en NO_2 . (**AL BARAKEH, 2012**).

➤ **Effet sur l'environnement**

- Contribuant à l'acidification de l'environnement et à la formation de l'ozone troposphérique et de particules fines, les oxydes d'azote peuvent avoir des effets néfastes sur la végétation, les écosystèmes et les bâtiments

- Les émissions acides sont transformées de manière chimique en sels azotés, sont déposées à sec et sous forme de poussières ou d'autres particules et provoquent ainsi un déséquilibre dans la composition de l'air, du sol et des eaux de surface.

➤ **Effet sur la santé**

- Le NO, qui est un gaz incolore et ininflammable, n'est pas toxique pour l'homme.

- Par contre, caractérisé par une couleur brun-rouge et une odeur acide et piquante, le NO₂ peut pénétrer profondément dans les voies respiratoires et peut ainsi avoir des effets néfastes sur la santé humaine.

- Des effets à long terme sont aussi observables, notamment chez les enfants, qui présentent une augmentation de la sensibilité du poumon aux infections bactériennes lors d'une exposition d'un an et plus. **(AL BARAKEH, 2012).**

I.6.1.1.4 Les composés organiques volatiles (COV)

Les composés organiques volatils ou les COV sont des produits chimiques organiques qui se vaporisent facilement à la température ambiante. Ils s'appellent organiques parce qu'ils contiennent l'élément carbone dans leurs structures moléculaires. Les COV n'ont aucune couleur, odeur, ou goût. Ils incluent un éventail très large de différentes substances, telles que les hydrocarbures (par exemple benzène et toluène) et des halocarbures.

La famille des composés organiques volatils regroupe plusieurs milliers de composés (hydrocarbures, solvants, ...) aux caractéristiques très variables. **(ANONYME III, 2002)**

➤ **Effet sur la santé**

- Les solvants organiques peuvent être responsables de céphalées, de nausées... Les composés oxygénés sont plus ou moins réactifs (alcools).

- Les plus réactifs regroupent formaldéhyde, acétaldéhyde, acroléine,... responsables d'irritations des yeux, du nez, de la gorge et des voies respiratoires. (ANONYME III, 2002)

➤ **Effet sur l'environnement**

Les COV au même titre que les NOX et CO interviennent en tant que précurseurs dans le processus de formation de la pollution photochimique, notamment de l'ozone troposphérique.

I.6.1.1.5 Les particules en suspension

Ces particules (notées « PM » en anglais pour « *ParticulateMatter*») sont d'une manière générale les fines particules solides ou liquides en suspension dans l'air. Ces particules sont définies dans la directive 1999/30/CE comme « les particules passant dans un orifice d'entrée calibré avec un rendement de séparation de 50% pour un diamètre aérodynamique de 10 μm (cas des PM10) ou de 2,5 μm (cas des PM2,5) ». Ces particules proviennent de sources naturelles comme les éruptions volcaniques, la végétation (pollens...), les incendies de forêts... ou de sources anthropiques comme les émissions industrielles, la combustion des fossiles combustibles... (CE, 1999)

➤ **Effet sur la santé**

-Les plus grosses sont retenues par les voies aériennes supérieures. Les plus dangereuses sont les plus fines, car elles peuvent pénétrer profondément dans les poumons et transporter des composés toxiques.

-Elles augmentent le risque d'infections respiratoires aiguës chez l'enfant et renforcent des sensibilités allergiques ou des pathologies préexistantes.

➤ **Effet sur l'environnement**

- Les particules en suspension sont à l'origine de salissure sur les bâtiments.

- D'autre part, elles ont une influence sur la formation des nuages, des brouillards et des précipitations.

I.6.1.1.6 Le Méthane

Ce gaz n'est pas réglementé en tant que polluant dans l'atmosphère par les Directives Européennes, mais peut être un bon traceur de certaines pollutions anthropiques. On le trouve à l'état naturel produit par des organismes vivants. Il constitue l'essentiel du gaz naturel qui est exploité comme combustible fossile. Il est l'un des principaux gaz à effet de serre et a un rôle important dans le réchauffement climatique. (AL BARAKEH, 2012).

I.6.1.1.7 les hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés organiques constituent les éléments essentiels des pétroles contenant exclusive ment des atomes de carbones« C » et d'hydrogène « H».L e terme hydrocarbure est un terme générique qui désigne les mélanges de composés organiques présent dans des matières géologiques comme l'huile , le bitume et le charbon ou dérivés de ces matières. Ils sont, dans des conditions normales de température et de pression, solides (paraffine), liquides (essences, huiles, solvants, etc.) ou gazeux (méthane, butane, etc.) ou adsorbés sur des particules. (ATLAS, 1981).

➤ Effet sur la santé

Leurs effets très divers en fonction de leur nature : depuis l'odeur désagréable sans effet sur la santé jusqu'à des effets cancérogènes ou mutagènes pour certains composés polycycliques

I.6.1.1.8 les métaux lourds

Les métaux lourds sont dangereux pour l'environnement car ils ne sont pas dégradables, de plus ils sont enrichis au cours des processus minéraux et biologiques, et finissent par s'accumuler dans la nature. Ils peuvent également être absorbés directement par le biais de la chaîne alimentaire entraînant alors architecture et urbanisme des effets chroniques ou aigus.

Les métaux lourds ont diverses origines : les roches du sol (arsenic, plomb...) la pollution atmosphérique (plomb, cadmium...), les engrais (cadmium, plomb, arsenic...), les boues urbaines (mercure, plomb, cadmium...).
(REBOUH, 2011)

I.6.1.2 Les polluants secondaires

Ce sont les polluants présents dans l'atmosphère qui se forment à la suite de réactions mettant en jeu les composés émis par des sources primaires ou encore qui ne proviennent pas d'une source directement polluante. Leur présence dans l'atmosphère est difficile à réguler car leur existence ne provient pas directement des activités anthropiques.

I.6.1.2.1 L'ozone

C'est un gaz toxique bleuâtre et instable, avec une odeur piquante, trouvé naturellement dans l'atmosphère, en particulier dans la stratosphère, 19 à 30

kilomètres au-dessus de la surface de la Terre où il forme la couche d'ozone. L'ozone (O₃) est la forme triatomique de l'oxygène moléculaire (O₂).

L'ozone au niveau du sol est formé indirectement par l'action de la lumière du soleil sur les composés organiques volatils en présence du dioxyde d'azote, et c'est pourquoi il s'agit d'un polluant secondaire.

L'ozone est nettoyé par l'oxyde nitrique (NO), habituellement présent dans des zones urbaines, à cause des vapeurs du trafic, mais moins dans la campagne. Par conséquent, l'ozone se produit habituellement dans des concentrations plus élevées en été plutôt qu'en hiver, et dans des zones rurales plutôt que des zones urbaines (grâce à la forte température, l'ozone touche tout particulièrement les zones industrialisées ayant un fort ensoleillement, il est surtout produit par l'action du rayonnement solaire (UV) sur des produits chimiques). (BUCHDAHL, 2000)

Chapitre II

Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

II.1. Définition des métaux lourds

Les métaux lourds sont des corps simples, solides, cristallins caractérisés par une conductivité thermique et électrique (Verloo, 2003). Par définition les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort impact toxicologique. Les métaux toxiques sont nombreux, mais on peut citer surtout l'arsenic, le cadmium, le plomb, silicium, le nickel, germanium, l'actinium, polonium et le mercure (Di Benedetto, 1997).

Un métal est une matière ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie (Gérard, 2001). On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, de densité supérieure à 5 g/cm³ et tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du sodium (Z=11) (Z c'est le nombre atomique). Les métaux lourds montrés dans le tableau 1, sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles sous forme de traces. Il s'agit de tous les éléments de transition possédant une orbital d'insaturée, y compris les lanthanides et les actinides (bloc d et f de la classification de Mendeleïev), à l'exception du scandium, du titane et de l'yttrium. On classe de même parmi les métaux lourds, les éléments intermédiaires les moins électronégatifs du bloc p, parmi lesquels figurent le plomb et l'étain (Fourest, 1993)

Chapitre II Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

Tableau 1 : Classification périodique des éléments. (Fourest, 1993)

Bloc S												Bloc p					
H		■ Métaux lourds de densité > 5															He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Bloc d										Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Bloc f														
Lanthanides			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Transuraniens			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr	

II.2.2 Les différents types des métaux

D'un point de vue biologique, on distingue deux types en fonction de leurs effets physiologique et toxique : métaux essentiels et métaux toxiques (**Huynh, 2009**).

II.2.2.1 Les métaux toxiques

Les métaux toxiques ont un effet toxique sur les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule (**Baker and Walker, 1989**). Ce sont des micropolluants de nature à entraîner des nuisances, même quand ils sont rejetés en quantité très faibles. Ces éléments qui ne présentent pas une fonction métabolique, sont connus comme « non essentiels » et généralement ont un seuil de concentration beaucoup plus bas pour devenir toxiques (**Aranguren, 2008**).

II.2.2.2 Les métaux essentiels ou oligoéléments :

Sont des éléments indispensables à l'état de traces pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques tel que le zinc, cuivre, fer...etc. (**Loué ; 1993**). Certains peuvent devenir

toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre, du nickel, du zinc, du Fer. Par exemple le Zinc à la concentration du milli molaire est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques (déshydrogénase, protéinase, peptidase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides (**Kabata et Pendias, 2001**).

II.3. Origine des métaux lourds

Les métaux lourds sont redistribués naturellement dans l'environnement par les processus géologiques et les cycles biologiques (ils y sont redistribués dans les profils du sol via la pédogenèse et la bioturbation, et dans les écosystèmes via les phénomènes de bioassimilation et bioconcentration). Les activités industrielles et technologiques diminuent cependant le temps de résidence des métaux dans les roches, ils forment de nouveaux composés métalliques, introduisent les métaux dans l'atmosphère par la combustion de produits fossilifères.

Il faut différencier la part qui résulte aussi la contamination d'origine humaine (anthropogène) et la part naturelle (géogène). Les métaux lourds se trouvent dans l'atmosphère l'hydrosphère, lithosphère. Leur distribution dans l'environnement procède de 2 origines (**McKenzie, 1997**) :

II.3.1 Origine naturelles

Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, L'altération des continents et les incendies de forêts. La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma (**Darmendrail et al. 2000**).

II.3.2 Origine anthropique

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes (Mckenzie, 1997).

II.3.2.1 L'industrie

Les combustions de charbon engendrent des effluents gazeux qui peuvent contenir (As, Hg, Mo, Se). D'autres émissions gazeuses viennent des fonderies : (Ta, Cr, Pb). Les industries de traitement de surface (cadmiage, zingage, galvanisation, chromage, étamage, nickelage, anodisation de l'aluminium) peuvent rejeter des effluents liquides contenant du (Cr, Zn, Cd, etc.). Les sites de traitement du bois peuvent rejeter du Cu et du Cr notamment. Les pigments pour peintures et encres peuvent contenir du (Cd, Pb, Zn, Cr). Les tanneries peuvent rejeter des effluents chargés de (Cr³⁺). Notons que la plupart des industries font des efforts d'épuration des eaux et des gaz. Il est également possible de modifier les procédés de fabrication pour les rendre moins polluants (technologies propres). (N.SEGHAIRI, S.ACHOUR, 1994)

II.3.2.2 Le transport

On observe, sur les routes, des dépôts de métaux agglutinés avec les huiles de carter (usure des moteurs) ainsi que des dépôts provenant de l'usure des pneus; On peut observer une contamination en Pb et Cd sur une bande de 10 à 20 m le long de l'axe routier. Les eaux de ruissellement des chaussées urbaines et autres peuvent être assez chargées en polluants. (KOZLOWSKI., GRABOWSKA, 2003)

II.3.2.3 L'agriculture

L'épandage d'engrais peut amener des métaux (Sr, Ba, Mn, F, Zn, Cd) provenant des craies phosphatées, phospho-gypse. Les effluents d'élevage peuvent également apporter du Cu, Zn, et Mn. En effet, les rations alimentaires

des porcs, volailles et des bovins sont enrichies en Cu (35 à 175 ppm) et en Zn (150 à 250 ppm) qui se retrouvent intégralement dans les lisiers et fumiers. Les produits phytosanitaires peuvent également apporter du cuivre (cas bien connu de la bouillie bordelaise : sulfate de cuivre additionné de chaux). Ce composé est utilisé comme fongicide (vigne, pomme de terre,.....) L'étain et l'arsenic peuvent également entrer dans la formulation de certains pesticides. (Ghali, 2008).

II.4. Particularités de quelques métaux lourds

II.4.1 Le cadmium

Le Cadmium est un élément non essentiel qui présente une toxicité élevée. (BASHAR, 2015). C'est un sous-produit de l'extraction du Zinc et accessoirement du Plomb. C'est un élément métallique blanc argenté à reflets bleus pâles, malléable et ductile (VERGE, 2006) résiste à la corrosion atmosphérique, ce qui est en fait un revêtement de protection pour les métaux ferreux (figure 5). Lors de l'ébullition du Cadmium, il se dégage des vapeurs jaunes toxiques. (DIDIER, 2010)

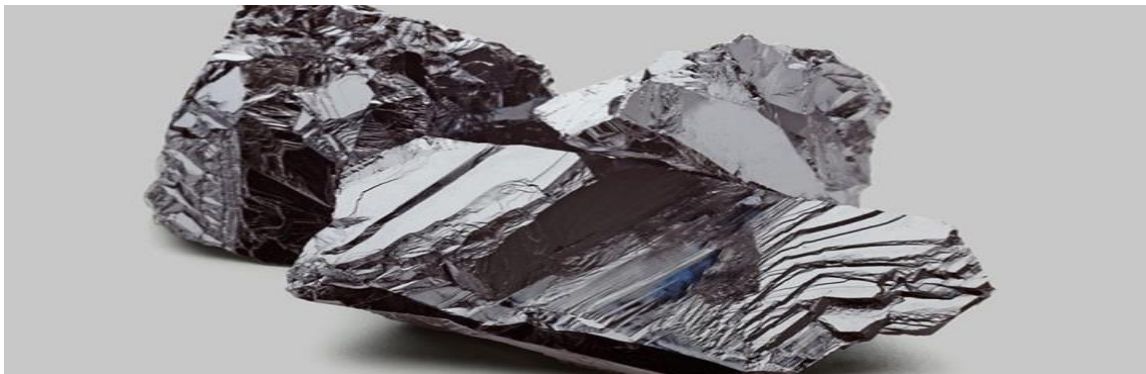


Figure 5 : l'élément de cadmium (site web 5)

II.4.1.1 Propriétés biologiques

Contrairement à nombreux métaux, le Cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants (CASAS, S, 2005). Sa demi-vie biologique très longue (16 à 33 ans), elle se traduit par l'accumulation dans les organes. (BELAHCENE, IDIR, 2017)

II.4.1.2 Sources

II.4.1.2.1 Sources naturelles

Les sources naturelles sont assurées essentiellement par les agents atmosphériques et l'érosion terrestre qui libèrent et transportent le Cadmium ainsi que d'autres oligo-éléments dans le milieu marin (SAHBAOUI, 2015). Il est présent naturellement dans la croûte terrestre à une concentration moyenne de 0.2 mg.kg⁻¹, les plus faibles teneurs en Cadmium sont trouvées dans les sols issus des roches éruptives (moins de 0.1 mg/kg sol sec). (KRIKA, 2013)

II.4.1.2.2 Sources anthropiques

Les activités industrielles telles que le raffinage des métaux non ferreux, la combustion du charbon et des produits pétroliers, les incinérateurs d'ordures ménagères et la métallurgie de l'acier constituent les principales sources de rejet atmosphérique. Dans l'eau, le Cadmium provient de l'érosion naturelle, du lessivage des sols (engrais phosphatés) ainsi que des décharges industrielles et du traitement des effluents industriels et des mines. (BENDJAMA, 2007)

II.4.1.3 Utilisation du cadmium

Le cadmium a de multiples utilisations : notamment dans les écrans de télévision, les barres de contrôles des réacteurs nucléaires, les colorants,... etc. Il entre dans la composition de nombreux alliages à bas point de fusion (soudures, brasures) et sert à la fabrication de certaines batteries d'accumulateurs (« piles rechargeables ») mais, ses principales utilisations sont celles de ses composés utilisés comme revêtements anticorrosion (appliqué en couche mince

Chapitre II Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

sur l'acier par cadmiage, le cadmium protège contre la corrosion, en particulier saline), ou encore la fabrication de pigments de couleurs (jaune et rouge).

Ses principaux usages :

- Accumulateurs électriques (« piles » rechargeables) Ni-Cd : la matière constituant l'anode est un mélange pulvérulent d'hydroxyde de nickel et de graphite. Celle de la cathode est du cadmium avec 20 à 25% de fer. Les matières actives sont placées dans des pochettes en acier nickelé perforées (trous de 0,1 mm) de 10 mm de large. L'électrolyte est une solution aqueuse de KOH : 6 à 8 moles/litre. Quoique supplantés actuellement par des dispositifs de type Lithium Ion ou nickel-hydrure de métal NiMH, les accumulateurs Ni-Cd restent employés, malgré leur effet, dans les applications où la résistance interne doit rester faible (appels de courant important) : moteurs électriques, talkies-walkies, etc.
- Pigments à base de sulfure de cadmium (jaune avec CdS, rouge avec Cd(S, Se), orange par mélange des deux précédents) : ils ont été utilisés à grande échelle dans les matières plastiques (casques, verres, céramiques...).
- cadmiage : le cadmium est inaltérable à l'air et a un bon comportement en milieu marin. Le cadmiage est effectué par électrolyse. Utilisé, en particulier pour protéger les rivets d'assemblage en aéronautique
- alliages à bas point de fusion : fabriqués pour brasures de conducteurs électriques (Ag 50%, Cd 18%, Zn 16%, Cu 15%) et pour fusibles (Bi 50%, Pb 27%, Sn 13%, Cd 10%, fond à 70 °C)
- absorption de neutrons : la section efficace du cadmium pour l'absorption des neutrons étant particulièrement élevée, le cadmium sert à la réalisation de barres de contrôle dans les réacteurs nucléaires, et est utilisé en tant que protection biologique vis-à-vis de sources de neutrons (**site web 6**)

II.4.1.4 Toxicité

Ses effets sont très toxiques, il est caractérisé par : une longue demi-vie biologique (Approximativement 20 - 30 ans), un faible taux d'excrétion par l'organisme, et un stockage prédominant dans le tissus mous (surtout le foie et les reins). Le cadmium a un large éventail d'effets toxiques : la néphrotoxicité, le risque cancérigène, la tératogénicité, la toxicité endocriniennes et la toxicité de l'appareille reproductif (**Lazou et al, 2002**), il peut également infecter le système immunitaire. Les effets de ce métal sont corrélés a une anomalie des réponses humorales ou cellulaires, bien que les données disponibles sont rares et dans une certaine mesure controversées (**Koller, 1998**).

Les caractéristiques physico-chimiques du cadmium sont rassemblées dans le tableau 2.

Tableau 2: caractéristiques physico-chimiques du cadmium

Numéro atomique	48
Masse molaire	112.41 g/mol
Point de fusion	321°C
Point d'ébullition a la pression atmosphérique	765°C
Densité a 20°C	8.64
Densité de vapeur (air=1)	3.9
Tension de vapeur	0.0028 Pa a 157°C 0.184 KPa a 400°C 2.13KPa a 500°C
Hydro solubilité a 20°C (pour 100m)	Insoluble

Isotopes 8	^{106}Cd , ^{108}Cd , ^{110}Cd , ^{111}Cd , ^{112}Cd , ^{113}Cd , ^{114}Cd , ^{116}Cd (21)
Configuration électronique	$[\text{Kr}] 5\text{S}^2 4\text{d}^1$
Volume molaire (20°C)	13.00 cm ³ /mol
Rayon atomique	148.9 pm
Chaleur d'atomisation	112.05 KJ/mol
Énergie de la 1ère ionisation	867.78KJ/mol
Énergie de la 2ème ionisation	1631.42 KJ/mol
Énergie de la 3ème ionisation	3616.30KJ/mol
Résistivité électrique (20°C)	6.83

II.4.2. Plomb

II.4.2.1 Propriétés biologiques

Le plomb est connu depuis la haute antiquité. Il vient du latin plumbum signifiant liquide argenté. C'est un métal bleuté brillant très mou, très malléable et ductile (**figure 6**). Il ne réagit ni avec l'oxygène, ni avec l'eau mais il est attaqué par l'acide nitrique (**LACOUÉ-LABARTHE, T, 2007**)



Figure 6 : l'élément de plomb (site web 5)

Chapitre II Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

Grace à son faible point de fusion et à sa malléabilité, ce métal trouve de nombreuses applications depuis le début des temps historiques (**BAGHDADI MAZINI, D, 2012**)

Le Pb est très toxique pour l'homme. Le fœtus et le jeune enfant sont particulièrement sensibles à l'effet toxique neurocomportemental du Pb, caractérisé par une baisse peu ou pas réversible des facultés cognitives (**Pugh et al, 2002**).

Les apports anthropiques de Pb résultent de cinq groupes d'activités (**Baize, 1997**) :

- ✓ Les sources principales sont liées à l'utilisation de composés organométalliques comme antidétonants dans les moteurs à explosion. Le métal est alors rejeté par les gaz d'échappement. Les sources industrielles: libération de Pb par les usines de traitement du minerai ou lors de recyclage des batteries.
- ✓ Les déblais des mines et les poussières des crassiers.
- ✓ Les boues de station d'épuration.
- ✓ Certains pesticides étaient fabriqués à base de Pb.
- ✓ Le Pb est un des polluants métalliques les moins mobiles dans le sol

Les caractéristiques physico-chimiques du Plomb sont rassemblées dans le tableau 3.

Tableau 3: caractéristiques physico-chimiques du plomb

Numéro atomique	82
Masse atomique	207,2 g/mol
Masse volumique	11,34 g /cm a 20°C
Température d'ébullition	1755 °c

Chapitre II Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

Température de fusion	327° c
Rayon atomique (van der Waals)	0,154 nm
Rayon ionique	0,132 nm (+2) ; 0,084 nm (+4)
Isotopes 4	(²⁰⁷ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁵ Pb, ²⁰⁴ Pb)
Configuration électronique	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²
Energie de première ionisation	715,4 kJ/mol
Energie de deuxième ionisation	1450,0 kJ/mol
Energie de troisième ionisation	3080,7 kJ/mol
Energie de quatrième ionisation	4082,3 kJ/mol
Energie de cinquième ionisation	6608 kJ/mol
Potentiel standard	-0,13V (Pb ²⁺ /Pb) ; -1,5 V (Pb ⁴⁺ /Pb ²⁺)
Pression vapeur	5,65 10 ⁻⁰⁷ (Pa)
Solubilité	4,62 10 ⁻⁰² (mol/m ³)

II.4.2.2 Les sources

II.4.2.2.1 Les sources naturelles

Le plomb est présent dans la croûte terrestre et dans tous les compartiments de la biosphère. La concentration moyenne en plomb de la croûte terrestre serait de l'ordre de 13 à 16 mg/kg.

Dans l'air, les émissions de plomb provenant de poussières volcaniques véhiculées par le vent sont estimées entre 540 et 6 000 tonnes/an. D'autres processus naturels, comme la dégradation et l'érosion du sol (contenant entre 50

et 75 mg de plomb par kg de sol) et les feux de forêt, contribuent de façon significative à la libération de plomb. Mais généralement, ces processus naturels ne conduisent que rarement à des concentrations élevées de plomb dans l'environnement. (DJENOUNE, 2015).

II.4.2.2.2 Les sources anthropiques

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait, des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes. Les sources anthropogènes sont les suivantes:

- ✓ Activités pétrochimiques
- ✓ Utilisation de combustibles fossiles (centrales électriques au charbon, chaudières industrielles, fours à ciment....)
- ✓ Transport (véhicules et moteurs routiers et non routiers, embarcations)
- ✓ Incinération de déchets
- ✓ Produits (interrupteurs électriques, amalgames dentaires, éclairages fluorescents)
- ✓ Déchets urbains (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères), agricoles (SEDIRA, 2013)

II.4.2.3 Utilisation de plomb

Le plomb était déjà connu dans l'Antiquité, désigné comme matériau d'écriture. En Egypte, des composés de plomb aux alentours de 3000 ans (av. J.-C.) étaient déjà utilisés lors de l'émaillage du travail de poterie. Des composés de plomb étaient également employés dans l'élaboration des cosmétiques, comme les minéraux de galène (PbS) et de cérusite (PbCO₃), ainsi que la laurionite (PbOHCl) et la phosgénite (Pb₂Cl₂CO₃) préparées à partir d'oxyde de plomb rouge, de minéraux de plomb broyés et d'eau de mer riche en acide

Chapitre II Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

carbonique ; la laurionite et la phosgénite ont été découvertes dans des poteries présentes dans les tombeaux de rois égyptiens.

Les Romains utilisaient le métal pour les conduites d'eau, pour des poids-étalons, pour des tablettes d'écriture et pour des pièces de monnaie. L'oxyde de plomb était fréquemment employé comme pigment. La large utilisation du plomb était due à l'abondance des gisements de plomb mais aussi à sa facilité de raffinage et à la malléabilité des produits finis.

Depuis 1970, le développement de nouvelles technologies ainsi que la prise en compte des problèmes environnementaux et de santé publique, ont conduit à la diminution ou à l'arrêt de l'utilisation du plomb dans certaines applications (canalisations d'eau, soudure, pigments dans les peintures, additifs dans l'essence, gaines des câbles et les pesticides). Par exemple, l'utilisation du plomb dans les peintures d'habitation n'a été progressivement éliminée aux Etats-Unis que vers la fin des années 1960, mais l'usage du plomb dans les autres peintures n'est toujours pas interdit. Toujours aux Etats-Unis, le plomb dans l'essence a été interdit en 1991 et à la même époque la commercialisation de l'essence sans plomb a débuté en France (la substitution totale est appliquée en métropole depuis le 2 janvier 2000 suite à la directive européenne du 13/10/1998 qui proscrit, sauf dérogation, l'usage du plomb dans les carburants à compter du 1/01/2000). **(BENMANSOUR, M, 2012)**

II.4.2.4 Toxicité

L'exposition au plomb peut entraîner des effets nocifs sérieux sur la santé, et peut même être mortelle à de fortes doses. Le plomb peut s'accumuler dans le corps, et son exposition, même à de très faibles doses, peut s'avérer dangereuse. Le plomb est particulièrement nocif pour les nourrissons, les jeunes enfants et les femmes enceintes, et peut nuire de façon permanente au développement des

enfants, y compris le développement intellectuel et le développement comportemental.

Grâce à sa large utilisation, les humains sont exposés au plomb et ces dérivés quotidiennement par l'ingestion des aliments, de l'eau et de l'inhalation (**Florea et Dietrich, 2006**). Le plomb peut endommager les systèmes neurologiques (le système aminergique dans le cortex cérébral, le cervelet et l'hippocampe ; et peut contribuer à la déficience cognitive et comportementale (**Devi et al, 2005**). En plus, l'intoxication par le plomb tétra éthyle pourra être aiguë ou subaiguë pour le système nerveux central (**Landrigan, 1994**).

II.4.3 L'aluminium

Aluminium est un métal relativement jeune par rapport à des métaux comme le fer et le cuivre. L'aluminium est l'élément métallique naturel le plus abondant de l'écorce terrestre dont il est le 3eme élément constitutif le plus important, il représente environ 8%. Il n'y est présent que combiné avec l'oxygène, le silicium, le fluor ou autres éléments. Sa couleur varie du blanc-jaune au gris en passant par le rouge et le brun, en fonction de sa teneur en oxydes de fer et en impuretés (**figure 7**).



Figure 7 : l'élément de l'Aluminium (site web [5](#))

II.4.3.1 Propriétés biologiques

Le taux normal d'aluminium présent dans l'organisme humain s'élève au total entre 30 et 50 mg. La moitié se concentre au niveau des os, et les 25% dans le poumon, les 20% dans le foie et les 5% restants dans les autres organes, tels que la rate et le cerveau par exemple.

Les études pharmacocinétiques réalisées sur cet élément chimique ont montré qu'en injection, il atteint le plasma après 24 heures avec un niveau de concentration maximal de 99%. Sa demi-vie varie énormément en fonction de l'importance de la quantité ingérée et de l'exposition. En générale, cette élimination se fait en tris étapes. 50% en quelques heures, 25% du reste en quelques semaines et le reste en plusieurs mois, voire un an. Son excrétion se fait par voie urinaire et anale. (Site web 7)

Les caractéristiques physico-chimiques du l'Aluminium sont rassemblées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques de l'Aluminium

Numéro atomique	13
Masse atomique	26,98154 g.mol ⁻¹
Électronégativité de Pauling	1,5
Masse volumique	2,7 g.cm ⁻³ à 20 °C
Structure cristalline	Cubique faces centrées
Température de fusion	660,4 °C
Température	2467 °C

d'ébullition	
Rayon atomique (Van der Waals)	0,143 nm
Rayon ionique	0,05 nm
Isotopes naturels	1
Isotopes artificiels	16
Configuration électronique	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$
Energie de première ionisation	$577,4 \text{ kJ.mol}^{-1}$
Energie de deuxième ionisation	$1816,1 \text{ kJ.mol}^{-1}$
Energie de troisième ionisation	$2744,1 \text{ kJ.mol}^{-1}$
Potentiel standard	- 1,67 V

II.4.3.2 Sources

II.4.3.2.1 sources naturelles

L'Al est le troisième élément constitutif de l'écorce terrestre. Il représente près de 8 % de la composition de la lithosphère après l'oxygène (42 %) et le silicium (28 %). Métal très réactif, il ne se rencontre pas à l'état libre dans la nature, l'Al se combine à d'autres éléments pour former des composés: le plus

Chapitre II Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

souvent sous forme d'oxydes tels que dans le minerai de bauxite, mais aussi sous forme d'aluminosilicates comme dans l'argile et les micas. **(Landry et Mercier, 1992)**. Les sources naturelles de rejets d'Al dans les milieux comprennent l'altération et l'érosion des roches, des dépôts glaciaires et des sols et de leurs dérivés minéraux ainsi que le dépôt atmosphérique des particules de poussière. Le dépôt atmosphérique d'Al sur les terres ou sur l'eau est minime, comparativement aux rejets internes provoqués par l'altération et l'érosion des roches, des sols et des sédiments **(Driscoll et al., 1994)**.

L'altération chimique des minéraux du sol et l'érosion des roches contenant de l'Al rejettent cette substance dans les sols et les cours d'eau, en partie sous forme d' Al^{3+} et d'autres substances anioniques et cationiques, selon le pH et la disponibilité d'ions de complexation **(Driscoll et Schecher, 1990)**.

D'autre part, les précipitations acides sont aussi responsables de la dissolution, de la mobilisation et du lessivage de l'Al du milieu terrestre vers le milieu aquatique. L'abaissement du pH augmente la solubilité de l'Al, principalement en Al^{3+} , ce qui favorise son entrée dans les cours d'eau.

Il n'existe aucune estimation fiable des quantités d'Al rejetées dans l'environnement à l'échelle mondiale par l'intermédiaire des processus naturels. Le dosage de l'Al total et dissous rejeté au Canada et ailleurs dans le monde est une opération difficile qui ne peut donner que des estimations grossières. En utilisant la valeur du flux global de $2,05 \text{ g.m}^{-2}$ par année proposée **par Garrels et al. (1975)**

II.4.3.2.2 sources anthropiques

➤ **Rejets d'origine industrielle**

La production d'Al et de ses composés ainsi que les industries liées aux multiples utilisations sont les principales sources anthropiques de pollution.

L'industrie minière, l'agriculture, la combustion du charbon, les fonderies et les échappements des automobiles contribuent également à la contamination de l'environnement par l'Al.

➤ **Les pratiques agricoles**

L'utilisation de boues d'alun pour l'amendement des sols est la voie principale par laquelle l'Al pénètre dans le milieu terrestre. L'Al est contenu essentiellement dans des produits utilisés pour la fabrication des engrais minéraux à savoir le nitrate d'Al et le sulfate d'Al (**Germain et al, 1999**).

➤ **Traitement de l'eau potable**

L'Al présent dans l'eau potable provient essentiellement de l'utilisation de sels comme l'alun ou le chlorure de polyaluminium en guise de coagulants dans les stations de traitement de l'eau potable pour éliminer les composés organiques, les micro-organismes et les particules (**Santé Canada, 1998**).

II.4.3.3 Utilisation de l'Aluminium

L'aluminium est un élément chimique qui, en dehors de son utilisation comme métal à l'état pur, est utilisé sous forme de sels. Les plus courants sont l'oxyde, l'hydroxyde, le sulfate, le phosphate, le chlorhydrate et le silicate d'aluminium.

- Le bâtiment, sous forme d'alliages avec d'autres métaux pour la fabrication des fenêtres, portes et gouttières

Chapitre II Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

- les transports, également sous forme d'alliages pour des pièces automobiles, ferroviaires, maritimes, aéronautiques et aérospatiales
- l'ingénierie, pour la fabrication de composants électriques et d'objets électroniques (comme les ordinateurs, les téléphones portables)
- la pharmacie, pour les solutions parentérales et les médicaments. Dans ces derniers, ces sels sont aussi bien utilisés comme principes actifs dans les antiacides (ils diminuent l'acidité gastrique grâce à un effet tampon) et pansement gastro-intestinaux (ils adhèrent aux parois des muqueuses) que comme excipients ou adjuvants dans les vaccins (même si leur mécanisme d'action reste inconnu, ils stimulent la réponse immunitaire.
- la chirurgie, dans des céramiques ou alliages pour la chirurgie dentaire et orthopédique
- la cosmétologie, pour les colorants capillaires, crèmes de soins corporelles, produits de rasage ou de maquillage pour le visage, les anti-transpirants et les dentifrices
- l'agroalimentaire, pour les ustensiles de cuisine, l'emballage mais aussi pour les colorants, les conservateurs ou les additifs (voir liste des additifs en Annexe 2)
- le traitement des eaux d'alimentation (le sulfate d'aluminium est utilisé comme agent clarifiant et floculant). (**J, SONTTHONNAX, 2014**)

II.4.3.4 Toxicité

Les effets toxiques de l'aluminium portent essentiellement sur le système nerveux central (encéphalopathies, troubles psychomoteurs) et sur le tissu osseux.

Les effets cliniques avérés de l'aluminium ont toujours été observés dans des situations de fortes expositions chroniques : patients insuffisants rénaux dialysés, alimentation parentérale, personnes professionnellement

exposées. Chez les travailleurs la toxicité se manifeste principalement aux niveaux pulmonaire et nerveux. **(site web 8)**

L'EFSA (European Food Safety Authority) a fixé une "dose tolérable" pour l'aluminium en 2008. Elle est de 1 mg d'aluminium par kilo de poids par semaine. Faites surtout attention aux sources d'aluminium alimentaire (exemples : papier aluminium, additifs alimentaires E173, E520, E541, etc.). Un surdosage pourrait favoriser les troubles cognitifs. Selon l'étude Paquid*, les risques de développer la maladie d'Alzheimer étaient plus élevés dans les régions où l'eau de boisson était fortement concentrée en sulfate d'aluminium.

L'accumulation d'aluminium dans l'organisme pourrait favoriser l'apparition de certains cancers dont le cancer du sein. Ce danger de l'aluminium n'est pas seulement lié à l'aluminium alimentaire. Plusieurs secteurs professionnels (exemples : agroalimentaire, industrie du bâtiment) sont particulièrement concernés, car l'exposition à ce métal y est très importante. Les déodorants contenant des sels d'aluminium sont également suspectés. **(Site web 8)**

II.5. Les effets des métaux lourds sur la santé

Pour l'homme, la problématique des métaux lourds est majeure car elle affecte toutes les caractéristiques de la vie. En effet, la cellule est l'unité biologique fondamentale la plus petite or les métaux lourds peuvent entraîner sa dégénérescence. Certains d'entre eux sont cancérigènes, il peut donc y avoir atteinte de l'entité élémentaire de la vie.

Les métaux lourds peuvent entraîner chez l'homme des pathologies touchant à son intégrité physique et mentale. Il n'est alors plus capable de réagir et de s'adapter aux diverses situations.

Chapitre II Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

Les métaux lourds peuvent s'accumuler au sein de l'organisme et donc perturber son organisation interne. Chaque fonction fondamentale et vitale de l'homme est mise en danger par la présence des métaux lourds dans son environnement. Le tableau 5 regroupe les effets de certains métaux lourds sur la santé (**Tableau 5**). (**GAID K et al, 1991**)

Quelques métaux lourds, comme Zn, Cu, Cd et Fe, sont indispensables à la croissance et au bien-être des organismes vivants. Néanmoins ils ont toxiques quand les niveaux de concentration supérieurs à ceux qu'ils requièrent normalement. D'autres éléments, comme Pb, Hg et Cd, ne sont pas indispensables aux activités métaboliques et manifestent des propriétés toxiques. (**El Hraiki, 1992**).

Ils peuvent aussi causer la gastroentérite, la pneumonie et l'insuffisance rénale et hépatique en cas d'exposition de longue durée à un certain nombre de métaux, le Platine et les dérivés inorganiques du Mercure sont responsables aussi des dommages, principalement au niveau des tubules proximaux des reins. L'exposition à des métaux pourrait également causer le cancer. (**NAKIB, 2009**)

Tableau 5 : Effets de certains métaux lourds sur la santé

Éléments	Effets sur la santé
Cadmium	<ul style="list-style-type: none">✓ Potentiel toxique élevé✓ Dommages rénaux pour des expositions chroniques à faible dose✓ Oxydes, chlorures, sulfates et le cadmium sont classés cancérigènes
Zinc	<ul style="list-style-type: none">✓ Pas d'effet cancérigène du zinc par voie orale ou par inhalation ;

Chapitre II Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

	✓ <input type="checkbox"/> Mais, le chromate de zinc est cancérigène
Plomb	✓ Entraîne l'anémie forte dose ✓ Perturbe le système nerveux et les reins ✓ Effet mutagène de l'acétate et du phosphate de plomb (expérience animale)
Nickel	✓ Allergie par contact avec la peau et par présence dans la nourriture pour personne sensible ✓ Composés du nickel sont cancérigènes (groupe A1) pour le nez, Poumon
Chrome	✓ Chromates endommagent le système respiratoire pour des expositions à long terme ✓ Trouble dermatologiques, anémie ✓ Composés avec du chrome VI responsable d'eczéma ; Cr VI cancérigène (groupe A1: cancer prouvé chez l'homme)
Cuivre	✓ Effet irritant par inhalation, allergie par contact ; ✓ Lésion du foie par voie orale sur période longue

II.5.1 L'effet de cadmium

➤ Risques sanitaires

Le cadmium est un élément très toxique qui n'a aucune fonction connue dans le corps. Lorsqu'il pénètre dans l'organisme, par ingestion ou inhalation, il passe dans le sang et s'accumule dans le foie, et provoque également des troubles rénaux. Il forme des composés métalliques avec l'urée.

Chapitre II Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

Il est également très proche du calcium, et à ce titre est capable d'interagir avec le calcium contenu dans les os. Il peut ainsi se substituer au calcium osseux et modifier les propriétés mécaniques du squelette en créant une porosité osseuse, une déformation des os, des fractures et un ratatinement progressif du corps. (Site web 9)

➤ Effets environnementaux

La pollution environnementale au cadmium diminue depuis les années 1980, en raison de l'abandon du cadmium dans les pigments pour peinture et également du remplacement des batteries au cadmium par des batteries au lithium. Mais cette pollution est toujours préoccupante, notamment dans les coquillages et organismes du haut de la chaîne alimentaire. Les origines de la pollution au cadmium sont multiples :

- Agriculture : engrais, boues d'épandage
- Pollution atmosphérique : combustion de produits pétroliers, incinération des ordures ménagères, combustion du charbon, industries sidérurgiques, batteries
- Pollution aquatique : industries, fabrication des engrais phosphatés,

Le cadmium est toxique à faible dose pour de nombreuses espèces animales et végétales. Les troubles squelettiques décrits ci-dessus peuvent d'ailleurs toucher de nombreuses espèces, comme le vairon, à des taux retrouvés actuellement dans l'environnement. Il existe par ailleurs une mortalité aiguë de très nombreuses espèces de poissons due à la pollution au cadmium. L'élément se retrouve également dans les filières alimentaires, notamment le riz. Les huîtres peuvent contenir dans les eaux les moins polluées une quantité de

cadmium de l'ordre de 0,05mg/kg, et parfois 5mg/kg dans les eaux les plus polluées. (Site web 9)

II.5.2 L'effet de Plomb

Risques sanitaires

L'exposition à long terme à des niveaux de plomb même relativement bas ou l'exposition à court terme à des niveaux élevés peuvent affecter gravement la santé humaine. Le saturnisme est une pathologie directement et exclusivement liée à l'absorption de plomb. Le plomb est absorbé dans le sang et déposé dans les os et les autres tissus où il est entreposé. Seule la prise de sang pour doser la concentration du plomb permet de poser un diagnostic de certitude et, suivant les niveaux, apporter le suivi médical et environnemental nécessaire. L'exposition aiguë provoque des coliques et des encéphalites accompagnées parfois d'ataxie, de convulsions, de coma et même de décès (IBGE, 2002).

Les jeunes enfants sont un groupe à risque élevé, notamment à cause de l'ingestion, déjà évoquée, de vieilles peintures. En outre, ils absorbent plus de plomb par rapport à leur poids corporel que les adultes ; ils se développent à un rythme rapide et sont donc d'autant plus sensibles aux effets nocifs du plomb. Les enfants absorbent par ailleurs une proportion de plomb supérieure en provenance des sources alimentaires (absorption pouvant atteindre 50% comparativement à environ 10% chez les adultes [IBGE, 2002]).

Effet sur l'environnement

Le plomb fait partie des contaminants les plus toxiques de l'environnement. Il peut en outre agir en synergie avec d'autres métaux et polluants, comme le cuivre, le cadmium ou le sélénium. Le plomb est en outre très toxique pour de

nombreux invertébrés, particulièrement ceux vivant en eau douce, et pour les amphibiens. Enfin, l'ingestion de grenaille de plomb est particulièrement toxique pour les oiseaux et représente une cause fréquente de saturnisme aviaire. (Site web 9)

II.5.3. L'effet de l'Aluminium

Effet sur la santé

L'aluminium est l'un des métaux les plus utilisés, et aussi l'un des composés les plus abondants dans l'écorce terrestre. De ce fait, l'aluminium est communément utilisé comme un composé innocent. Pourtant, lorsqu'on est exposé à de fortes concentrations, il peut engendrer des problèmes sur la santé. La forme soluble dans l'eau de l'aluminium, c'est-à-dire les ions, est la plus nocive. En général, on trouve ces ions aluminiums en combinaison avec d'autres ions, par exemple sous forme de chlorure d'aluminium. L'aluminium est quasiment insoluble dans l'eau à des pH supérieurs à 6. En revanche, sa solubilité croît rapidement en milieu acide.

On peut absorber l'aluminium par l'intermédiaire de la nourriture, en respirant, ou par contact avec la peau. Une absorption pendant une longue période peut entraîner de sérieux problèmes sur la santé, tels que :

- Dommages au niveau du système nerveux central.
- Démence Perte de mémoire.
- Apathie Tremblements.

L'aluminium est un danger dans certains lieux de travail tels que les mines, où on peut le trouver dans l'eau. Les personnes travaillant dans des usines où

Chapitre II Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

l'aluminium est utilisé pendant le processus de production peuvent souffrir de problème aux poumons si elles respirent de la poussière d'aluminium. L'aluminium peut poser des problèmes aux reins s'il pénètre dans le corps lors d'une dialyse. (**Site web 10**)

➤ Effet sur l'environnement

Les effets de l'aluminium sur l'environnement ont attiré notre attention, principalement à cause des problèmes d'acidification des sols. Dans un sol acide, l'aluminium peut être soluble et il possède alors une forte activité biocide. Il peut s'accumuler dans les plantes. Il peut donc être consommé par les animaux et provoquer des problèmes de santé chez ces derniers.

La concentration en aluminium est plus élevée dans les lacs acidifiés, par conséquent, dans ces lacs, le nombre de poissons et d'amphibiens diminue car il y a des réactions entre les ions aluminium et les protéines des ouïes des poissons et les embryons des grenouilles.

Des concentrations élevées en aluminium ont aussi des conséquences néfastes sur les oiseaux et les animaux qui mangent ces poissons, ainsi que sur les insectes contaminés et les animaux qui respirent l'aluminium dans l'air. Les conséquences pour les oiseaux sont la production de coquilles d'œufs plus fines, et des poussins dont le poids à la naissance est plus faible. Les animaux respirant de l'aluminium souffrent de problèmes aux poumons, de pertes de poids et d'un déclin d'activité.

Un autre aspect négatif de l'aluminium pour l'environnement est que ces ions réagissent avec les phosphates, ce qui rend ces phosphates moins disponibles pour les organismes de l'eau.

Chapitre II Généralités sur les métaux lourds et leur impact sur l'environnement

On peut trouver des concentrations importantes d'aluminium ailleurs que dans les lacs acidifiés et dans l'air, par exemple dans les eaux souterraines des sols acidifiés. On pense qu'il peut alors endommager les racines des plantes. (**Site web 10**)

Chapitre III

Les effets des métaux lourds sur la santé humaine

III.1. l'exposition alimentaire aux métaux lourds

III.1.1 L'exposition alimentaire à l'aluminium

L'aluminium présent dans l'alimentation de l'Homme peut avoir plusieurs origines : l'aliment en tant que tel, les additifs et les conditionnements alimentaires.

III.1.1.1 Les aliments pouvant contenir de l'aluminium

En raison de sa présence naturelle dans l'environnement, tous les aliments peuvent contenir de l'aluminium. La grande majorité des denrées alimentaires consommées par l'homme contiennent des teneurs comprises entre 1 et 10 mg d'aluminium/kg de poids frais. Cependant, certaines études ont permis d'établir une liste des aliments qui en contiennent le plus. Comme on peut le voir en Annexe 1, avec des valeurs supérieures à 3mg/kg, c'est le thé, le pain, les biscottes, les céréales, les biscuits, les légumes, les fruits secs et graines oléagineuses, les glaces, le chocolat ainsi que les crustacés qui en contiennent le plus. **(SONTHONNAX, J, 2014)**

D'un point de vue législatif, il n'existe pas à proprement parler de teneur maximale en aluminium dans les aliments. Mais l'OMS a tout de même défini en 1989 une DHTP (Dose Hebdomadaire Tolérable Provisoire) de 7mg/kg de poids corporel. Cette valeur a été révisée en 2008 par l'EFSA (European Food Safety Authority ou Autorité Européenne de Sécurité des Aliments) qui l'a faite passer à 1 mg/kg de poids corporel. Il faut préciser que cette valeur est définie pour l'apport total en aluminium, c'est-à-dire qu'en plus de l'aluminium présent naturellement dans les aliments, elle prend en compte l'aluminium apporté par les additifs et les conditionnements alimentaires. **(SONTHONNAX, J, 2014)**

III.1.1.2 Les additifs alimentaires

Pour les denrées transformées ou en conserves, l'aluminium présent peut provenir de l'ajout d'additifs alimentaires. Il existe 11 additifs alimentaires à bases de sels d'aluminium autorisés en France. Leurs usages et quantités sont définis par l'arrêté du 2 octobre 1997 relatifs aux additifs pouvant être employés dans la fabrication de denrées destinées à l'alimentation humaine. Cet arrêté fait suite aux directives européennes 94/35/CE et 95/2/CE. L'Annexe 2 précise le nom, les quantités maximales autorisées et les aliments dans lesquels on peut les trouver.

Les additifs alimentaires à base d'aluminium sont principalement utilisés comme **(BELLE, 2010)** :

- colorants (E 173 : aluminium métallique).
- anti-agglomérants (E 554 : silicate alumino-sodique, E 555 : silicate alumino-potassique, E 556 : silicate alumino-calcique, E 559 : silicate d'aluminium).
- agents affermissant et épaississants (E 520 : sulfate d'aluminium, E 521 : sulfate d'aluminium sodique, E 522 : sulfate d'aluminium potassique) .
- correcteur de pH (E 523 : sulfate d'aluminium ammoniacque).
- stabilisant (E 541 : phosphate d'aluminium sodique).

Parmi ces additifs, les 5 plus utilisés sont : E 523, E 541, E 554, E 556 et E 559. Et dans les aliments fabriqués par l'industrie agroalimentaire, ces additifs vont rentrer dans la composition :

- des produits secs comme les poudres de lait et lactosérums
- des fruits et légumes cristallisés et glacés pour les pâtisseries, cake et glaces

- des génoises de biscuits et pâtisseries. (SONTHONNAX, J, 2014)

III.1.1.3 Les objets en aluminium au contact des aliments

Les objets en aluminium qui sont en contact avec les denrées alimentaires peuvent être divisés en 3 catégories : les emballages et les objets de conditionnement (canettes de soda, boîtes de conserves), les ustensiles de cuisine (l'aluminium est léger et il conduit bien la chaleur) et les sucettes ou tétines pour enfants. Sur le plan législatif, c'est l'arrêté 92-631 du 8 juillet 1992 (qui fait suite à la directive européenne 89/109/CE) qui fixe les obligations des matériaux au contact des denrées alimentaires. En plus de cet arrêté, deux normes européennes (EN 601 et EN 602) fixent la liste des alliages pouvant être utilisés pour la fabrication de ces matériaux au contact des aliments. Concernant l'aluminium, sa limite de migration dans l'alimentation (à partir des matériaux au contact des denrées alimentaire) est définie par l'article 2 de l'arrêté du 2 janvier 2003. Elle est fixée à 60 mg/kg de denrée alimentaire. (SONTHONNAX, J, 2014)

III.1.2 L'exposition alimentaire au plomb

III.1.2.1 Contamination par l'environnement

La contamination des aliments par le plomb est principalement due aux retombées de la pollution atmosphérique (industries, automobiles ...) et à la contamination des sols qui touchent en priorité les végétaux.

Depuis quelques années, on observe une baisse de la contamination des aliments par le plomb liée d'une part, à l'utilisation de l'essence sans plomb et d'autre part, à la réduction de l'utilisation des soudures au plomb dans l'industrie agroalimentaire.

En France, on estime que la population est exposé moyennement à 0,20 µg/kg poids corporel/jour chez les adultes et 0,27 µg/kg p.c. /jour chez les enfants.

III.1.2.2 Contamination par contact avec des matériaux

Un aliment peut être amené à entrer en contact avec des contenants (pots, emballages, réservoirs), des outils, des ustensiles, ou des surfaces servant lors de la préparation et du stockage des denrées alimentaires. Afin de s'assurer que ces matériaux et leurs constituants n'induisent pas de risque pour la santé, la composition de ces matériaux et les traitements auxquels ils sont soumis au cours de leur vie sont strictement encadrés.

En avril 2010, l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a publié un avis sur les risques sanitaires liés à la présence de plomb dans les aliments. L'EFSA a conclu que les niveaux actuels d'exposition au plomb présentent un risque sanitaire faible voire négligeable pour la plupart des adultes mais qu'il existe certaines inquiétudes potentielles concernant d'éventuels effets sur le développement neurologique chez les jeunes enfants. **(Site web 11)**

III.1.3 L'exposition alimentaire au cadmium

Le cadmium élémentaire est un métal lourd non essentiel. C'est principalement un contaminant environnemental, qui d'une part est présent naturellement et d'autre part peut provenir de sources industrielles et agricoles. Il est principalement trouvé en association avec du zinc dans la croûte terrestre. **(INERIS, 2005).**

Environ 4.000 résultats d'analyses du cadmium effectuées par l'AFSCA dans les denrées alimentaires en 2006, 2007 et 2008 ont été collectés (tableau 6). Les échantillons ont été prélevés dans différents maillons de la chaîne alimentaire dans le cadre du programme d'analyse de l'AFSCA qui a pour objectif de contrôler la conformité avec les réglementations et de garantir la sécurité alimentaire. Le cadmium a été détecté dans 23% des échantillons avec des taux de détection plus

Chapitre III Les effets des métaux lourds sur la santé humaine

importants pour certaines matrices telles que les céréales, les pommes de terres, les légumes racine, les abats et le chocolat. Pour d'autres matrices, comme les petits fruits (fraises, groseilles, raisins) et les viandes (porc, bœuf, mouton, canard, poulet, dinde, cuisses de grenouille, lapin)

Les concentrations en cadmium les plus élevées ont été mesurées dans les abats (foie et reins) de cheval et de gibier (tableau 6). La fréquence de détection est également élevée. Le cadmium n'a pas été analysé dans les abats de bovins. Or ceux-ci sont connus pour être contaminés (**Avis 01-2005, Vromman et al. (2008), Waegeneers et al. (2009)**).

Des résultats rapportés à l'EFSA (2009), il ressort que les concentrations en cadmium les plus élevées ont été détectées dans les algues, poisson et fruits de mer, chocolat et aliments destinés à des régimes alimentaires spécifiques.

Le cadmium est fréquemment détecté dans les produits céréaliers. Il est détecté dans tous les échantillons de pâtes analysés par l'AFSCA. Les concentrations en cadmium mesurées par l'AFSCA dans les céréales sont plus élevées que celles rapportées par l'EFSA (2009). Les céréales comme le froment et le riz peuvent concentrer le cadmium durant la croissance dans la partie centrale du grain (RIVM, 2003). **Chaudri et al. (1995)** ont analysé 77 échantillons de froment moulu et tamisés.

Le cadmium est peu détecté dans les jus de fruits et les concentrations sont faibles. Ces concentrations sont comparables à celles rapportées par l'EFSA (2009).

Le cadmium est peu présent (concentrations faibles et faible fréquence de détection) dans les produits laitiers, les œufs et le miel.

Chapitre III Les effets des métaux lourds sur la santé humaine

Le cadmium est surtout présent dans les mollusques (moules, huitres). Les produits de la mer, comme le crabe, le homard et les huitres provenant d'estuaires contaminés ont des concentrations élevées en cadmium (RIVM, 2003). L'EFSA (2009) a également rapporté des concentrations élevées en cadmium dans les mollusques. Ces concentrations étaient plus élevées que les concentrations mesurées dans le poisson et les crustacés. (EFSA, 2009)

Tableau 6 : Aperçu des différentes matrices dans lesquelles la quantité de cadmium (Cd) a été déterminée par l'AFSCA en 2006, 2007 et 2008 (Nombre d'échantillons analysés, nombre d'échantillons < limite de quantification (LOQ), % échantillons < LOQ, concentration minimale, maximale, moyenne, médiane (P50) en cadmium.

Matrices	Nombre échantillons	Nb <LOQ	% ech <LOQ	Min (mg/kg)	Max (mg/kg)	Moyenne (mg/kg)	P50 (mg/kg)
Pain	40	1	3	0,005	0,051	0,019	0,019
Pâtes, noodle	38	0	0	0,011	0,130	0,060	0,054
Céréales (froment)	10	0	0	0,025	0,099	0,051	0,052
Pommes de terre	88	21	24	0,005	0,140	0,023	0,021
Ail	7	3	43	0,005	0,048	0,014	0,011
Courgette	7	5	71	0,005	0,047	0,012	0,005
Tomate	10	7	70	0,005	0,021	0,008	0,005
Pois	15	15	100	0,050	0,050	0,050	0,050

Chapitre III Les effets des métaux lourds sur la santé humaine

Oignon	33	18	55	0,005	0,059	0,014	0,005
Carotte	96	13	14	0,005	0,084	0,025	0,021
Radis	5	4	80	0,005	0,014	0,007	0,005
Scorsonères	34	0	0	0,014	0,081	0,045	0,042
Poireau	30	10	33	0,005	0,15	0,030	0,0185
Céleri	29	3	10	0,005	0,240	0,044	0,027
Salade (salade, salade de blé, roquette)	59	24	41	0,005	0,087	0,022	0,011
Épinard	50	0	0	0,017	0,290	0,079	0,066
Fenouil	10	8	80	0,005	0,026	0,008	0,005
Persil	16	3	19	0,005	0,110	0,032	0,024
Endive	6	4	67	0,005	0,023	0,009	0,005
Choux (choux blanc, choux fleurs,...)	56	52	93	0,002	0,005	0,005	0,005
Champignon cultivé	55	39	71	0,005	3,000	0,098	0,005
Groseille	9	9	100	0,005	0,005	0,005	0,005
Fraise	11	11	100	0,005	0,005	0,005	0,005
Raisin	6	6	100	0,005	0,005	0,005	0,005
Fruits secs - bombyx de pin	5	0	0	0,106	0,153	0,128	0,124
Melon	9	8	89	0,005	0,012	0,006	0,005

Chapitre III Les effets des métaux lourds sur la santé humaine

Miel	141	130	92	0,001	0,079	0,004	0,0025
Lait	179	171	96	0,00025	0,007	0,001	0,005
Fromage	25	21	84	0,0005	0,009	0,002	0,001
Yaourt	20	19	95	0	0,003	0,001	0,001
Œufs	137	135	99	0,00005	0,0131	0,001	0,0005
Poisson	952	895	94	0,001	1,5	0,031	0,025
Mollusque	46	4	9	0,005	0,88	0,212	0,18
Crustacé	157	113	72	0,005	0,37	0,039	0,025
Canard	18	18	100	0,005	0,005	0,005	0,005
Lapin	35	34	97	0,001	0,029	0,005	0,005
Poulet	121	120	99	0,005	0,2	0,007	0,005
Dinde	30	30	100	0,005	0,005	0,005	0,005
Cuisse de grenouille	10	10	100	0,005	0,005	0,005	0,005
Escargot	8	8	0	0,031	0,3	0,129	0,094
Viande de mouton, d'agneau	41	41	100	0,001	0,005	0,005	0,005
Viande de porc	225	225	100	0,001	0,01	0,005	0,005
Viande de boeuf	268	267	99,6	0,005	0,043	0,005	0,005
Viande de veau	34	34	100	0,005	0,005	0,005	0,005
Foie de bovins	11	0	0	0,04	0,143	0,072	0,059

Chapitre III Les effets des métaux lourds sur la santé humaine

Reins de bovins	11	0	0	0,093	0,635	0,257	0,23
Viande de cheval	70	8	11	0,005	0,36	0,042	0,031
Foie de cheval	20	0	0	0,028	72,6	5,315	1,64
Reins de cheval	15	0	0	4,430	71,7	19,463	14,7
Viande de gibier	268	245	91	0,005	0,029	0,006	0,005
Foie de gibier	46	0	0	0,015	52,27	2,341	0,17
Reins de gibier	37	0	0	0,2	14,47	2,768	1,63
Jus de fruit	56	54	96	0,005	0,016	0,005	0,005
Eau minérale (FAL3, 2000- 2003)	14	0	0	0,00005	0,0003	0,0002	0,0002
Chocolat	10	5	50	0,010	0,090	0,034	0,025
Arômes	20	15	75	0,001	0,034	0,005	0,001
Aliments pour bébés	18	11	61	0,005	0,039	0,010	0,005
Lait en poudre	25	14	56	0,0005	0,004	0,002	0,0005
Graines et fruits oléagineux	5	2	40	0,014	0,120	0,050	0,050

III.2. Les métaux lourds et leur circulation dans l'air

Les métaux lourds, ou éléments traces métalliques (ETM), existent naturellement mais en quantités très faibles dans les sols, l'eau et l'air. Certaines activités humaines, comme la combustion du charbon, du pétrole, des déchets et

certaines procédés industriels en rediffusent en revanche en grande quantité dans l'environnement. Ils sont souvent liés aux particules fines PM_{2,5}, à l'exception du mercure, qui est principalement gazeux. Si une partie des métaux lourds retombe aux alentours de la source d'émissions, certains peuvent voyager sur de longues distances.

Les métaux lourds ne posent pas seulement un problème pour la pollution de l'air : ils sont biopersistants, perturbent les écosystèmes, détériorent les sols, les eaux de surface, les forêts et les cultures et s'accroissent dans la chaîne alimentaire. Certains sont cancérogènes pour l'homme.

➤ Des émissions en diminution depuis trente ans

Les principaux métaux lourds émis dans l'atmosphère par les activités humaines sont le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le chrome (Cr), le sélénium (Se), l'arsenic (As), le mercure (Hg) et le cadmium (Cd). Le mercure, le plomb et le cadmium font l'objet d'une attention particulière, car ils sont très toxiques (effets sur le système nerveux) et ont une durée de vie très longue. Entre 1990 et 2007, les émissions de métaux lourds ont fortement baissé, notamment pour le plomb (-97 %) en raison de sa suppression dans l'essence, le chrome (-90 %), le zinc (-86 %) et le mercure (-70 %). Seules les émissions de cuivre n'ont que légèrement diminué (-4,5 %) en raison de l'accroissement du trafic routier et ferroviaire à l'origine de la plupart des La pollution au plomb a été longtemps liée au transport routier. Entre 1990 et 1999, il constituait 91,2 % des émissions, du fait de l'addition de plomb dans les carburants (pouvoir anti-détonnant). Depuis 2000, cette pratique est interdite, les rejets de plomb ont donc considérablement chuté (-97,8 % entre 1990 et 2008). L'industrie manufacturière est désormais le secteur le plus émetteur (73,4 % des émissions totales).

Les émissions de cadmium proviennent essentiellement de la combustion des combustibles minéraux solides, du fioul lourd et de la biomasse et de l'incinération.

Chapitre III Les effets des métaux lourds sur la santé humaine

Les progrès réalisés dans les secteurs industriels, en particulier dans les secteurs de la sidérurgie, de la métallurgie des métaux non ferreux et dans le traitement des fumées des usines d'incinération ont permis de diminuer ces émissions de 81,2 % entre 1990 et 2008. **(Site web 12).**

Conclusion

Conclusion

Les métaux lourds sont généralement des éléments métalliques naturels dont la masse volumique est supérieure à 5000kg/m^3 . Ils sont présents naturellement dans notre environnement et utilisés massivement dans l'industrie. Ils sont émis sous forme de très fines particules.

L'étude effectuée a permis de dresser Les éléments métalliques sous différentes formes et toujours présents au sein de L'environnement. A l'état de traces, ils sont nécessaires voire indispensables aux êtres vivants. A concentration élevée, en revanche, ils présentent une toxicité plus ou moins forte. La présence de métaux lourds dans l'environnement résulte de causes naturelles et des activités humaines. Elle pose un problème particulier, car les métaux lourds s'accumulent et ils ne sont pas biodégradables dans l'environnement.

Ces métaux lourds ne présentent pas tous les mêmes risques en raison de leurs effets sur les Organismes, leurs propriétés chimiques, physico-chimiques et biologiques. Leur toxicité est très variable et leur impact sur l'environnement très différent.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- 1- **AFSSA, 2006.** Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à une demande d'appui scientifique et technique concernant la contamination de denrées alimentaires d'origine animale par du cadmium provenant de la contamination de suppléments minéraux (sulfate de zinc) entrant dans la composition des aliments pour animaux. Afssa Saisine n° 2006-SA-0057.
- 2- **Ait-ali L & Labii A, 2010.** « Simulation de l'évaluation et du captage du CO2 émis par une cimenterie d'Alger » Mémoire d'ingénieur, Université de d'Alger, p.16.
- 3- **AL BARAKEH Zaher, 2012.** Suivi de pollution atmosphérique par système multi-capteurs – méthode mixte de classification et de détermination d'un indice de pollution. Thèse de doctorat, génie de procédés, Saint Etienne, l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, p12-13-16
- 4- **ANONYME II, 1999/2000.** Plan Régional Pour La Qualité De L'air – Provence Alpes Côte-d'Azur.
- 5- **ANONYME III, 2002.** Les Connaissances Générales., Plan Régional pour la Qualité de l'Air en région Centre).
- 6- **Aranguren M.M.S, 2008.** Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique, thèse doctorat en Sciences de la Terre et Environnement. Université de toulouse. 10-11 et 20-21p.
- 7- **Arquès, 1998.** La Pollution de l'air [Ouvrage]. - [s.l.] : Edisud, 1998.

Références bibliographiques

- 8- **Atlas, M, 1981.** « Microbiale gradation of petroleum hydrocarbons» Réf: 45:180 – 209.
- 9- **BAGHDADI MAZINI, Dina, 2012.** Pollution de l'environnement marin et santé humaine : Mesure, évaluation et Impact des contaminants chimiques et biologiques dans les produits de la pêche au niveau du littoral marocain [en ligne]. Thèse de doctorat : Biosciences de l'environnement et santé. Université ABDELMALEK ESSAADI, le 29 Décembre 2012, 184 p.
- 10- **Baize, D. (1997).** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France) : Références et stratégies d'interprétation. Programme ASPITET. Éditions Quae.
- 11- **Baker A.J.M ET Walker P.L, 1989.** Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. In: heavy metal tolerance in plants – Evolutionary aspects. Shaw, A. (Eds). CRC press, 155-177.
- 12- **BASHAR, Hussein Qasim. 2015.** Détermination, spéciation et biodisponibilité des éléments traces métalliques dans les sols contaminés et technosols [en ligne]. Thèse de doctorat : Chimie analytique. Université d'Orléans, le 17 Novembre 2015, 279 p.
- 13- **BELAHCENE, ER-Rym, IDIR, Dihia. 2017.** Contribution à l'étude de l'accumulation de certains métaux lourds chez les individus adultes appartenant à l'espèce *Engraulis encrasicolus*. (Anchois commun) (Linné, 1758), dans le golfe de Bejaïa [en ligne]. Mémoire de Master : Bio Ressources animales et biologie intégrative. Bejaia : Université Abderrahmane MIRA, le 17 Juin 2017, 65 p.
- 14- **BELLE V, 2010.** Quand l'aluminium nous empoisonne. Paris : Max Milo, ISBN : 9782353410989 2353410987.

Références bibliographiques

- 15- **BENDJAMA, Amel. 2007.** Niveaux de contamination par les métaux lourds du complexe lacustre « Tonga, Oubeira, El-Mellah » du parc national d'El-Kala. [en ligne]. Mémoire de magister : Sciences de la mer. Annaba : Université Badji Mokhtar, 180 p.
- 16- **BENHAMOU Asma., BAKIR Amina.2016.** Effet du plomb sur quelques paramètres biométriques de la fève (*Vicia faba L.*).Mémoire de master, Phytotechnologie appliquée aux sols pollués, Mostaganem, Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie, p1.
- 17- **BENMANSOUR, Meryem, 2012.** Séparation et pré-concentration du Pb(II) et Cu(II) par la technique de membrane liquide émulsionnée (MLE). Mémoire de Magister, Catalyse et chimie fine, Tlemcen, faculté des sciences, p 15.
- 18- **BENOIT, M. ANGLADE, J., BILLEN, G., DE MARSILY, G. et BARRAQUE, B. 2013.** Le BAC de la Plaine du Saulce (Auxerrois) : Analyse de la pollution agricole diffuse et esquisse de propositions pour un plan d'action à long terme. Rapport PIREN-Seine 2012. www.piren-seine.fr/.
- 19- **BLANCHOT, 2002.** BLANCHOT L., Doctissimo : Ma santé en un mot, pollution atmosphérique : Quels effets sur la santé ? Septembre 2002.
- 20- **BUCHDAHL, J, 2000,** Encyclopedia of the Atmospheric Environment.
- 21- **C.E.1999.** Directive 1999/30/CE DU CONSEIL du 22 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant. - [s.l.] : Conseil Européen.

Références bibliographiques

- 22- **CASAS, Stello, 2005.** Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu Méditerranée [en ligne]. Thèse de doctorat : Océanographie biologique et environnement marin. Université du Sud Toulon Var, 2005, 301 p.
- 23- **Chaudri A. M., Zhao F. J., McGrath S. P. Crosland A. R. 1995.** The Cadmium Content of British Wheat Grain. J. Environ. Qual. 24, 850-855.
- 24- **Darmendrail, D., Baize, D., Barbier, J., Freyssinet, P., Mouvet, C., Salpéteur, I., Wavrer, P.2000.** Fonds géochimique naturel : Etat des connaissances à l'échelle nationale. BRGM/RP-50518-FR, p93.
- 25- **Devi, C.B., Reddy, G.H., Prasanthi, R.P., Chetty, C.S. et Reddy. F., 2005.** Developmental lead exposure alters mitochondrial oxidase and synaptosomal catecholamine levels in rat brain. Int J Dev Neurosci., 23: 375-381.
- 26- **DIALLO Yagouba, 2005.** Évaluation de la pollution des ressources en eau superficielle de la ville d'Ouagadougou : établissement d'un profil des sources de pollution et proposition de solutions de mitigation. Mémoire de fin d'études d'Ingénieur, Burkina Faso. École inter états d'ingénieurs de l'équipement rural, p4.
- 27- **DIDIER, Doillon, 2010.** Déterminants moléculaires de la tolérance au zinc des microorganismes eucaryotes [en ligne]. Thèse de doctorat : Biologie forestière. Université Henri Poincaré de Nancy-Université, le 10 décembre 2010, 223 p.
- 28- **DJENOUNE, Kenza, 2015.** Impacts des activités industrielles sur la pollution organiques et inorganiques sur la cote marine de Bejaia via la

Références bibliographiques

- Soummam [en ligne]. Mémoire de master : Chimie. Bejaia : Université d'Abderrahmane MIRA, le 30/06/2015, 104 p.
- 29- **Driscoll, C. T., Otton, J. K., Inverfeldt, A. 1994** .Trace metals speciation and cycling, in: Moldan, B., Cerny, J., (Eds.), Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research, Wiley and Sons, New York, USA, pp. 299-322.
- 30- **Driscoll, C. T., Schecher, W. D. 1990**. The chemistry of aluminum in the environment, J. Environ. Perspect. Health. 12 : 28-49.
- 31- **Dubey R.C. et Dwividi R., 1998**. Effect of heavy metals on growth and survival of macrophomina phaseolina (Tassi) Goid. Biology and fertility of soils. N°6.
- 32- **EFSA, 2009**. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on cadmium in food. The EFSA Journal 980, 1-139.
- 33- **El Hraiki, A, Kessabi M, Sabhi, Y, Bernard, P, Buhler, DR., 1992**. Contamination par le cadmium, le chrome, le mercure et le plomb des produits de la pêche marocaine prélevés en mer Méditerranée. Rev Med Vet. 143, p49-56.
- 34- **Elichegaray ch. 2008**. La pollution de l'air : sources, effets et prévention. 1ère éd. Paris : DUNOD. Chap.4, les effets globaux et planétaires, 48.
- 35- **El-Khawaga AS.A, (2011)**: Morphological and Metabolic Repons of Aspergillus nidulans and Fusarium oxysporum to Heavy Metal Stress. Journal of Applied Sciences Research. 2011.7(11) :1737-1745.
- 36- **Florea, A.M. ET Dietrich, B., 2006**. Occurrence, use and potential toxic effects of metals and metal compound. BioMetals. ,19 :419-427.

Références bibliographiques

- 37- **Fourest E1993.** Étude des mécanismes de biosorption des métaux lourds par des biomasses fongiques industrielles en vue d'un procédé d'épuration des effluents aqueux contaminés. Thèse de Doctorat de l'université Joseph Fourier-Grenoble, France.
- 38- **Gadd G.M., 2001.** Metal transformation in. ED: Fungi in bioremediation. Cambridge University.
- 39- **GAID K et al, 1991.** Adsorption de micropolluants sur charbon actif (essais d'interprétation), Sci de l'eau.
- 40- **Garrels, R M., Mackenzie, F.T., Hunt, C. 1975.** Chemical cycles and the global environment, William Kaufmann Inc., Los Altos, California, USA, pp. 206.
- 41- **Gérard M, 2001.** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, Sénateur France.
- 42- Germain, A., Gagnon, C., Lind, C. B. (1999) Entry and exposure characterization for aluminum chloride, aluminum nitrate, and aluminum sulphate, Document à l'appui du Programme d'évaluation des substances d'intérêt prioritaire.
- 43- **GHALI SOUAD, 2008,** Étude de la carbonisation d'un précurseur végétal, les noyaux d'olives. Utilisation dans les traitements des eaux. Mémoire de magister, pollution chimique et environnement, Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur, Skikda, p8.
- 44- **Huynh, 2009.** Impact des métaux lourds sur l'interaction plantes/ terre/ microflore tellurique thèse de Doctorat .Univ-Paris Est p169.
- 45- **IBGE, 2002.** Les données de l'IBGE : "Interface Santé et Environnement"

Références bibliographiques

- 46- **INERIS, 2005.** Le cadmium et ses dérivés Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – DRC-01-25590-00DF249.doc, Version N°2-3-février 05.
- 47- **Kabata- Pendias. A et Pendias. H. 2001.** Trace elements in soils and plants, Third Edition CRC press, Boca Raton, London, New York D.C.
- 48- **Knox A.S.; Seaman J.C.; Mench M.J. ET Vangronsveld J., 2000.** Remediation of metal radionuclide contaminated soils by in situ stabilization techniques in Iskades, I.K (ED). Environmental restoration of metals contaminated soils. Lewis publishers, Boca Raton, Fl.
- 49- **Koller LD. 1998.** Cadmium. Immunotoxicology of Environmental and Occupational Metals. P41–61.
- 50- **koller, 2004.** traitement des pollutions industrielles : Eau, air, dechet, sols boues, Edition DUNOD Paris, p424.
- 51- **KOZLOWSKI, L. GRABOWSKA, R. 2003.** Métaux lourds dans l'environnement, menaces et possibilités de riposte, www. Chanvre-info.ch, le 08/10/2003.
- 52- **KRIKA, Abderrezak 2013.** Étude de la distribution des métaux lourds dans les ripisylves de l'oued Rhumelq [en ligne]. Thèse de doctorat : Pollution et écotoxicologie. Constantine : Université de Constantine 1,184 p.
- 53- **LACOUÉ-LABARTHE, 2007.** Thomas. Incorporation des métaux dans les oeufs de la seiche commune *Sepia officinalis* et effets potentiels sur les fonctions digestives et immunitaires [en ligne]. Thèse de doctorat : Océanologie biologique et environnement marin. Université de La Rochelle, le 18 décembre 2007, 175p.

Références bibliographiques

- 54- **Landrigan, P.J., 1994.** Lead. Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine .In: Rosen stock I. Cullen MR, eds. Philadelphia: Saunders Company
- 55- **Landry, B., Mercier, M., 1992.** Notions de géologie, 3e édition, Modulo, Mont-Royal Québec, Canada, p 565.
- 56- **Lazou B., Henge –Napoli M. –H., Minaro L., Mirto H., Barrouillet M.-P. et Cambar J. 2002.** Effects of cadmium and uranium on same in vitro targets. *Cell Biology and Toxicology*. **18**: 329- 340.
- 57- **Louadah Hadjila, 2016.** Mesure et estimation de la pollution d'origine automobile dans la ville de Bejaia. Mémoire de master, Environnement et santé publique, Bejaia, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, le 19 septembre 2016, p3.
- 58- **Loué .A. 1993.** Oligo-éléments en agriculture. Ed. Nathan, p45-177.
- 59- **M. Di Benedetto, 1997.** génie des procédés ; les métaux lourds, centre SPIN, école nationale supérieure des mines.
- 60- **M. Verloo, 2003.** les métaux lourds dans les denrées alimentaires, institut Danone.
- 61- **MACKENZIE, 2000.** MACKENZIE Auley, Écologie, BERTI, Paris France, pp327-328
- 62- **Maud Achard-Joris, (2005) :** Études biochimiques et génétiques de la réponse adaptative de mollusques face aux contaminations métalliques et au stress oxydant école doctorale « sciences du vivant, géosciences et sciences de l'environnement ». L'université bordeaux I. 1-15 p.
- 63- **Mayer H. 1999.** Air pollution in cities [Revue] // Atmospheric Environment. - 1999. - Vol. 33. - pp. 4029-4037.

Références bibliographiques

- 64- **Mckenzie A.B. 1997.** Isotope evidence of the relative retention and mobility of lead, and radiocesium in swtish ombrophic peats. The science of the total environment,p115-127
- 65- **N.SEGHAIRI, S.ACHOUR, 1994.** Possibilités de rétention des matières organiques par adsorption sur bentonite, communication séminaire national d'hydraulique, vol 3, p 306-318,Biskra, Déc. 1994.
- 66- **NAKIB, Lydia, 2009.** Mise au point d'une technique d'extraction des éléments traces métalliques dans les produits de la mer et leurs dosages par spectrophotométrie d'absorption atomique [en ligne]. Mémoire de magister : Médecine vétérinaire. Constantine : Université Mentouri, 118 p.
- 67- **OECD Environmental outlook to 2030 [Rapport].** - [s.l.]: OECD, 2008.
- 68- **Rebouh Samia, 2011.** impact de la pollution de l'air provoquée par la cimentrie Tahar djouad Sur la santé publique et le cadre bati – cas de HAMMA BOUZIANE-. Magister en architecture et urbanisme, ville et risque urbain, Constantine, faculté des sciences de la terre, de geographie et de l'aménagement de territoire, p37.
- 69- **SAHBAOUI, Fatiha, 2015.** Contribution à l'étude de la contamination par quelques métaux lourds chez le poisson *Sardina pilchardus* au niveau de littoral de Ghazaouet (Wilaya de Tlemcen) [en ligne]. Mémoire de master : Pathologie des écosystèmes. Tlemcen : Université ABOUBEKR BELKAID, 42 p.
- 70- **Santé Canada 1998 Aluminium, in :** Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, partie II, documentation à l'appui, Direction de l'hygiène du milieu, Ottawa, Ontario, Canada,

Références bibliographiques

- <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semtlpubs/watereau/aluminum/index-ira.Php>
- 71- **SEDIRA, Nora, 2013.** Étude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes [en ligne]. Mémoire de magister : Chimie physique et analytique. Souk- Ahras : Université Mohamed Chérif Massaadia, 119p.
- 72- **SONTHONNAX Julien, 2014.** L'Aluminium et son potentiel toxique. Thèse de docteur en pharmacie, faculté de pharmacie, p 22-23.
- 73- **US-EPA, 1986.** Guidelines for the Health Risk Assessment of Chemical Mixtures. Fed. Reg. 51:34014-34025.
- 74- **VERGE, Grégoire, 2006.** Évaluation et gestion du risque lié à l'ingestion de produits de la mer contaminés par le Cadmium [en ligne]. Thèse de doctorat : Vétérinaire. Toulouse : Université Paul Sabatier, 98 p.vol.203, 2, p. 115-127.
- 75- **Vromman V., Saegerman C., Pussemier L., Huyghebaert A., De Temmerman L., Pizzolon J.C., Waegeneers N. 2008.** Cadmium in the food chain near non-ferrous metal production sites. Food Additives and Contaminants 25 (3), 293-301.
- 76- **Waegeneers N., Pizzolon J-C., Hoenig M., De Temmerman L. 2009.** The European maximum level for cadmium in bovine kidneys is in Belgium only realistic for cattle up to 2 years of age. Food Additives and Contaminants, 26 (9), 1239-1248.
- 77- **ZENATA karim, 2008.** la pollution urbaine dans la Wilaya d'Oran, mémoire de magister en environnement et climatologie, université d'Oran, 23-24p

Références bibliographiques

Sites web

1. **Site web 1 :**
https://www.google.dz/search?q=pollution+en+algérie&tbm=isch&ved=2ahUKEwjmpfju7PLrAhUlgXMKHRGKDBcQ2-cCegQIABAA&oq=pollution+en+al&gs_lcp=CgNpbWcQARgAMgQIABAAeOgQIIxAnOgIIADoECAAQQzoECAAQEzoGCAAQHhATOggIABAIEB4QE1D7-RRYk4wVYJ6eFWgAcAB4AIAB9AGIAdoIkgeFMC41LjGYAQ CgAQGqAQnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=fbtkX6bzF6WCzgORILK4AQ&bih=609&biw=1280
2. **Site web 2 :**
<http://www.economiesolidaire.com/2011/04/30/consequences-de-la-pollution-de-leau-sur-la-sante-et-lenvironnement/>
3. **Site web 3:** <https://www.ompe.org/les-consequences-de-la-pollution-de-lair/>
4. **Site web 4:** https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/polluant.php4
5. **Site web 5: :**
https://www.google.dz/search?q=cadmium+metaux&hl=fr-DZ&sxsrf=ALeKk02_e8E5rhphISiJ7b3jPiDx6QLUaQ:1589326330615&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiV_fj6va_pAhUxAGMBHZmdC7oQ_AUoAXoECBYQAw&biw=1280&bih=609#imgrc=9fof_H8zld8B6M
6. **Site web 6:** Recherches google. Cadmium. [http://fr/ wikipedia.Org/wiki/ cadmium -html](http://fr.wikipedia.org/wiki/cadmium.html)
7. **Site web 7:** <https://www.santescience.fr/aluminium/>.

Références bibliographiques

8. **Site web 8:** <https://www.anses.fr/fr/content/exposition-à-l'aluminium-par-l'alimentation>.
9. **Site web 9:** <https://www.asef-asso.fr/production/les-metaux-lourds-la-synthese-de-lasef/> .
10. **Site web 10:** <https://www.lenntech.fr/periodique/elements/al.htm>.
11. **Site web 11:** <https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/sources-d-exposition-au-plomb>
12. **Site web 12:** <https://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/air/metaux-louids.php4>

Annexe

Annexe

Annexe 1. Teneur en aluminium de quelques aliments (SONTHONNAX J, 2014)

Groupe d'aliment	Teneur en aluminium (en mg/kg de poids frais)
Pains, biscottes	4,06
Céréales du petit déjeuner	3,00
Biscuits	5,29
Pâtisseries	1,40
Lait	0,19
Beurre	0,08
Œufs	0,10
Huiles	0,05
Viandes/Volailles	0,23
Poisson	0,51
Crustacées/Mollusques	17,1
Légumes	3,22
Fruits	0,41
Fruits secs/graines oléagineuses	4,10
Glaces	3,91
Chocolat	3,69
Pizzas/ Quiches	2,24

Annexe

Annexe 2. Additifs alimentaires autorisés contenant des sels d'aluminium (arrêté du 2 octobre 1997) (SONTHONNAX J, 2014)

N°	Nom	Dénrées alimentaires	Quantité maximale
E520	Sulfate d'aluminium	- Blanc d'œuf - Fruits et légumes confits, cristallisés et glacés	30 mg/kg
E521	Sulfate d'aluminium sodique		200 mg/kg
E522	Sulfate d'aluminium potassique		<i>seul ou en mélange exprimé en aluminium</i>
E523	Sulfate d'aluminium ammonique		
E541	Phosphate d'aluminium sodique	Produits de boulangerie fine (scones et gâteaux uniquement)	1 g/kg <i>exprimé en aluminium</i>
E554	Silicate alumino-sodique	- Dénrées séchées en poudre (y compris les sucres) - Sels et ses produits de remplacement - Compléments alimentaires - Dénrées alimentaires en comprimés, en pastilles et en dragées - Fromage à pâte dure, à pâte demi-dure et fondu, râpé ou en tranches - Confiseries à l'exclusion du chocolat (traitement en surface uniquement) - Matières grasses tartinables pour enduire les moules à pâtisserie	10 g/kg
E555	Silicate alumino-potassique		10 g/kg
E556	Silicate alumino-calcique		<i>Quantum satis</i>
E559	Silicate d'aluminium (kaolin)		<i>Quantum satis</i>
			10 g/kg
		<i>Quantum satis</i>	
		30 g/kg	
E173	Aluminium	Enrobage des confiseries au sucre destinées à la décoration des gâteaux et de la pâtisserie	Colorant : <i>Quantum satis</i>
E559	Silicate d'aluminium (kaolin)		Colorant : au maximum 5%