



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université de Larbi Tébessi –Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Biologie Appliquée

MEMOIRE de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences biologiques

Option : Toxicologie

Toxicité des métaux et leurs effets sur la santé humaine et l'environnement

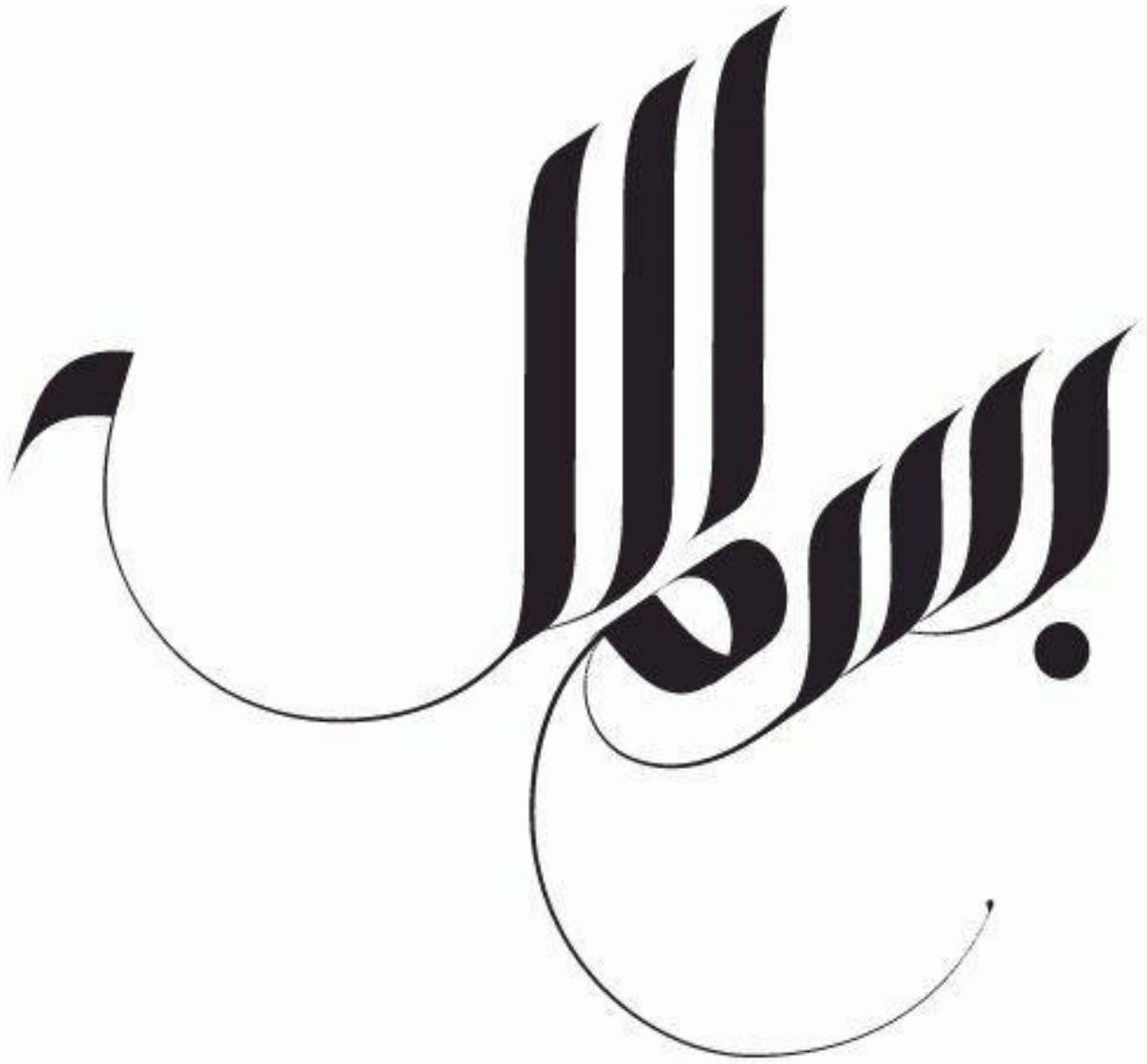
Présenté par :

Abderrahmane Mohamed Raid Salhi Abdelhamid Mebarki Fares

Devant le jury

Dr. Bouchiha Hanen	M.C.A. Université de Tébessa	Présidente
Dr. Bouadila Soulaf	M.C.A. Université de Tébessa	Examinatrice
Dr. Gasmi Salim	M.C.B. Université de Tébessa	Promoteur

Année universitaire 2020/2021



Bismillah

Remerciements

En tout premier lieu, nous remercions notre Dieu, tout puissant, de nous avoir donné la force et le courage pour pouvoir surmonter toutes les épreuves rencontrées afin de réaliser ce modeste travail.

La première personne que nous tenons à remercier est notre encadreur **Dr. GUASMI SALIM**, pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Nous aimerions aussi le remercier pour l'autonomie qu'il nous a accordés et ses précieux conseils.

Nous exprimons toute notre reconnaissance au, pour avoir bien voulu accepter de présider le jury de ce mémoire.

Nos vifs remerciements vont aussi au, qui va nous faire l'honneur d'examiner ce travail.

Nous tenons aussi à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail. En commençant par les cadres et personnels médicaux des hôpitaux.

Dédicace

*A celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne
éducation et de ses dévouements*

A ma chère mère

*A celui qui s'est changé la nuit en jour pour m'assurer les
bonnes conditions*

A mon cher père

A ma petite famille qui m'a toujours soutenue

A l'encadreur, M. Gasmi Salim

A tous mes collègues et amis

*A notre cher ami Mohamed Mechri que Dieu accorde
la paix à son âme*

Je dédie ce modeste travail

Firas et Abdelhamid

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A tous mes collègues et amis

Je remercie également M. Gasmi Salim pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi

Abderrahmane Mouhamed Raid

Résumé

Les métaux lourds sont utilisés dans les domaines de l'agriculture, de la médecine et de l'industrie.

Le corps humain contient naturellement certains de ces métaux, comme le zinc et le cuivre, par exemple, mais à des taux qui ne provoquent pas de toxicité, mais sont suffisants pour aider l'organisme à fonctionner. ses fonctions, et l'empoisonnement se produit lorsque les tissus lisses du corps absorbent de grandes quantités d'un métal lourd.

Les plus célèbres de ces métaux sont le mercure, le plomb, le cadmium et l'arsenic, auxquels les humains peuvent être exposés en raison de la contamination des aliments, de l'eau, de l'air, des médicaments ou des récipients alimentaires peints de manière incompatible avec les conditions de santé ou en raison d'une exposition industrielle. à eux, ou même à cause des types de peinture qui constituent pour lui majoritairement du plomb

Le cadmium Un élément chimique et un métal mou dont la couleur varie de l'argent au blanc, utilisé dans la peinture et les alliages, et le symbole chimique du cadmium est Cd.

Le cadmium est toxique et de nombreuses personnes sont tombées malades ou sont décédées immédiatement après avoir inhalé de la poussière de cadmium ou des vapeurs d'oxyde de cadmium. Si de petites quantités de cadmium pénètrent dans le corps humain pendant de longues périodes, elles peuvent également endommager les reins et déformer les os.

Certaines personnes craignent que des quantités toxiques de cadmium aient pollué l'environnement en raison de l'utilisation industrielle à grande échelle du cadmium.

- **Mots clés**

Métaux Lourds - Cadmium - Toxique - Pollution.

Abstract

Heavy metals are used in agriculture, medicine and industry.

The human body naturally contains some of these metals, such as zinc and copper, for example, but at levels that do not cause toxicity, but are sufficient to help the body function. it's functions, and poisoning occurs when the smooth tissues of the body absorb large amounts of a heavy metal.

The most famous of these metals are mercury, lead, cadmium and arsenic, to which humans can be exposed due to contamination of food, water, air, medicines or food containers. painted in a manner incompatible with health conditions or due to industrial exposure. to them, or even because of the types of paint which for him are mostly lead

Cadmium is a chemical element and soft metal ranging in color from silver to white, used in paints and alloys, and the chemical symbol for cadmium is Cd.

Cadmium is poisonous and many people have become ill or died immediately after inhaling cadmium dust or cadmium oxide fumes. If small amounts of cadmium enter the human body for long periods of time, they can also damage the kidneys and deform the bones.

Some people fear that toxic amounts of cadmium have polluted the environment due to the large-scale industrial use of cadmium.

- **Keywords**

Heavy Metals - Cadmium - Toxic - Pollution.

ملخص

تستخدم المعادن الثقيلة في الزراعة والطب والصناعة، ويحتوي جسم الإنسان بشكل طبيعي على بعض هذه المعادن، مثل الزنك والنحاس على سبيل المثال، ولكن بمستويات لا تسبب سمية ولكنها كافية لمساعدة الجسم على أداء وظيفته. وظائفه، والتسمم يحدث عندما تمتص أنسجة الجسم الملاء كميات كبيرة من معدن ثقيل.

وأشهر هذه المعادن الزئبق والرصاص والكاديوم والزرنيخ، والتي يمكن أن يتعرض لها الإنسان بسبب تلوث الطعام أو الماء أو الهواء أو الأدوية أو عبوات الطعام، وقد تم دهانها بطريقة لا تتوافق مع الظروف الصحية أو بسبب التعرض الصناعي. لهم، أو حتى بسبب أنواع الطلاء التي تكون في الغالب بالنسبة له من الرصاص

الكاديوم عنصر كيميائي ومعدن ناعم يتراوح لونه من الفضة إلى الأبيض، ويستخدم في الدهانات والصبغات، والرمز الكيميائي للكاديوم هو Cd.

يعتبر الكاديوم سامًا وقد أصيب كثير من الناس بالمرض أو ماتوا فورًا بعد استنشاق غبار الكاديوم أو أبخرة أكسيد الكاديوم. إذا دخلت كميات صغيرة من الكاديوم إلى جسم الإنسان لفترات طويلة من الزمن، فإنها يمكن أن تتلف الكلى وتشوه العظام.

يخشى بعض الناس أن تكون الكميات السامة من الكاديوم قد تلوثت البيئة بسبب الاستخدام الصناعي الواسع النطاق للكاديوم.

• الكلمات المفتاحية

المعادن الثقيلة – الكاديوم – السامة – تلوث.

• Liste Des abréviations

- **Cd** : cadmium
- **Pb** : plomb
- **Zn** : zinc
- **Cu** : cuivre

• Table des matières

• Résumé	
• Abstract	
• ملخص	
• Introduction	1
<i>Chapitre I : Généralités sur les métaux lourds</i>	
1. Définition	3
2. Propriété physico chimique	3
a - Adsorption chimique (ou chimisorption)	3
b - Adsorption physique (ou physisorption)	4
3. Classification des métaux lourds	4
3.1. Les métaux essentiels	4
3.2. Les métaux toxiques	4
4. Voie d'exposition (le cadmium)	4
4.1. Par inhalation	4
4.2. Par ingestion	5
5. Origine des métaux lourds	6
5.1. Les sources naturelles	6
5.2. Les sources anthropiques	6
6. Métabolisme des métaux lourds	6
6.1. Absorption	6
6.2. Distribution et Transport membranaire	7
6.3. Excrétion (le cadmium)	8
7. Rôle physiologique	8
8. Toxicité des métaux lourds	9
8.1. Sur le foie	9
8.2. Sur le cerveau	9
8.3. Sur les poumons	10
8.4. Sur le tissu osseux	11

8.5. Sur les autres fonctions	11
9. Principaux danger des métaux lourds	12
9.1. Contamination de l'environnement	12
9.2. Contamination des sols	12
<i>Chapitre II : Le cadmium</i>	
1. Le cadmium	14
2. Caractères physicochimiques de cadmium	14
3. Propriétés biologique	15
4. Classification de cadmium	15
5. Origine de cadmium	16
a. Origine naturelle	16
b. Origine anthropique	16
c. Rejets d'origine industrielle	16
6. Utilisation	16
7. Toxicité de cadmium	17
8. Effet du cadmium et ses risques sur la santé humaine	18
9. La néphrotoxicités du cadmium	18
10. Effet du cadmium sur le système respiratoire	18
11. Effet du cadmium sur le système reproducteur	18
12. Effet du cadmium sur le système squelettique	19
13. La cancérogénicité du cadmium	19
• Conclusion	21
• Références Bibliographique	

INTRODUCTION

Introduction

Les activités humaines agricoles, urbaines et industrielles, sans cesse croissantes, sont à l'origine d'une contamination de notre environnement par les métaux lourds. Alors que de nombreuses molécules organiques peuvent être dégradées, les métaux lourds ne le peuvent pas et leur concentration augmente régulièrement dans les sols et les eaux. Ceci expose les plantes à des concentrations croissantes de métaux lourds. **(Sterckeman T. et al., 2008)**

L'accumulation de métaux lourds dans les plantes présente un risque toxique pour l'Homme, car les plantes cultivées sont le point d'entrée dans la chaîne alimentaire. Par comparaison aux autres espèces, la laitue a tendance à présenter des teneurs élevées en cadmium, un métal lourd très toxique dont la concentration croît régulièrement dans les sols cultivés pour des raisons environnementales. En termes de sécurité alimentaire, il est donc important de produire des variétés accumulant des teneurs en cadmium réduites, et la laitue est un bon modèle pour débiter ce type d'approche. **(Baba Ahmed et al., 2012).**

Les métaux lourds sont définis comme étant les éléments métalliques ayant une densité supérieure à 5 g/cm³ : cadmium, mercure, plomb, cuivre, nickel, zinc, cobalt, manganèse, chrome... Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces.

Dans la croûte terrestre, les métaux lourds sont présents sous forme de minerai, d'où ils peuvent être mobilisés par des phénomènes naturels comme l'érosion ou les éruptions volcaniques, mais également par des activités anthropiques. Ces dernières sont dues aux rejets physiques liés aux activités métallurgiques et minières et aux rejets de produits en fin de vie tels que les piles et batteries.

Les émissions atmosphériques constituent également une source importante de pollution par les métaux lourds. Alors que de nombreuses molécules organiques peuvent être dégradées, les métaux lourds ne le peuvent pas et leur concentration augmente régulièrement dans les sols et les eaux. **(Cossa, 1989; Pavillon et al., 1992)**

Les plus toxiques d'entre eux sont le cadmium, l'arsenic, le plomb et le mercure. Ces éléments sont présents naturellement dans la croûte terrestre et dans tout organisme vivant, à des concentrations variables suivant les milieux et les organismes.

CHAPITRE I

10. Définition

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique ρ dépasse 5 g/cm³. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse etc..... (Arriss., 2008).

D'un point de vue chimique, les éléments de la classification périodique formant des cations en solution sont des métaux.

D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g.cm³ (Adriano D.C., 2001).

D'un autre point de vue biologique, on en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux essentiels et métaux toxiques. (Adriano D.C., 2001).

11. Propriété physico chimique

L'adsorption à l'interface soluté/solide est un phénomène de nature physique ou chimique par lequel des molécules présentes dans effluent liquide ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide (Benayad, 2013).

Le procédé de séparation par adsorption constitue aujourd'hui une des technologies les plus importantes, elle est largement utilisée pour la dépollution et la purification dans des domaines très variés, par exemple les industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, aux applications environnementales et pharmaceutiques, L'adsorption est divisée en deux types :

a - Adsorption chimique (ou chimisorption)

Elle met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbat et l'adsorbant (Benayad, 2013).

Elle est généralement irréversible, produisant une modification des molécules adsorbées, seules les molécules directement liées au solide, sont concernées par ce type d'adsorption (Benayad, 2013).

La plupart des phénomènes chimiques correspondent à des réactions acido- basiques (transfert de proton), d'oxydo-réduction (transfert d'électron), ou de complexation. (Benayad, 2013).

b - Adsorption physique (ou physisorption)

- L'adsorption physique se produit à des températures basses.
- Les molécules s'adsorbent sur une ou plusieurs couches (multicouches) avec des chaleurs d'adsorption souvent inférieure à 20 kcal/mol.
- Les interactions entre les molécules du soluté (adsorbât) et à la surface du solide (adsorbant) sont assurées par des forces électrostatiques.
- La physisorption est rapide, réversible et n'entraîne pas de modification des molécules adsorbées. **(Benayad, 2013)**

12. Classification des métaux lourds**3.1. Les métaux essentiels**

Ce sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les Tissus biologiques **(Loue, 1993)**. Certains peuvent devenir toxiques lorsque la Concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), Du zinc (Zn), du fer (Fe). Par exemple, le zinc (Zn), à la concentration du milli molaire, est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques (déshydrogénases, protéinase, peptidase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides. **(Kabata- Pendias A., et Pendias H., 2001)**.

3.2. Les métaux toxiques

Ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd) **(Behanzin G. J., et al 2014)**.

13. Voie d'exposition (le cadmium)**4.1. Par inhalation**

La relation entre l'exposition au cadmium et l'incidence des cancers du poumon et de la prostate a été étudiée dans 6 cohortes en Europe et aux USA (avec un chevauchement des populations) et dans une cohorte en Chine. Les cohortes sont généralement petites et limitées aux travailleurs exposés de façon prolongée et à de fortes doses de cadmium (afin d'avoir une sensibilité suffisante). Des études récentes ont élargi le nombre de sujets en incluant les expositions à court terme et les faibles

expositions au cadmium (**Thun Et Coll., 1985 Re-Analyse Par Park 2012, Puis Haney 2016 ; Stayner et Coll., 1992**).

Une augmentation de l'incidence de cancers du poumon après exposition au cadmium est rapportée dans des cohortes américaines (employés d'usine de récupération de cadmium dans le Colorado) (**Thun Et Coll., 1985 Re-Analyse Par Park 2012, Puis Haney 2016 ; Stayner et Coll., 1992**).

Une estimation de la dose associée à une augmentation de cancers du poumon serait nécessaire à l'étude de Thun (**Oehha, 2006**) pour établir une VTR. Ceci nécessite des connaissances sur le dépôt des particules, la clairance et le taux de cadmium absorbé au niveau pulmonaire mais ces données ne sont pas disponibles (**Atsdr, 1999**).

Dans une étude de (**Sorahan et Coll. 2004**), 926 travailleurs d'une industrie intervenant dans la fabrication de batteries nickel-cadmium en Angleterre ont été suivis entre 1947 et 2000 (fermeture de l'entreprise en 1992). Les résultats de l'étude montrent une augmentation significative de la mortalité par cancer du pharynx, une augmentation des maladies du tractus respiratoire et du tractus génito-urinaire par rapport aux données de mortalité régionales. En revanche, l'étude ne montre pas d'augmentation significative du cancer du poumon et de la prostate. L'exposition cumulée au cadmium n'est pas associée à une augmentation du risque de cancer du poumon ou de pathologies pulmonaires chroniques obstructives. (**Sorahan et Coll. 2004**),

4.2. Par ingestion

Les résultats des études d'expositions environnementales (par voie orale) examinant l'association possible entre le cadmium urinaire et le risque de cancer (poumon, vessie, prostate, sein...) sont non concluants (**Atsdr, 2012**). Certaines études épidémiologiques et méta analyses ont montré une augmentation du cancer du sein, associée à une concentration urinaire de cadmium proche de $0,6 \mu\text{g.g}^{-1}$ de créatinine (**Lin Et Coll. 2016, Gallagher et Coll. 2010**).

Cependant l'interprétation des résultats reste compliquée en raison des facteurs de confusion tels que d'éventuelles co-expositions qui rendent les résultats de ces études non exploitables. (**Lin et Coll. 2016, Gallagher et Coll. 2010**).

14. Origine des métaux lourds

5.1. Les sources naturelles

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique (**Bourellier Et Berthelin, 1998**).

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 (**Afnor, 1988**).

5.2. 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. (**Weiss, D. et al 1999**).

15. Métabolisme des métaux lourds

6.1. Absorption

Les interactions entre les métaux peuvent avoir une grande influence sur l'absorption et la toxicité. Sundelin (1984) a fait une revue de la littérature concernant les interactions entre les métaux en terme d'accumulation et de toxicité: aucun schéma ne peut être généralisé puisque l'on observe des effets additifs aussi bien que synergiques et antagonistes. On peut seulement conclure que les effets observés dépendent de la combinaison de métaux employés, de la durée de l'exposition et de l'espèce (**Forbes et al., 1997**). Le Cd n'est pas un élément essentiel.

En revanche, ses propriétés physiques et chimiques, proches de celles du Ca, lui permettent de traverser les barrières biologiques et de s'accumuler dans les tissus par mimétisme ionique avec le Ca. Le rayon du Cd^{2+} ($r_{\text{Ca}^{2+}} = 0,97 \text{ \AA}$ et $r_{\text{Cd}^{2+}} = 0,99 \text{ \AA}$) et sa configuration électronique ressemblent beaucoup à ceux du Ca^{2+} (**Tessier et al., 1993**). Cette analogie se traduit par des comportements en solution et une réactivité aux interfaces solide/solution voisins (**Stipp et al., 1992; Van et al., 1993**). L'interaction entre le Cd et le Ca a été largement étudiée depuis l'apparition de la maladie d'Itai-itai observée après un épisode de contamination de champs de riz par le Cd au Japon. Cette maladie se caractérise par de l'ostéomalacie très douloureuse et une insuffisance rénale (**Godowicz, 1990**).

Beaucoup de résultats existent en ce qui concerne les interactions Cd-Ca. Au niveau des branchies de mollusques, le Cd se comporte comme un analogue du Ca et sa diffusion facilitée serait assurée par des canaux calciques voltage-dépendant (**Tessier et al., 1993**).

Des études effectuées sur des rats (**Sorrell, 1977**) et sur les cellules cryptales RIEC (en présence de Zn) (**Bergeron et Jumarie, 2006**) ont montré que le Cd inhibe le transport intestinale du Ca alors que l'équipe de (**Hamilton et al., 1978**) a démontré que le Ca n'inhibe pas l'accumulation du Cd ce qui peut signifier, mais n'en ai pas la preuve, que les interactions Ca-Cd sont de type non compétitif. Les déformations au niveau des os ont donc été attribuées au Cd qui interfère avec les processus de calcification et de décalcification et du remodelage osseux (**Ando et al., 1981**).

D'autres recherches effectuées sur divers tissus (intestin, rein, foie) ont montré que le Cd a une grande affinité pour certains canaux calciques et les sites de liaison intracellulaires du Ca. Ceci a été démontré en utilisant différents inhibiteurs ou bloqueurs des canaux calciques tels que le diltiazem, le verapamil, la nifedipine et la nitrendipine (**Hinkle et al., 1987; BLAZKA Et Shaikh, 1992; Borowitz Et Mclaughlin, 1992**).

6.2. Distribution et Transport membranaire

Au niveau cellulaire, la membrane plasmique forme la première barrière contre l'accumulation intracellulaire de différents toxiques. L'absorption des métaux implique un passage au travers d'un épithélium qui peut se faire par une diffusion simple' ou par mécanismes de transport spécifiques (**Schechter, 1990**). Le modèle de l'ion libre permet de décrire la biodisponibilité du Cd sur le principe (actuellement révisé) que la toxicité est directement proportionnelle à la concentration d'ion libre Cd²⁺ (**Morel, 1983**).

Certains auteurs ont considéré que le processus d'entrée du Cd²⁺ à partir du milieu extracellulaire suivait le modèle de l'ion libre. En effet, le passage à travers la paroi gastro-intestinale est faible, de l'ordre de 4 à 7% et cette faible efficacité de transfert est associée à la présence de nombreux ligands dans le tractus digestif qui réduit la quantité relative de Cd²⁺ disponible (**Kitamura et al., 1970; Rahola et al., 1971**).

Plus récemment, d'autres approches consistant à rigoureusement contrôler la spéciation dans les milieux d'incubation ont cependant permis de montrer que le Cd²⁺ n'est pas la seule espèce chimique à être transportée par des cellules intestinales en culture; des complexes organiques (CdGSH) ou inorganiques (CdCb) participeraient à l'accumulation cellulaire de Cd (**Jumarie et al., 2001**).

Les systèmes d'accumulation cellulaire ne sont jamais totalement spécifiques à un élément donné et ils font l'objet d'une compétition entre espèces chimiques analogues de différents éléments, ce qui peut conduire à une inhibition de l'accumulation d'éléments essentiels au profit d'éléments potentiellement toxiques par mimétisme moléculaire. En effet, comme la présence de systèmes de transport spécifiquement dédiés aux métaux toxiques est improbable, il est généralement admis que les métaux non essentiels, comme le Cd, peuvent emprunter, par mimétisme ionique, le transport spécifique de métaux essentiels comme le Ca, le Fe ou le Zn (**Luckey et Venugopal, 1977**).

6.3. Excrétion (le cadmium)

Il existe une mention de la DFG signalant le risque de passage percutané.

Dans le sang, le cadmium est principalement érythrocytaire ; dans le plasma, il est en grande partie lié aux protéines (albumine, métallothionéines). (**Scand J Work Environ Health. 1997**)

Dans les tissus, le cadmium se lie à l'albumine, aux érythrocytes ou aux métallothionéines (MT) (protéines de faible poids moléculaire) dont la synthèse est stimulée par le cadmium lui-même mais aussi le zinc, le cuivre, le mercure. La demi-vie sanguine du cadmium est de 80 à 100 jours environ. Le cadmium s'accumule principalement dans les reins (30 % de la charge corporelle de cadmium) et le foie, et pour une moindre part dans les os, les muscles et la peau ; du fait de ses longues demi-vies (4 à 19 ans dans le foie et 10 à 20 ans dans le rein), la charge corporelle de cadmium augmente graduellement avec l'âge. De plus, le cadmium serait relargué très lentement, entraînant des concentrations sanguines non négligeables longtemps après l'arrêt de l'exposition. (**Scand J Work Environ Health. 1997**)

L'excrétion, faible et très lente, s'effectue essentiellement par voie urinaire et très faiblement par voie fécale (< 1 %) et par la sueur et la salive. Lorsque la fonction rénale est normale, le cadmium qui est filtré au niveau du glomérule est presque entièrement réabsorbé par les cellules épithéliales du tubule proximal ; peu ou pas de cadmium est alors excrété dans l'urine. Le cadmium est un toxique cumulatif ; son élimination est biphasique avec une 1ère demi-vie de 100 jours et une 2ème de 10 à 40 ans. En absence de dommages rénaux, le cadmium excrété par les reins ne représente qu'une petite portion de la quantité totale de cadmium accumulée dans l'organisme. (**Scand J Work Environ Health. 1997**).

16. Rôle physiologique

Des métaux plus lourds comme le plomb, le mercure ou le cadmium jouent un faible rôle physiologique. Ils ont une masse atomique plus importante, et tendent à former des complexes de coordination stables avec les groupements thiols, conduisant à d'importantes perturbations moléculaires et cellulaires. (<https://www.em-consulte.com>).

17. Toxicité des métaux lourds

Les sédiments réduisent la concentration des polluants dans l'eau de surface en faisant office de piège (**Wang 1987**) et constituent ainsi de précieux témoins de pollution récente et ancienne de l'eau de surface. Les sédiments représentent un site privilégié pour l'accumulation de nombreux polluants (polluants organiques non polaires, métaux, radionucléides, matière organique, etc.). Les métaux et les polluants organiques non polaires (hydrophobes) ont une forte tendance à se lier aux particules qui sédimentent; très peu de ces polluants se trouve sous forme dissoute (**Wang 1987**). Les métaux et de nombreux polluants organiques persistent dans l'écosystème: les métaux ne sont pas dégradés et de nombreux polluants organiques (POP) sont très peu dégradables (**Wang 1987**).

8.1. Sur le foie

Le foie est le site majeur d'accumulation, mais une accumulation mineure dans le cœur et dans le rein ont également été observées (**Akerman et al., 2002**). 1 26 Les particules possèdent donc un pouvoir nocif sur les organismes. À cela s'ajoute le caractère toxique des composés chimiques qu'elles transportent (**Alleman, 1997**). En effet, les métaux tels que le Pb, le Cd et le Hg associés aux particules atmosphériques sont reconnus pour leur toxicité, d'autant plus quand ils se trouvent dans la fraction la plus fine des particules atmosphériques (**Fortoul, 2005**).

L'alimentation est la principale source d'apport du Cd dans la population générale non professionnellement exposée au Cd et non fumeuse. Les légumes et les céréales sont les sources principales de Cd, bien que le Cd soit également trouvé dans la viande mais à degré moindre. Le Cd s'accumule en particulier dans le rein et le foie, par conséquent les abats contiennent des concentrations relativement élevées. Le poisson contient seulement de petites quantités de Cd alors que les crustacés et les mollusques peuvent accumuler de plus grandes quantités (**Bliefert et Perraud, 2004**).

Plusieurs études ont montré que, chez l'humain, l'intestin absorbe de 4 à 7% d'une dose unique de Cd ingérée (**Kitamura et al., 1970; Rahola et al., 1971**). Le taux d'absorption du nitrate de Cd ou du chlorure de Cd mesuré sur des animaux de laboratoire varie de 0,5 à 3% (**Friberg et al., 1974**). Au cours d'une autre étude, on a ajouté du Cd à l'eau servie à des rats qui ont retenu moins de 1% de la quantité ingérée pendant des mois (**Decker et al., 1958**). De même, les niveaux d'accumulation de Cd dans les cultures de cellules de l'épithélium intestinal sont aussi faibles (**Jumarie et al., 1997; Pigman et al., 1997**)

8.2. Sur le cerveau

La revue de la littérature épidémiologique s'est appuyée sur la méta-analyse de Rodriguez- Barranco et coll. (2013) et des articles scientifiques publiés postérieurement dans ce domaine jusqu'à la fin de l'année 2015 (**Kippler et Coll., 2012 ; Ciesielski et Coll., 2012 ; Kim et Coll., 2013 ; Rodriguez-Barranco et Coll., 2014 ; Kordas et Coll., 2014 ; Forns et Coll., 2014 ; Jeong et Coll., 2015**).

La qualité méthodologique des études a été évaluée à partir de l'outil développé par von Elm et coll. (2008) et repris dans la méta-analyse de Rodriguez-Barranco et coll. (2013). Les articles qui remplissaient entre 0 et 3 critères étaient considérés comme méthodologiquement « faibles », « moyens » avec 4 à 6 critères respectés et « haut » avec 7 critères et plus. (**Jeong et Coll., 2015**).

Les études de Bao et coll. (2009) et de Kordas et coll. (2014) ont été exclues de l'analyse en raison de la multiplicité des tests réalisés et/ou du design expérimental utilisé jugé non pertinent. (**Cites Dans La Meta-Analyse De Rodriguez-Barranco et Coll., 2013, De Kim et Coll. (2013)**).

8.3. Sur les poumons

Certaines professions exposent les travailleurs à des substances multiples dont les effets éventuels peuvent être additifs ou synergiques sans qu'il soit possible de discerner de manière précise le ou les toxique(s) impliqué(s). C'est le cas des employés travaillant dans les mines de fer ou dans les fonderies, lieux où les carcinogènes potentiels sont variés tels que retrouvés dans la fumée de différents métaux. En effet, pendant sa vie professionnelle, 27 un sujet ventile entre 25 et 100 x 10³ m³ d'air sur son lieu de travail. De ce fait, il est évident qu'un polluant, même présent à de faibles concentrations, peut entraîner des lésions de l'appareil respiratoire (**Maltinet, 1999**).

En considérant la diversité cellulaire de l'appareil respiratoire (40 types cellulaires différents) et le mode de dépôt des particules, les métaux lourds inhalés peuvent donc toucher différents types de cellules et plusieurs segments de l'appareil respiratoire. On peut donc considérer que le poumon est le premier organe cible des toxiques inhalés (**Sorokin, 1970**).

8.4. Sur le tissu osseux

En 1999, *Staessen et coll.* indiquaient qu'une exposition chronique au cadmium à faible concentration pouvait favoriser la perte de calcium par excrétion urinaire, et de ce fait entraîner une augmentation de la fragilité osseuse et augmenter le risque de fractures (**Staessens, 1999**).

En 2006, *Akesson et coll.* ont rapporté des troubles osseux par des mécanismes indépendants des troubles rénaux, et pour des imprégnations en cadmium inférieures à celles associées à la néphropathie. Ces travaux concernaient uniquement des populations adultes féminines. (**Akesson et Coll 2006**)

En 2009, l'EFSA avait déjà conclu qu'il était pertinent de considérer les effets toxiques au niveau osseux. Toutefois des données complémentaires s'avéraient nécessaires pour retenir ces effets, dans l'objectif de construire une DJA. (**Efsa, 2009**)

8.5. Sur les autres fonctions

Le cadmium est classé dans le groupe 1 par le CIRC depuis 1993. Les cancers associés sont ceux de l'appareil respiratoire. En milieu respiratoire, les résultats d'études de cohortes ont établi in lien entre l'exposition au cadmium et la survenue de cancers pulmonaires (**Kazantzis, 1988**). Le cancer bronchique provoqué par l'inhalation de poussières ou de fumées de cadmium est pris en charge au titre de maladie professionnelle ; En 2006 une étude menée en population générale au voisinage de sites industriels, générant une exposition au cadmium, a confirmé un risque accru de cancer du poumon avec des concentrations urinaires de cadmium élevées (**Nawrot, 2006**).

De plus une étude cas-témoin menée aux Etats-Unis en 2006, sur une population de 246 femmes âgées de 20 à 69 ans des niveaux de cadmium urinaire élevés a présenté un risque deux fois supérieur de développer un cancer du sein (OR=2,29, IC95% 1,3-4,2) comparativement à celles présentant des niveaux de cadmium urinaires faibles après ajustement avec certains facteurs de risque tels que des expositions à d'autres métaux en

particulier l'arsenic (**Mc Elroy, 2006**). Une autre étude prospective sur une population de 32 210 femmes suédoises ménopausées a également mis en évidence une association entre exposition au cadmium via l'alimentation et l'incidence sur le développement de cancer de l'endomètre (**Akesson, 2008**).

18. Principaux danger des métaux lourds

9.1. Contamination de l'environnement

Les métaux lourds sont dangereux pour l'environnement car, ils ne sont pas dégradables. Ils s'accumulent au cours de processus minéraux et biologiques. Les métaux lourds peuvent également être absorbés directement par le biais de la chaîne alimentaire entraînant alors des effets chroniques ou aigus. (**Robert N., Juste C., 1999**).

9.2. Contamination des sols

Le sol est un support de nombreuses activités humaines (industrialisation, urbanisation, agriculture), son rôle clef en matière d'environnement a été reconnu récemment : il intervient comme réacteur, récepteur, accumulateur et filtre des pollutions (**Robert N., Juste C., 1999**).

Le sol, comparativement à l'air et à l'eau, est le milieu qui reçoit les plus grandes quantités d'éléments en traces produites par les activités industrielles et constitue un lieu réceptacle des métaux lourds. (**Robert N., Juste C., 1999**).

Deux principaux types de pollutions anthropiques sont responsables de l'augmentation des flux de métaux : la pollution atmosphérique (rejets urbains et industriels) et la pollution liée aux activités agricoles. (**Robert N., Juste C., 1999**).

Les conditions physico-chimiques de la majorité des sols cultivés (milieu oxydant, pH élevé, richesse en argile) sont propices à la fixation des métaux lourds dans les parties supérieures du sol liés à la fraction fine. Il y a donc un risque important d'entraînement, par ruissellement, particulièrement en cas d'orage sur un sol nu et pentu. En général, les sols argilo-limoneux fixent les métaux par adsorption ce qui n'est pas le cas pour les sols sablonneux (**Kabata-Pendias A., Pendias H., 1992**). Le pH joue également un rôle, lors du chaulage, le pH augmente et réduit la mobilité des métaux lourds (**Chapman G., 1978**).

CHAPITRE II

1. Le cadmium

Le cadmium est un métal blanc argenté avec des teintes de bleu appartenant à la famille des métaux de transition. Le cadmium élémentaire a un numéro atomique de 48 et une masse atomique de 112,4 g/mol. (McLaughlin et Singh, 1999).

Le cadmium se trouve souvent associé dans les roches aux éléments du même groupe, comme le zinc et le mercure. La valence Cd^{2+} est la valence la plus souvent rencontrée dans l'environnement et est vraisemblablement la seule valence du cadmium dans les systèmes aqueux (McLaughlin et Singh, 1999).

Le cadmium n'est pas essentiel au développement des organismes animaux ou végétaux. En revanche, ses propriétés physiques et chimiques, proches de celles du zinc et du calcium, lui permettent de traverser les barrières biologiques et de s'accumuler dans les tissus. (McLaughlin et Singh, 1999).

2. Caractères physicochimiques de cadmium

La biodisponibilité du cadmium est conditionnée par son environnement chimique. Des compétitions ou synergies entre éléments ont été mises en évidence dans des milieux synthétiques et en solution hydroponique. Une relation antagoniste entre P et Cd ou Zn a souvent été démontrée (Wallace et Berry, 1989; Thys et al., 1991).

Elle s'explique par la formation en solution de phosphates de métaux, espèces non absorbables. Par ailleurs, une augmentation de calcium dans le milieu conduit à une diminution de l'absorption de cadmium, suggérant une compétition entre Ca^{2+} et Cd^{2+} au niveau de la surface racinaire (Jarvis et al., 1976 ; Kim et al. 2002 ; Sarwar et al., 2010).

Un effet compétiteur du Mn^{2+} vis-à-vis du Cd^{2+} a également été démontré en solution nutritive (Jarvis et al., 1976 ; Zornoza et al., 2010).

Une compétition entre le cadmium et le zinc est souvent observée (Sadana et Bijay, 1989) ; cette compétition se traduit par une diminution de l'influx de Cd^{2+} en présence de Zn^{2+} (Costa et Morel, 1994a ; Sarwar et al., 2010).

Ces observations s'expliquent par des compétitions entre les différents cations pour les sites de complexation de surface au niveau de la racine et vis-à-vis de transporteurs peu spécifiques de cations majeurs ou d'oligoéléments.

D'autres études démontrent cependant un effet de synergie entre le cadmium et des éléments tels que le zinc ou le calcium (**Turner, 1973 ; Girling et Peterson, 1981; Larbi et al., 2002 ; Ghnaya et al., 2005**).

En fait, il semble que les interactions dépendent du niveau de concentration du cadmium dans le milieu (**Sharma et Agrawal, 2006**).

3. Propriétés biologique

Le cadmium a une grande résistance à la corrosion ; son point de fusion est bas ; il a une bonne conductivité de l'électricité ; ses produits dérivés ont une bonne résistance aux fortes températures ; il présente des caractéristiques chimiques proches de celles du calcium, en particulier le rayon ionique, facilitant ainsi sa pénétration dans les organismes (**Borchardt, 1985**).

Le cadmium est un élément rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimiques (minérale ou organique). Un ensemble de variables physicochimiques du milieu (salinité, pH, potentiel redox, caractéristiques sédimentologiques, nature géochimique des particules, concentration en chlorures) gouvernent les transformations du cadmium dans l'environnement (**Gonzalez et al., 1999; Chiffolleau et al., 2001**).

4. Classification de cadmium

Selon le SIMDUT 2015:

- Poussières combustibles
- Toxicité aiguë - inhalation - Catégorie 1
- Mutagénicité sur les cellules germinales - Catégorie 21
- Cancérogénicité - Catégorie 1A1
- Toxicité pour la reproduction - Catégorie 21
 - ✓ Toxicité pour la fonction reproductrice
 - ✓ Toxicité pour le développement
- Toxicité pour certains organes cibles - expositions répétées - Catégorie 1

5. Origine de cadmium

a. Origine naturelle

Naturellement, le cadmium n'est pas très abondant dans la croûte terrestre. Dans les sols non pollués, le contenu en cadmium est généralement entre 0,1 et 2 ppm et la plupart du temps il est inférieur à 1 ppm (**Kabata-Pendias et al., 2001**). Les processus naturels d'érosion et d'altération de la roche mère, ainsi que le transport par les fleuves et dans l'air des particules contribuent au cycle naturel du cadmium. Le volcanisme de surface et sous-marin participe aussi à la libération du cadmium dans l'environnement.

b. Origine anthropique

Les pratiques humaines (agricoles ou industrielles) conduisent aussi à l'enrichissement des sols en cadmium:

c. Rejets d'origine industrielle

Les retombées atmosphériques provenant de l'activité industrielle et du trafic urbain contribuent à la pollution des sols et des eaux de surface et souterraines. Ces retombées représentent une source principale de contamination par le cadmium dans les zones urbaines (**He et al., 2005**).

6. Utilisation

Le cadmium est naturellement présent à l'état de traces dans les roches superficielles de l'écorce terrestre, ce qui en fait un élément plus rare que le mercure et le zinc. Il y a deux origines principales de présence de cadmium:

- le cadmium primaire est principalement associé au zinc dans les minerais de zinc (blende) (0,01 à 0,05%) et donc sous-produit de la métallurgie du zinc qui donne en moyenne 3 kg de cadmium par tonne de zinc. Le cadmium est également présent dans des minerais de plomb et de cuivre ainsi que dans des phosphates naturels (Jordanie, Tunisie). Les usages de cadmium se situent principalement en électricité (accumulateurs), en électronique, en métallurgie (traitement des surfaces par cadmiage) et dans l'industrie des matières plastiques (stabilisateur de polymères) (**Ramade, 1992**).
- Le cadmium secondaire est produit par recyclage (accumulateurs Ni/Cd, alliages Cu/Cd, poussières d'aciéries, incinération d'ordures ménagères) représentant

des causes de pollution de l'environnement. A l'image du mercure, les combustions des dérivés fossiles du carbone introduisent également ce métal dans l'atmosphère (combustion produits pétroliers et charbon). Aussi, le transport de ce polluant peut couvrir de grandes distances.

7. Toxicité de cadmium

Contrairement à de nombreux métaux, le cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants. Il remplace parfois le Zn dans des systèmes enzymatiques carencés en Zn chez le plancton (**Price et Morel, 1990; Lane et Morel, 2000**).

Le cadmium présente des risques chez le consommateur. Même à de faibles concentrations, il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes (50 ans) où il entraîne une perte anormale de protéines par les urines (protéinurie) et provoque des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées. Chez l'homme, le phénomène de toxicité aiguë est connu depuis 1950 sous le nom de syndrome d'Itai- Itai défini par l'association d'une insuffisance rénale avec ostéoporose (déméralisation et fragilisation des os) et ostéomalacie (déméralisation et déformation des os). (**Chiffolleau et al., 2001**).

Son nom provient des cris poussés par les malades, riziculteurs âgés de 40 à 60 ans, du bassin de la rivière Jintsu au Japon, intoxiqués par l'eau de boisson et la consommation de riz contaminés par les rejets d'une usine de métaux nonferreux. (**Chiffolleau et al., 2001**).

Le JECFA (Joint Expert Committee for Food Additives) comité mixte FAO/OMS, a recommandé chez l'homme une dose hebdomadaire tolérable (DHT) de 7 µg de cadmium par kilogramme de poids corporel et par semaine. Il faut noter que, outre la boisson et la nourriture, le tabagisme est une source importante de cadmium notée dans toutes les études épidémiologiques. De la même façon que pour le mercure, le règlement (CE) n° 466/2001 fixe les quantités maximales de cadmium dans les denrées alimentaires (1 mg.kg⁻¹ poids humide). Cependant, il ne présente pas de toxicité aiguë pour les organismes marins à des concentrations susceptibles d'être rencontrées dans le milieu. Au niveau subléthal, des concentrations de 0,05 à 1,2 µg.L⁻¹ peuvent provoquer des effets physiologiques (anomalies dans le développement embryonnaire et larvaire chez mollusques bivalves) et des inhibitions de croissance (**Chiffolleau et al., 2001**).

8. Effet du cadmium et ses risques sur la santé humaine

On identifie le cadmium comme un polluant extrêmement toxique (Godt *et al.*, 2006). Quelle que soit son origine, le cadmium présent dans le sol ne se décompose ni par voie chimique, ni par voie biologique.

Il est accumulé dans les strates superficielles des sols et peut être entraîné par les eaux de ruissellement pour atteindre les nappes phréatiques profondes. Dans le cas d'une accumulation du cadmium dans les strates superficielles des sols, il peut être absorbé par les plantes, ce qui représente un problème majeur pour la santé humaine. Une exposition au cadmium entraîne un grand nombre d'effets nocifs, les lésions rénales et le cancer figurant parmi les plus graves (Godt *et al.*, 2006).

9. La néphrotoxicité du cadmium

Le rein semble être l'organe le plus touché par les méfaits du cadmium (Barbier *et al.*, 2005). Le cadmium atteint le rein sous la forme de complexe cadmium- métallothionéines. Ce complexe est filtré dans le glomérule et est réabsorbé plus tard par le tubule proximal. La quantité de cadmium dans les cellules tubulaires augmente, en provoquant des perturbations des métabolismes phosphorés et calciques, des dommages tubulaires et glomérulaires, une protéinurie et une haute excrétion de calcium induisant un grand risque d'avoir des calculs rénaux (Svartengren *et al.*, 1986).

10. Effet du cadmium sur le système respiratoire

Le cadmium affecte sévèrement le système respiratoire. Il provoque des troubles respiratoires et des œdèmes pulmonaires ainsi qu'une destruction des muqueuses (Seidal *et al.*, 1993).

L'inhalation d'une fumée contenant 1 mg m^{-3} de cadmium peut mener à de ces graves problèmes respiratoires (WBG, 1998). Cependant, les mêmes problèmes peuvent survenir si l'individu s'expose à des faibles concentrations de cadmium pendant une longue période ($20 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ pendant 20 ans) (WHO, 2000).

11. Effet du cadmium sur le système reproducteur

Le cadmium semble interférer avec la voie stéroïdogénique ovarienne. De faibles concentrations de cadmium stimuleraient la biosynthèse ovarienne de progestérone alors que des concentrations élevées la bloqueraient (Henson *et Chedrese*, 2004).

L'exposition des femmes enceintes au cadmium est associée à un poids de naissance faible et à une augmentation de l'avortement spontané (**Frery et al., 1993**).

Le cadmium pourrait également exercer un puissant effet "œstrogénique" in vivo et avoir des effets décelables en provoquant un développement mammaire et utérin à des concentrations comparables à celles mesurées dans l'environnement (**Johnson et al., 2003**).

12. Effet du cadmium sur le système squelettique

Plusieurs études ont montré une forte relation entre l'intoxication par le cadmium et des dommages osseux. Le cadmium est impliqué dans les occurrences de la maladie d'Itai-Itai qui présente comme symptômes la diminution de la minéralisation des os, des taux élevés d'ostéoporose et une douleur osseuse (**Kazantzis, 1979**).

13. La cancérogénicité du cadmium

Il existe plusieurs preuves de la cancérogénicité du cadmium, notamment en ce qui concerne le cancer rénal chez l'Homme (**Kolonel, 1976; Il'yasova, 2005**).

L'IARC (International Agency for Research on Cancer) a en conséquence classifié le cadmium comme un élément carcinogène du groupe I. Les mécanismes moléculaires de la carcinogenèse induite par le cadmium ne sont pas encore compris. On peut cependant citer que la régulation de la signalisation mitogène est altérée par le cadmium, ainsi que les mécanismes de réparation et d'acquisition d'une résistance apoptotique (**Goyer et al., 2004**).

CONCLUSION

Conclusion

Cette étude nous a permis d'accéder à des connaissances fines sur le devenir des métaux lourds de (Cd).

Dans un premier temps nous avons étudié les caractéristiques physico-chimiques des métaux lourds.

Un métal est une matière, issue le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal, dotée d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie,

La toxicité des métaux lourds a conduit les pouvoirs publics à réglementer les émissions en fixant des teneurs limites. Cette réglementation n'est cependant d'aucun secours pour déterminer sans ambiguïté une liste de métaux à surveiller car la liste varie selon les milieux considérés : émissions atmosphériques, rejets dans l'eau, règles sur l'épandage des boues ou la mise en décharge...

Les principales sources de rejet du cadmium dans l'environnement sont les activités industrielles.

L'ingestion d'eau et surtout d'aliments contaminés (notamment riz, végétaux à feuillage vert) constitue la principale voie d'exposition au cadmium pour la population générale.

En milieu professionnel, l'inhalation est la principale voie d'exposition au cadmium.

Le cadmium est considéré comme cancérigène certain pour l'homme par le CIRC (Groupe 1). Les cancers associés sont ceux des voies respiratoires, notamment du poumon.

Le cadmium est toutefois suspecté d'être cancérigène pour le cancer de la prostate et le cancer du rein.

Concernant les personnes ayant été exposées lors de leur activité professionnelle, la recherche d'une part, et la prise en charge médicale d'autre part, constituent des enjeux de santé publique : la Haute Autorité de Santé a émis en 2010 des éléments d'orientation pour le suivi post-professionnel, l'information, et les relevés d'expositions de ces personnes.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **Adriano D.C., 2001 Trace .**, elements in terrestrial environments: Biochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, New York
- **Afnor, 1988 .**, Prélèvement et dosage du plomb dans les aérosols. Paris-La Défense, sept 1988.
- **Akerman et al., 2002.**, Changes of organic acid exudation and rhizosphere pH in rice plants under chromium stress. Environmental Pollution.
- **Akesson et Coll 2006.**, Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. Quelques réflexions. Bull. Int. Nati. Agro. El Harrach : 24-25.
- **Akesson, 2008.**, Enjeux environnementaux et industriels- Dynamiques des éléments traces dans l'écosystème sol. In : spéciation des métaux dans le sol, les cahiers du club Crin, Paris, p 15-37
- **Alleman, 1997.**, En jeux environnementaux et industriels- Dynamiques des éléments traces dans l'écosystème sol. In : spéciation des métaux dans le sol, les cahiers du club Crin, Paris, p 15-37
- **Ando et al., 1981.**, Soil pH affects copper fractionation and phytotoxicity. Soil Science society of America Journal, 64,955-962.
- **Arriss., 2008.**, « Etude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sous produits de céréale » Thèse de doctorat de l'université de Constantine- Algérie.
- **BAIZE, D. (1997)** - Teneurs en éléments traces métalliques dans les sols (France). Paris: INRA, 401p.
- **BEHANZIN G. J., ADJOU E.S., YESSOUFOU A.G., DAHOUENON A.E. et SEZAN A., 2014.** Effet des sels de métaux lourds (chlorure de Cobalt et chlorure de Mercure) sur l'activité des hépatocytes, Journal Applied Biosciences, Vol 83, pp 7499-7505.
- **BENABID C. et AJAL F., 1994.** Diagnostic de l'état d'environnement de la wilaya de Sétif et de la politique nationale d'environnement. Mémoire Ing, UFA, Sétif, 170p.
- **BLANCHARD, C., 200.** Caractérisation de la mobilisation potentielle des polluants inorganiques dans les sols pollués. Thèse Chimie, spécialité Sciences et Techniques du Déchet. L .France : INSA de Lyon, p301.

Références bibliographiques

- **BOUDERHEM AMEL ,2011**-Utilisation des souches bactériennes tellurique autochtones dans la bioremédiation des sol polluent par les hydrocarbures : thèse de Magister , Université Kasdi Merbah –Ouargla
- **BOURRIE B., TOURLIERE P.Y., BERNHARD-BITAUD C., 1998.** Etude au champ de la mobilisation par le maïs de Cd, Pb, Cu et Zn : resultat de 4 années d’experimentation.
- **Congres Mondial de Science du Sol, Montpellier, aout 1998.**
- **BOURRELIER, P.H., BERTHELIN J. (1998)** - Contamination des sols par les éléments en traces: les risques et leur gestion. Rapport n°42, Académie des Sciences. (Ed). Lavoisier, 300p.
- **BOWEN H., J., M., 1979.**Environmental chemistry of the elements,ed AcademicPress, New York,pp.49-62.
- **BRIAT J.F., LEBRUN M., 1999.** Plant responses to metal toxicity. Plant Biology and Pathology 322, 43-54.
- **CHAIGNON V., 2001.** Biodisponibilité du cuivre dans la rhizosphère de différentes plantes cultivées. Cas de sols viticoles contaminés par des fongicides. Thèse : Ecole doctorale, Sciences de l’Environnement : Système Terre, Université d’Aix-Marseille.
- **CHAPMAN G., 1978.** Toxicological considerations of heavy metals in the aquatic environment, In toxic materials in the aquatic environment. Oregon State University, WRI, Corvallis, OR.
- **CHOUDHRY T., 1994.** Stochastic Trends and Stock Prices: An International Inquiry. Applied Financial Economics , 4, 383-390.
- **Weiss,D. et al 1999.,** Arsenic hyper accumulation by different fern species, Journal New Phytologist, Vol 156, PP 27-31.
<https://www.em-consulte.com>).