



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Larbi Tébessi –Tebessa-

Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie Appliquée



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de **Master**

En : Sciences biologiques

Option : Pharmacotoxicologie

Par :

M^{elle}. HAFDALLAH BOUTHAYNA & M^{elle}. NECIB ABIR

&M^{elle}. ABAIDIA KAWTHER

Intitulé :

Etude de la toxicité des métaux lourds sur les êtres vivants

Devant le jury

M. GASMI Salim

M.C.A Université de **TEBESSA**

Président

Mm.BOUADILA SOULEF

M.A.A Université de **TEBESSA**

ENCADREURE

Mm. BENAMARA AMEL

M.A.A Université de **TEBESSA**

Examinatrice

Date de soutenance :07/ 06 / 2022

Remerciement

En premier, nous remercions le bon dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé, le courage et de la patience pour être ce que nous sommes aujourd'hui et pour mener à terme ce modeste travail.

Tout au long de ce travail, nous avons reçu l'aide et les instructions de la part de plusieurs personnes, ce mémoire est aussi le leur.

Notre reconnaissance va particulièrement à :

Mme BOUADILA SOULEF qui nous a encadrées pour mener ce travail à terme et nous a apportés des conseils utiles et perceptibles.

Nous remercions aussi très sincèrement les membres de jury.

D. GASMI SALIM ET Mme BEN AMARA AMALE

D'avoir accepté d'examiner ce travail et de nous avoir honorées par leur présence le jour de la soutenance.

Nous portons témoignage aussi à nos familles, nos ami(e)s, nos collègu(e)s, nos enseignant(e)s et notre cadre pédagogique qui, d'une manière ou autre, ont contribué à l'accomplissement de ce travail, sans vous ce mémoire n'aurait pas pu prendre forme.

Dédicace

Je suis honoré de dédier

Ce modeste travail qui a été réalisé grâce à l'aide de Dieu Tout-Puissant qui m'a encouragé et soutenu tout au long de mes années d'études.

Je te remercie pour ton amour et ta totale confiance... envers moi, cher père(ABDELKADER). Ce travail pour vous. A celle qui m'a tant étreint, m'a tant donné et m'a tant appris, toi qui m'as guidé sur le droit chemin, toi qui m'as appris que rien n'est impossible... à toi ma mère (DJAMILA) et ma deuxième ma mère. Ce travail est le fruit de vos efforts.

A mes sœurs (IBTISSEM, ZAHIA) et frères (RIDA, SAMIR, CHAKER, ACHREF) et leurs fils, à mes chers amis, en particulier ABIR et NESSRINE

Bouthayna

Dédicace

Avant tout le monde je remercie dieu tout-puissant qui m'a permis de mener a bien cette recherche scientifique et qui été avec moi à chaque étape

Je voudrai dédier cet humble travail à mes parents avant tout, qui n'ont jamais cessé de me soutenir financièrement ou moralement .que dieu les bénisse et garde

**A mes sœurs : Asmaa et mira merci beaucoup pour votre soutien continu ;
je ne l'oublierai jamais**

Aux compagnons de route BOUTHAYNA et NESRINE ; qui ont partagés avec moi ses moment doux et amers ; que dieu vous protégé pour moi

A mon oncle et ses enfants ; mes tantes et oncles, le mari de ma sœur ; mes grand-mères et tous ceux qui ont eu un impact sur ma vie

ABIR

Dédicace

Grace à Dieu, tout d'abord, je dédie mon diplôme au secret de ma réussite à ceux qui m'ont accompagné dans ses prières tout au long de ma carrière, ma deuxième mère ma grand-mère CHERFIA dieu accorde la paix à son âme

Je dédie cette graduation à mon père et ma mère (SEDDIK REBEIA), qui dieu les protège et prenne soin d'eux et fasse d'eux une couronne sur mon

Je dédie mon diplôme à ceux qui m'ont soutenu dans mes échecs, mon cher frère Hassan et m'ont soutenu DJAMAL et ISMAIL HAITHAM, que Dieu les protège pour moi

Je dédie mon diplôme à mes chères sœurs et amies Zahra, Karima, MOUFIDA, NOUR ELHOUDA ROUKAYA, IKRAM

Et aux enfants de mes petites sœurs, que dieu les protège (ADAM, SAJID, ASIRA, MUIEZ, AMANI, MISIM, MIRAL)

Un grand merci à mon partenaire de vie et mon chéri MARI, RADWAN et merci à toute sa famille

KAWTHER

Résumé

La pollution et les maladies de notre époque nous entourent sous tous les aspects, notamment avec les utilisations courantes et irrationnelles de composés chimiques par l'homme qui contiennent de nombreuses molécules nocives et toxiques, que nous considérons aujourd'hui comme la cause des dommages environnementaux et de la propagation des maladies, comme certains d'entre eux se caractérisent par ne pas se décomposer et s'accumuler avec le temps. Pour devenir les plus dangereux pour les organismes vivants, oui, nous parlons de métaux lourds.

Il existe 35 éléments dans la nature classés comme métaux, dont seulement 23 sont appelés métaux lourds, qui contiennent une masse atomique élevée (supérieure à la masse de l'élément carbone). Les composés de métaux lourds sont utilisés dans un grand nombre d'applications en raison de leurs excellentes propriétés physiques et chimiques, car ils sont de bons conducteurs de chaleur et de courant électrique, et ont une stabilité élevée qui n'est pas rapidement affectée par les facteurs météorologiques. De leur utilisation sont des toxines et des effets nocifs sur les organismes vivants et les écosystèmes, et c'est ce qui a poussé les scientifiques à les classer parmi les éléments toxiques.

Les mots clés : métaux lourd, toxines, éléments toxiques, organisme vivants, masse atomique

Abstract:

Pollution and diseases of our time surround us in all aspects, especially with the common and irrational uses of chemical compounds by man which contain many harmful and toxic molecules, which we now consider to be the cause of environmental damage. and the spread of disease, as some of them are characterized by not breaking down and accumulating over time. To become the most dangerous for living organisms, yes, we are talking about heavy metals.

There are 35 elements in nature classified as metals, of which only 23 are called heavy metals, which contain a high atomic mass (greater than the mass of the element carbon). Heavy metal compounds are used in a large number of applications due to their excellent physical and chemical properties, as they are good conductors of heat and electric current, and have high stability which is not quickly affected by meteorological factors. From their use are toxins and harmful effects on living organisms and ecosystems, and this is what led scientists to classify them as toxic elements.

Key words: heavy metals, toxins, toxic elements, living organisms, atomic mass

ملخص:

ان الاستخدام الشائع و اللاعقلاني للمركبات الكيميائية في هذا العصر من قبل الانسان ادى الى ارتفاع نسبة التلوث و انتشار الاوبئة في جميع انحاء العالم , نظرا لان هذه المركبات الكيميائية حوي العديد من الجزيئات الضارة و السامة حيث ان بعضها يتميز بعدم القدرة على التحلل بمرور الوقت . لتصبح الأكثر خطورة على الكائنات الحية . نعم , نحن نتحدث عن المعادن الثقيلة

هناك 35 عنصراً في الطبيعة مصنفة على أنها معادن، منها 23 عنصراً فقط تسمى المعادن الثقيلة، والتي تحتوي على كتلة ذرية عالية (أكبر من كتلة عنصر الكربون) يُستخدم مركبات المعادن الثقيلة في عدد كبير من التطبيقات نظراً لخصائصها الفيزيائية والكيميائية الممتازة، فهي موصلة جيدة للحرارة والتيار الكهربائي، وتتمتع بثبات عالٍ لا يتأثر بسرعة بعوامل الأرصاد الجوية. من استخدامها السموم والآثار الضارة على الكائنات الحية والنظم البيئية، وهذا ما دفع العلماء إلى تصنيفها على أنها عناصر سامة.

الكلمات المفتاحية: المعادن الثقيلة – السموم – العناصر السامة – الكائنات الحية – الكتلة الذرية

Sommaire

Titre	Page
Résumer	
Remerciement	
dédicace	
Liste Des Figures	
Liste Des Tableaux	
Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralité Sur Les Métaux Lourds	
I. Introduction	4
II. Généralité Sur Métaux Lourds	5
2-1- Définition	5
2-2- Origine Des Métaux Lourds	6
2-2-1- source Naturel	7
2-2-2- Source Anthropique	7
2-3- Classification Des Métaux Lourds	7
2-3-1- Métaux Essentiels	7
2-3-2- Métaux Non Essentiels	8
III. Intérêt Des Métaux Essentiels	8
3-1- Le Zinc	8
3-1-1- Principe Source	9
3-1-2- Utilisation	9
3-1-3- Propriété Biologique	9
3-1-4- Propriété Physico-Chimique	9
3-1-5- Métabolisme	10
3-1-6- Toxicité Aigüe Et Chronique	10

3-2- Le Cuivre	11
3-2-1- Source Naturel Et Anthropique	12
3-2-2- Utilisation	12
3-2-3- Propriété Biologique	12
3-2-4- Propriété Physico-Chimique	12
3-2-5- Métabolisme	12
3-2-6- Toxicité Aigue	14
3-2-6-1- Voie Orale	14
3-2-6-2- Voie Cutanée	14
3-2-7- Toxicité Chronique	14
3-2-7-1- Effet Cancérogène	15
3-2-7-2- Effet Sur La Reproduction	15
3-2-7-3- Effet Sur La Développement	15
IV. Intérêt Des Métaux Non Essentiels	15
4-1- Cadmium	15
4-1-1- Source	16
4-1-2- Utilisation	16
4-1-3- Propriété Biologique	16
4-1-4- Propriété Physico-Chimique	17
4-1-5- Métabolisme	17
4-1-6- Toxicité Aigue	17
4-1-7- Toxicité Chronique	18
4-2- Le Plomb	18
4-2-1- Source	18
4-2-2- Utilisation	19
4-2-3- Propriété Physico-Chimique	19
4-2-4- Métabolisme	20
4-2-5- Toxicité Aigüe Et Chronique	20
V. Propriété Physico-Chimique Des Métaux Lourds	21
5-1-Propriété Physique	21
5-2- Propriété Chimique	21
Chapitre 02 : la toxicité des métaux lourds sur l'environnement	

I	Introduction	23
II	Toxicité sur l'environnement	24
III	Effet des métaux sur l'eau	24
IV	Effet des métaux sur l'air	24
V	Effet des métaux sur le sol	25
5- 1	Répartition des métaux lourds dans les sols	25
VI	Facteurs modifiant la mobilité des éléments métalliques	26
6- 1-	LE PH	26
6- 2 -	Le potentiel redox	26
6- 3 -	L'activité biologique	26
6- 4 -	La température	27
VII	Métabolisme des métaux dans les plantes	27
Chapitre 03 : la toxicité des métaux lourds sur les être vivant		
I.	Introduction	30
II.	Toxicité sur l'organisme	30
2-1-	Intoxication aiguë	31
2-2-	Intoxication chronique	31
III.	Maladies liées aux métaux lourds	32
3-1-	Réaction allergique	32
3-2-	Réaction locale	33
3-3-	La toxicité sur les plantes	33
Conclusion Générale		35
Référence Bibliographique		37

Liste de figure

Figure 1	Le tableau périodique
Figure 2	Le zinc
Figure 3	Le cuivre
Figure4	Le cadmium
Figure 5	Le plomb
Figure 6	Effets des Métaux Lourds sur l'environnement
Figure 7	Effet des métaux sur l'aire
Figure 8	Effet des métaux sur le sol
Figure 09	Allergie aux métaux
Figure 10	Réaction locale aux métaux

Liste de tableau

Tableau 1	Caractéristiques physico-chimiques du plomb
Tableau 2	Effets de certains métaux lourds sur la santé



Introduction

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

En chimie, les métaux lourds sont en général définis sur la base de propriétés spécifiques (poids moléculaire, capacité à former des cations polyvalents...) (**ADRIANO, 1986 ; FERGUSSON, 1980**).

Toujours au point de vu chimique, les métaux lourds sont des éléments de la classification périodique formant des cations en solution sont des métaux.

On distingue deux types de métaux en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques. Il s'agit des métaux essentiels et des métaux toxiques. Les métaux essentiels 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**). Cependant, certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration devient accidentellement élevée. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du Cobalt (Co), du zinc (Zn) et du fer (Fe). Par contre les métaux toxiques, même à faible concentration ont un caractère polluant avec des effets nocifs pour les organismes vivants. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule, c'est le cas, entre autre, du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd) (**BAKER et WALKER, 1989**).

Du fait que l'industrie utilise de plus en plus les métaux lourds dans leur processus industriel, il s'avère donc intéressant d'étudier l'effet de ces substances sur la santé humaine. De même, ces métaux lourds ne peuvent être biodégradés, et donc persistent pendant de longues périodes dans l'environnement. La source majeure de contamination par les métaux est d'origine anthropique (**GBESSOHELE ET AL,2014**).

Au cours des décennies dernières, l'apport de métaux lourds dans le monde s'est étendu. Les principaux types de pollutions anthropiques responsables de l'augmentation des flux de métaux, sont la pollution atmosphérique (rejets urbains), la pollution liée aux activités agricoles et la pollution industrielle. Ainsi par le biais d'activités minières, industrielles et agricoles, de nombreux produits de consommation qui terminent comme déchets, polluent l'air, l'eau, le sol, les plantes, les animaux et, finalement, les êtres humains sont aussi pollués et intoxiqués par les métaux lourds. De même, les métaux lourds ont un effet cumulatif. Leur fixation sélective sur des organes et tissus sensibles peut être dangereuse quand leurs concentrations sont élevées (**LALLOGO, 1992**).

En effet, certain métaux lourds présent à l'état naturel, peut subsister jusqu'à une année dans l'atmosphère, puis finit par s'accumuler dans les sédiments des fonds lacustres où ils se

INTRODUCTION GENERALE

transforment a des dérivés organiques plus toxique, et provoquent une intoxication mortelle en cas d'inhalation et ils sont également nocif en cas d'absorption transcutanée. A cause de leurs effets cumulatifs, il n'existe donc pas de seuil en dessous duquel il ne produirait pas d'effets indésirables. En effet, on distingue deux types de toxicités : la toxicité aiguë qui concerne les effets nocifs provoqués par une seule exposition à une forte dose de métal lourd (par ingestion, voie respiratoire ou cutanée), de caractère plutôt accidentel ; et la toxicité chronique qui désigne les effets nocifs dus à une exposition répétée (**LALLOGO, 1992**).

La principale source d'exposition à la plupart des métaux lourds est l'ingestion de nourriture contaminée (**KLASSEN et WATKINS, 2003**). Face aux nombreuses nuisances associées à la contamination par les métaux lourds, la présente étude vise à investiguer la toxicité des métaux sur tous les organismes vivants, ainsi que sur l'environnement dans lequel nous vivons, car nous avons constaté leur présence autour de nous en abondance dans tous les domaines.



Chapitre 01
Généralité sur les métaux
lourds

I Introduction

Les métaux lourds constituent un groupe d'éléments très différent. Tous ces éléments peuvent se présenter sous un grand nombre de formes de composés différents. Le comportement de ces éléments et les risques de liées à leurs présence dans le milieu dépendent fortement des conditions de l'environnement. Certains métaux sont des éléments nutritifs essentiels, d'autres connus comme étant toxiques

Les métaux lourds sont généralement des éléments traces métalliques (ETM). Cependant, la classification en métaux lourds est souvent discutée car certains éléments toxiques ne sont pas des métaux (c'est le cas de l'arsenic qui est un métalloïde) tandis que certains métaux toxiques ne sont pas particulièrement «lourds» (par exemple le zinc), ce terme générique désigne donc indistinctement des métaux et métalloïdes réputés toxiques. Pour ces différentes raisons, l'appellation « éléments traces métalliques » est préférable à celle de métaux lourds (**BURNOL ET AL., 2006**)

Le terme de métaux lourds est imprécis, il recouvre des éléments ayant des propriétés métalliques (ductilité, conductivité, densité, stabilité des cations, spécificité de ligand...) et un numéro atomique >20 (**RASKIN ET AL., 1994**). Les métaux lourds sont définis comme étant des éléments chimiques toxiques ayant une densité supérieure à 5 g/cm³ (**ELMSLEY, 2001**). Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse etc...(**ARRIS, 2008**).

A des concentrations normales, certains sont utiles voire indispensables aux végétaux mais ils deviennent tous toxiques à partir d'un certain seuil. Les ETMs sont réputés toxiques alors que certains sont des oligo-éléments (Cu, Zn, Fe, Co...), d'autres sont des métalloïdes (Se, As) ou qu'ils ne sont pas lourds (Be, Al), d'où ils sont plus désignés par l'appellation «éléments traces métalliques» (ETMs) que celui de «métaux lourds» (**ANNE ET ISABELLE, 2005**).

II Généralités sur les métaux lourds

Les métaux lourds constituent un groupe d'éléments très différent. Tous ces éléments peuvent se présenter sous un grand nombre de formes de composés différents. Le comportement et les risques dépendent fortement des conditions de l'environnement. Certains métaux sont des éléments nutritifs essentiels, d'autres connus comme étant toxiques. Un aspect particulier est que tous les métaux lourds sont naturellement présents dans le sol.

Des métaux lourds tels que le cuivre, le nickel, le chrome et le zinc sont utilisés à grande échelle dans toutes sortes d'objets courants et de matériaux de construction, sans que cela ne représente de risque pour l'utilisateur. Certains métaux sont essentiels pour la santé et sont ajoutés à des suppléments de vitamines.

Il est donc très important d'avoir une vision nuancée de la problématique des métaux lourds. Il n'est pas correct de voir dans chaque contamination par des métaux lourds un risque de toxicité. (JAAP, 2010).

Les éléments traces, appelés abusivement métaux lourds, comprennent non seulement les métaux présents à l'état de trace (cadmium, cuivre, mercure, plomb, etc.), mais aussi des éléments non-métalliques, comme l'arsenic, le fluor... La plupart d'entre eux, les oligoéléments, sont nécessaires à la vie en faible dose. Ils peuvent cependant se révéler très nocifs en quantités trop importantes. C'est le cas du fer (Fe), du cuivre (Cu), du zinc (Zn), du nickel (Ni), du cobalt (Co), du vanadium (V), du sélénium (Se), du molybdène (Mo), du manganèse (Mn), du chrome (Cr), de l'arsenic (As) et du titane (Ti). D'autres ne sont pas nécessaires à la vie et sont préjudiciables dans tous les cas, comme le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et l'antimoine (Sb) (BENEDETTO; 1997).

2-1-Définition

Les métaux lourds sont des éléments non dégradables et des composés présents dans la croûte terrestre qui ont une densité élevée ou une masse atomique et qui sont plus lourds que le carbone.

Le mercure, le plomb, le cadmium, le cuivre, l'arsenic, le nickel, le zinc, le cobalt, le manganèse et d'autres métaux lourds ont une densité supérieure à 5 g/cm³ et sont couramment présents dans l'environnement sous forme d'oligo-éléments. Les métaux sont

INTRODUCTION GENERALE

des éléments de la classification périodique qui forment des cations en solution d'un point de vue chimique. Le terme "métaux lourds" désigne les éléments métalliques naturels, les métaux ou, dans certains cas, les éléments métalloïdes (environ 65 éléments) ayant une densité supérieure à 5 g.cm³ d'un point de vue physique. Les métaux essentiels et les métaux toxiques sont deux types de métaux dont les effets physiologiques et toxiques différents d'un point de vue biologique.(ARRIS , 2008)

Les métaux lourds fuient dans les lacs, les rivières et les océans en raison de l'érosion des roches et des éruptions volcaniques, causant une pollution grave; ces minéraux affectent l'environnement par les pluies acides, et des études ont montré qu'ils sont contaminés par les cultures agricoles, les légumes, le sol et l'eau, et ils ont été classés comme des agents toxiques essentiels des organismes vivants

1	2											13	14	15	16	17	18																				
1	H																	2	He																		
2	3	Li	4	Be											5	6	7	8	9	10	2																
3	11	Na	12	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar	3										
4	19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr	4
5	37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe	5
6	55	Cs	56	Ba	57-71		72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn	6
7	87	Fr	88	Ra	89-103		104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hs	109	Mt	110	Ds	111	Rg	112	Cn	113	Uut	114	Fl	115	Uup	116	Lv	117	Uus	118	Uuo	7
	6	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	6											6									
	7	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	7											7									
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																					
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																					

Figure 1 : le tableau périodique(<http://wiki.scienceamusante.net/index>)

2-2-Origine des métaux lourds

Les ETM présents dans les sols peuvent être classés dans deux groupes : les fonds géochimiques et les apports anthropiques

Les métaux lourds sont redistribués naturellement dans l'environnement par les processus géologiques et les cycles biologiques. Les activités industrielles et technologiques diminuent cependant le temps de résidence des métaux dans les roches, ils forment de nouveaux

INTRODUCTION GENERALE

composés métalliques, introduisent les métaux dans l'atmosphère par la combustion de produits fossilifères. Il faut différencier la part qui résulte de la contamination d'origine humaine (anthropogène) et la part naturelle (géogénie) (**KRUPKA, 1999**).

2-2-1-Les sources naturelles

Les métaux lourds sont naturellement présents dans les roches, et lorsqu'ils sont modifiés, ils sont relâchés pour créer une toile de fond géochimique (BOURRELIER et BERTHELIN, 1998). L'activité volcanique, les déplacements continentaux et les feux de forêt sont autant de sources naturelles importantes. Les volcans peuvent contribuer sous forme d'émissions à grande échelle causées par une activité explosive, ou d'émissions à faible volume causées par l'activité géothermique et le dégazage du magma (**AFNOR, 1988**).

2-2-2-Les sources anthropiques

Les métaux d'origine anthropique sont présents sous des formes chimiques hautement réactives, ce qui pose des risques beaucoup plus grands que les métaux d'origine naturelle, qui sont généralement immobilisés sous des formes relativement inertes (**WEISS et COLL, 1999**).

2-3-Classification

La classification des métaux lourds est souvent discutée, car certains métaux toxiques ne sont pas particulièrement «lourds» comme le zinc. D'un autre côté, certains éléments ne sont pas des métaux mais des metalloïdes comme le cas de l'arsenic.

Pour ces différentes raisons, la plupart des scientifiques préfèrent à l'appellation métaux lourds celle de (éléments traces métalliques) (ETM), où par extension éléments traces (**MIQUEL, 2001**).

2-3-1-Les métaux essentiels

Les métaux essentiels, comme le fer, font partie des éléments nutritifs : des composés ayant un but biologique que le corps humain exige, mais que les humains ne génèrent pas. Ces métaux doivent être consommés par la nourriture, où ils sont présents naturellement ou parfois ajoutés intentionnellement.

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. Certains

INTRODUCTION GENERALE

peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe), etc. (KABATAPENDIAS, et PENDIAS, 2001)

2-3-2-Les métaux non essentiels

Le corps humain n'a pas besoin de métaux non essentiels. Ils peuvent être dangereux selon la quantité consommée. C'est pourquoi certains métaux sont réglementés comme contaminants (lien externe). Ceux-ci incluent le plomb, le cadmium et le mercure, qui sont appelés "métaux lourds" en raison de leur haute densité.

Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule, mais un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ce sont des micropolluants de nature à entraîner des nuisances, même quand ils sont rejetés en quantités très faibles. Leur toxicité se développe par bioaccumulation le long de la chaîne alimentaire.

(CHIFFOLEAU,2004).

III. Intérêt des métaux essentiels

3-1-Le zinc:

Le Zinc est un élément chimique de symbole Zn et de numéro atomique 30, c'est un métal de couleur bleu-gris moyennement réactif qui se combine avec l'oxygène et d'autres éléments non métalliques, et qui réagit avec des acides dilués en dégageant de l'hydrogène (BENTATA, 2015)



Figure 02 : le zinc (RASIEL SUAREZ, 1981)

3-1-1-Principes sources

Le zinc est présent dans l'écorce terrestre principalement sous forme de sulfure (blende), accessoirement sous d'autres formes telles que la smithsonite ($ZnCO_3$), l'hémimorphite ($Zn_4[(OH)_2Si_2O_7] \cdot H_2O$), ou l'hydrozincite ($Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$).

Il est produit principalement suivant un procédé hydro métallurgique, Il peut aussi être produit suivant un procédé pyrométallurgique.

Le zinc provient également des minerais de plomb dans lesquels il est toujours associé au cadmium. Le chlorure de zinc est obtenu par action de l'acide chlorhydrique sur le zinc ou l'oxyde de zinc, suivie d'une recristallisation. (INERIS, 2005).

3-1-2-Utilisations

Le zinc est principalement utilisé pour les revêtements de protection des métaux contre la corrosion (galvanoplastie, métallisation, traitement par immersion). Il entre dans la composition de divers alliages (laiton, bronze, alliages légers). Il est utilisé dans la construction immobilière, les équipements pour l'automobile, les chemins de fer et dans la fabrication de produits laminés ou formés. Il constitue un intermédiaire dans la fabrication d'autres composés de zinc et sert d'agent réducteur en chimie organique et de réactif en chimie analytique (INERIS, 2005).

3-1-2-Propriétés biologiques

Le zinc est un élément essentiel au bon fonctionnement de tout organisme vivant. Il intervient dans l'activité de nombreuses enzymes, il est indispensable à un grand nombre de fonctions ou de situation physiologiques, aussi diverses que la croissance et la multiplication cellulaire, le métabolisme osseux, la cicatrisation des blessure, la reproduction et la fertilité, l'immunité et l'inflammation, la gustation et la vision, le fonctionnement cérébral, la protection contre les radicaux libres, etc.(INERIS,2005).

3-1-3Propriétés physico-chimiques

L'état d'oxydation courant du zinc est +2, donnant un cation de taille comparable à celle de Mg^{2+} . C'est le 24^e élément le plus abondant dans l'écorce terrestre. Il possède cinq isotopes naturels stables.

INTRODUCTION GENERALE

Le Zinc et le cadmium sont des métaux électropositifs assez semblables, alors que le mercure Hg présente une réactivité encore plus faible et un caractère métallique encore plus noble.

Dans le milieu naturel, le zinc est environ 600 fois plus abondantes que le cadmium, environ 1 500 fois plus abondant que le mercure. (INERIS, 2005).

3-1-5-Métabolisme

La pénétration du zinc dans l'organisme se fait principalement par voie orale (via la nourriture. la présence de protéines en facilite l'absorption de zinc (HUNT et al. 1991). Par voie cutanée, le taux d'absorption n'est pas connu. Il dépend vraisemblablement de l'état de la peau et du solvant utilisé (CE, 1999). Le zinc absorbé est transporté de façon active au niveau du plasma (COUSINS, 1985). Il est en majorité complexé à des ligands organiques (GORDON et AL., 1981) tels que l'albumine et peut se lier à diverses protéines tissulaires dont les métallothionéines dans le foie et les reins. Une faible partie du zinc circulant est piégée au niveau des Globuline et ce complexe ne peut se dissocier qu'au niveau du foie (HENKIN, 1974). La voie d'élimination du zinc inhalé est peu connue. Une partie au moins est éliminée via les urines (HAMDI, 1969). Le zinc ingéré est excrété principalement dans les fèces, et, dans une moindre mesure, dans les urines (WASTNEY et al. 1986). Une faible partie du zinc est également éliminée par la salive, les cheveux et la transpiration (GREGER et SICKLES, 1979 ; RIVLIN, 1983).L'excrétion urinaire du zinc est augmentée en cas de malnutrition ou de carence, en raison d'un catabolisme tissulaire accru (SPENCER et AL, 1976).

3-1-6-Toxicité aigüe et Toxicité chronique

Le zinc, sous sa forme métallique, présente une faible toxicité par inhalation et par voie orale. Par contre, certains composés du zinc sont responsables d'effets délétères chez l'homme et l'animal.

Des cas de mortalité ont été rapportés chez l'homme après inhalation de vapeurs de composés de zinc. A l'autopsie, ont été observées une fibrose pulmonaire interstitielle et intra alvéolaire, ainsi qu'une occlusion des artères pulmonaires (HJORTSO etAL. 1988).

La poudre de stéarate de zinc a été à l'origine d'inflammations pulmonaires qui se sont révélées létales chez des enfants (BIBRA, 1989). Toutefois, on ne sait pas si ces effets ont été

INTRODUCTION GENERALE

causés par le stéarate de zinc en lui-même ou par la grande quantité de poussière inhalée **(WALSH et AL, 1994)**.

En milieu professionnel, L'exposition à les fumées de zinc peut causer ce que l'on appelle la "fièvre des fondeurs", caractérisée par les symptômes suivants : gorge sèche et douloureuse, toux, dyspnée, fièvre, douleurs musculaires, céphalée et goût métallique dans la bouche **(HEYDON et KAGAN, 1990 ; GORDON et AL., 1992)**. Des effets cardiaques **(MUELLER et SEGER, 1985)** et gastro-intestinaux **(NIOSH, 1975)** peuvent également être associés à l'exposition à ces fumées.

Par voie orale : Il a été montré que l'ingestion de sulfate de zinc pouvait induire des désordres gastro-intestinaux **(MOORE, 1978 ; SAMMAN et ROBERTS, 1987)**.

Aucun effet hépatique ou rénal n'a été décelé chez des travailleurs exposés au zinc par inhalation durant plusieurs années au zinc **(BATCHELOR et AL, 1926 ; HAMDI, 1969)**. Par voie orale, des crampes d'estomac, des nausées et des vomissements ont été observés chez des volontaires ayant ingéré du sulfate de zinc en tablette (2 mg zinc/kg/j) durant 6 semaines **(SAMMAN and ROBERTS, 1987)**. Une exposition à 2 mg zinc/kg/j sous forme de sulfate a également induit une anémie **(HOFFMAN et AL, 1988)**.

Aucune donnée n'est disponible concernant la toxicité du zinc inhalé sur la reproduction et le développement humain **(ATSDR, 1994)**. Le zinc est nécessaire au développement fœtal. Une carence en zinc peut-être à l'origine de troubles chez les embryons. **(INERIS, 2005)**.

3-2-Le cuivre

Le cuivre est un élément métallique de symbole Cu; il appartient au groupe (IB) de la classification périodique des éléments. **(PRUNET, BOURDINET , PREVOTEAU. EDITION 1996)**

Les formes du cuivre les plus couramment trouvées dans la nature sont les sulfites (chalcopryrite CuFeS_2), les hydrocarbonates (malachite $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ et azurite $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$) et les oxydes (ténorite CuO). C'est un métal rouge orange, brillant, noble, et peu oxydable.



Figure 03 : le cuivre(FACTORY TH, 1991)

3-2-1-Sources naturelles et anthropiques

Le cuivre est présent dans l'environnement de manière ubiquiste. Sa concentration dans l'écorce terrestre est estimée à environ 70 mg/kg. Le transport par le vent des poussières de sol, les éruptions volcaniques, les décompositions végétales, les feux de forêts et les aérosols marins constituent les principales sources naturelles d'exposition. Les principales sources anthropiques sont l'industrie du cuivre et des métaux en général, l'industrie du bois, l'incinération des ordures ménagères, la combustion du charbon, d'huile et d'essence et la fabrication de fertilisants (phosphate). (OMS ICPS, 1998).

-3-2-2-Utilisation

Le cuivre et ses composés ont de nombreuses applications industrielles (INRS, 2013):

- Fabrication de nombreux alliages à base de cuivre : bronze, laiton, cupro-alliages tels que constantan, monel, maillechort, alliage de Devarda et alliages de joaillerie
- Utilisation dans la fabrication de matériels électriques, de matériels pour l'électronique, la plomberie, de matériels pour l'automobile, le bâtiment, les équipements industriels, fabrication de pièces de monnaie ;
- Fabrication de catalyseurs en synthèse organique.
- Fabrication de bains colorants pour métaux, de pigments pour le verre, les céramiques, les émaux, les peintures, encres et vernis.

INTRODUCTION GENERALE

- Industrie pétrolière : agents désodorisants, désulfurant, agents de flottation.
- Industrie textile : teinture des textiles, mordant, tannage du cuir.
- Hydrométallurgie : raffinage des métaux.
- Galvanoplastie, traitements de surfaces, électrodes de galvanisation, bains électrolytiques.
- Soudage : fabrication de pâtes pour brasures.

3-2-3-Propriétés biologiques

A très faible dose, Le cuivre est un élément essentiel chez l'homme et l'animal, impliqué dans de nombreuses voies métaboliques, notamment pour la formation d'hémoglobine et la maturation des polynucléaires neutrophiles. De plus, il est un cofacteur spécifique de nombreuses enzymes et métalloprotéines de structure (**OMS ICPS, 1998**). Il a une importance capitale dans l'entretien des processus biologiques. Chez les mollusques, le sang renferme un pigment respiratoire à base de cuivre, l'hémocyanine.

3-2-4-Propriétés physico-chimiques

La grande majorité des applications du cuivre se réfère à l'une des deux propriétés dominantes : sa conductibilité électrique et thermique d'une part et sa résistance à la corrosion d'autre part.

L'or de bijouterie contient jusqu'à 15 % de cuivre. La couleur naturelle du cuivre est rose saumon, mais il apparaît souvent rouge par suite de son oxydation superficielle ; cette couleur est recherchée en décoration de même que la couleur jaune du laiton (alliage de cuivre et de zinc), qui se révèle plus ou moins soutenue suivant le pourcentage de zinc contenu. Soumis aux intempéries lorsqu'il est utilisé en toiture, le cuivre prend dans un premier temps une couleur brun foncé, puis une patine vert amande très adhérente, qui le protège de toute oxydation ultérieure. (**INRS, 2013**)

3-2-5-Métabolisme

Le cuivre d'origine alimentaire est absorbé au niveau de l'estomac et l'intestin, la captation du cuivre se fait après sa complexation sur les acides aminés (histidine en particulier) ou après liaison aux metallothionéines.

INTRODUCTION GENERALE

Le cuivre est stocké principalement dans le foie avec des concentrations allant de 10 à 50 ppm poids sec en générale (exception faite des ruminants et de certains poissons dont les concentrations hépatiques en cuivre varient de 100 à 400 ppm poids sec) (**HUOT et TARALLO,1991**).

La principale voie d'élimination du cuivre est la bile, l'élimination urinaire étant faible. La toxicité vis-à-vis des organismes marins dépend de la forme chimique du cuivre et de son état d'oxydation. Les caractéristiques physico-chimiques du milieu (pH, dureté) agissent sur le degré de dissociation entre les formes métalliques et ioniques. Le cuivre complexé est moins toxique que le cuivre à l'état ionique

3-2-6-Toxicologie aigue

3-2-6-1-Voie orale

Les cas d'intoxications aiguës par voie orale sont rares et généralement dus à des contaminations de boissons ou à des ingestions accidentelles ou volontaires (suicides) de grandes quantités (de 0,4 à 100 g de cuivre) (**CHUTTANI et AL, 1965**). Les cas d'intoxications par l'eau de boisson correspondent également à des doses élevées, de 35 à 200 mg/L de cuivre (**HOPPER et ADAMS, 1958 ; SEMPLE et AL, 1960**). Les effets toxiques observés sont un syndrome dysentérique (nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées), une léthargie, une anémie profonde liée à une hémolyse intravasculaire, une rhabdomyolyse. Surviennent secondairement une cytolysse hépatique par nécrose Centro lobulaire et une insuffisance rénale aiguë par nécrose tubulaire aiguë (**TAKEDA et AL, 2000**). Une toxicité directe sur la muqueuse digestive est parfois responsable d'hémorragies digestives. Les pertes hydro électrolytiques peuvent s'accompagner d'une insuffisance rénale aiguë fonctionnelle.

3-2-6-2-Voie cutanée

Aucune donnée relative à des intoxications aiguës par voie cutanée n'est disponible chez l'homme (**ATSDR, 2004 ; OMS IPCS, 1998**).

3-2-7-Toxicologie chronique

3-2-7-1-Effets cancérigènes

Aucune augmentation de l'incidence de cancers n'a été décrite chez les patients porteurs de maladies génétiques susceptibles d'entraîner une accumulation de cuivre dans le foie, les reins et le cerveau (Maladie de Wilson) ou encore au niveau de l'épithélium intestinal, les reins et les fibroblastes (Maladie de Menkes) (**RAR, 2016, VOL.1**).

3-2-7-2-Effets sur la reproduction

Les stérilets en cuivre augmentent la concentration endométriale en cuivre or le cuivre induit une immobilisation irréversible du sperme in vitro (**HOLLAND et WHITE, 1988**). Il n'existe pas d'autres données de toxicité spécifiques de la reproduction chez l'homme pour des expositions au cuivre par inhalation, voie orale ou voie cutanée (**ATSDR, 2004 ; OMS IPCS, 1998**).

3-2-7-3- Effets sur le développement

Chez la femme, la grossesse est associée à une augmentation de la rétention de cuivre liée à une diminution de l'excrétion biliaire induite par les variations du statut hormonal. Les taux de cuivre sérique et de céruloplasmine augmentent considérablement au cours du dernier trimestre de gestation (**ARDLE, 1995**)

IV-Intérêt des métaux non essentiels

4-1-Cadmium

Le cadmium est un métal blanc argenté appartenant à la famille des métaux de transition, avec un numéro atomique de 48 et une masse atomique de 112,4 g/mol. Il 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 (**ZORRIG, 2010**).



Figure 04 : le cadmium(HEINRICH PNIOK, 1993)

4-1-1-SOURCE

Le Cd est un métal lourd d'origine naturelle présent à des concentrations plus élevées en association avec les sols riches en Cd, y compris les schistes, les sédiments lacustres et les phosphorites. Cependant, plus de 90% du Cd dans l'environnement de surface est le résultat de l'industrie et de l'agriculture. Il est considéré comme un des éléments les plus toxiques dans l'environnement, avec un large éventail de toxicité d'organe et une longue demi-vie d'élimination (LANE et AL, 2015)

4-1-2-Utilisation

Le cadmium est principalement utilisé pour la métallisation des surfaces, dans la fabrication des accumulateurs électriques, des pigments, des stabilisants pour les matières plastiques, des alliages

L'oxyde de cadmium est utilisé principalement pour la fabrication de batteries nickel cadmium, il trouve d'autres applications dans les stabilisants de PVC, dans la fabrication d'émaux résistants, de plastiques thermorésistants, dans les bains d'électro métallisation, la métallisation des plastiques et dans la catalyse de réactions d'oxydo-réduction ; Le sulfate de cadmium est utilisé en électro métallisation et comme produit de base dans la fabrication de pigments et de stabilisateurs pour matières plastiques. Il sert également à fabriquer d'autres composés de cadmium et des matériaux fluorescents (WESTER et AL, 1992).

4-1-3-Propriétés biologiques

Le cadmium n'est pas essentiel au développement des organismes, animaux ou végétaux et ne semble pas biologiquement bénéfique au métabolisme cellulaire (CHIFFOLEAU et AL,

INTRODUCTION GENERALE

1999). En revanche, ses propriétés physiques et chimiques, proches de celles du calcium, lui permettent de traverser les barrières biologiques et de s'accumuler dans les tissus.

4-1-4-Propriétés physico-chimiques

Le cadmium est un métal de transition, de numéro atomique 48. Blanc argent, légèrement bleuté, il est très malléable et ductile. Son abondance dans la lithosphère est estimée à 0,15 g/t, c'est donc un métal relativement rare. à 77,8 % de métal, associé au sulfure de zinc, sphalérite, et de plomb.

Par ses propriétés chimiques et celles de ses composés, le cadmium a beaucoup de similitude avec le zinc. Ce dernier le déplace de ses sels :



Cette propriété est exploitée dans les procédés d'élaboration du cadmium. Le cadmium a une bonne résistance à la corrosion dans les diverses atmosphères et, plus particulièrement, en milieu marin. Il est facilement oxydé à l'état II, en donnant l'ion incolore Cd^{2+} . Les bases précipitent l'hydroxyde $\text{Cd}(\text{OH})_2$, insoluble dans un excès de base. L'ion cadmium, comme l'ion mercurique, forme de nombreux complexes en solution aqueuse. (NORDBERG et AL, 1985)

4-1-5-Métabolisme

L'absorption digestive du cadmium est faible (environ 5 à 10%). Après passage de la barrière intestinale, le cadmium se trouve dans le sang ou il est rapidement distribué dans le foie et les reins et dans une moindre mesure dans le pancréas et la rate. Le cadmium est un élément toxique cumulatif dont la demi-vie biologique est très longue puisqu'elle a été estimée de 20 à 30 ans chez l'homme. Son excrétion est très lente presque exclusivement par voie urinaire. (RICOUX et AL, 2005).

4-1-6-Toxicité aigüe

Les effets aigus n'apparaissent qu'après ingestion d'au moins 10 mg de cadmium. Les symptômes observés sont des gastro-entérites avec des vomissements, des diarrhées, des myalgies et des crampes épigastriques

4-1-7-Toxicité chronique

La toxicité chronique du cadmium chez les poissons s'exprime par une perturbation du métabolisme des glucides, des chlorures plasmatiques et du potassium tissulaire, ainsi que du métabolisme calcique, se traduisant par des lésions vertébrales diminuant la capacité natatoire. Elle s'exprime aussi par des troubles nerveux (moindre résistance au stress), et une atteinte du potentiel reproducteur des poissons (diminution du taux d'éclosion des œufs, stade embryonnaire plus sensible) (**LAVOIX, 1978**).

4-2-Le plomb

Le plomb (de symbole Pb et de numéro atomique 82) est un métal gris-bleu, ductile, dense, résistant à la corrosion avec un faible pouvoir conducteur. C'est pour ses nombreuses propriétés physico-chimiques, que ce métal a été largement utilisé par l'homme depuis les Égyptiens. De nos jours, le plomb continue à être utilisé dans de nombreux processus industriels. Ceci a conduit à une augmentation significative de la concentration de ce métal dans tous les compartiments environnementaux biotiques et abiotiques. (**SHARMA et DUBEY, 2005**)



Figure 05 : le plomb (HEINRICH PNIOK, 1982)

4-2-1-Source

Le plomb est présent dans divers minéraux dont les plus importants sont la galène (PbS), la cérusite (PbCO₃) et l'anglésite (PbSO₄). Le plomb peut aussi être obtenu par raffinage de résidus contenant du plomb. Notamment des batteries mises au rebut, d'où sont extraits plomb ou alliages de plomb par des procédés pyrométallurgiques adaptés

4-2-2-Utilisation

Le plomb est un métal largement utilisé dans les batteries de voiture au plomb, sous forme de tôles plombées dans le secteur de la construction, dans le plastique PVC, dans les munitions, dans le cristal et la céramique, dans les ceintures de lest pour la plongée, dans les plombs pour la pêche, sous forme d'écran contre les radiations, etc. Auparavant, le plomb était utilisé comme pigment dans les peintures et comme antidétonant dans l'essence. Ces utilisations sont interdites dans l'Union européenne depuis les années 1990.

L'utilisation passée du plomb dans l'essence et les émissions historiques par les producteurs de métaux non-ferreux a entraîné une augmentation des concentrations de plomb dans le sol, l'eau et l'air. Le plomb étant fortement lié aux caractéristiques du sol, son absorption racinaire est très faible et la majeure partie du plomb présent dans les parties des plantes situées hors du sol provient de dépôts atmosphériques de plomb (**BRGM ; 2003**).

4-2-3-Propriétés physico-chimiques

Le plomb, du latin plumbum est un métal mou, gris, habituellement trouvé en petite quantité dans la croûte terrestre. Il n'a ni goût ni odeur caractéristique. Il appartient au groupe IV b de la classification périodique des éléments

Le plomb possède quatre isotopes naturels non radioactifs ; sa masse atomique varie, selon son minéral d'origine, de 207,19 à 207,27, la composition isotopique dépendant des apports de plomb radiogénique provenant de la désintégration de l'uranium et du thorium.

Ses caractéristiques mécaniques, son faible point de fusion qui permet de le souder aisément, sa résistance à la corrosion ont fait du plomb un matériau de tuyauterie. L'eau chargée de calcaire forme un enduit de carbonate protecteur qui a permis l'usage du plomb malgré sa toxicité. (**ASSOCIATION DUR-DUR**).

Il offre également une protection efficace contre les rayonnements électromagnétiques, notamment les rayons X et les rayons γ . Parfaitement imperméable à l'eau, il est utilisé comme gaine pour les câbles sous-marins à haute tension électrique

Tableau 01 : Caractéristiques physico-chimiques du plomb (BRGM, 2004)

Numéro atomique	82
Masse atomique	207,2 g.mol ⁻¹
Electronégativité de Pauling	1,8
Masse volumique	11,34 g.cm ⁻³ à 20°C
Température de Fusion	327 °C
Température d'ébullition	1755 °C
Rayon atomique (Van der Waals)	0,154 nm
Rayon ionique	0,132 nm (+2) ; 0,084 nm (+4)
Isotopes	4

4-2-4-Métabolisme

Le Pb peut être absorbé par l'organisme par inhalation, ingestion, contact cutané (principalement lors d'une exposition professionnelle) (MOOREAL, 1980) et par transmission à travers le placenta (ANGELL et AL, 1982). Chez l'adulte, environ 10% du Pb ingéré est absorbé par l'organisme (USEPA, 1986). Une fois dans le sang, le métal est rapidement mobilisé à plus de 95 % par les érythrocytes puis distribué dans tous les organes mous. Il s'accumule ainsi dans le foie, les reins, le cerveau, le cœur et seuls 3% environ restent dans le plasma (MOORE et AL, 1977). En absence de voie d'excrétion significative, il se dépose à raison de 90% dans les os sous la forme de phosphates insolubles où il s'insère dans le réseau cristallin de l'hydroxyapatite (Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂), le principal constituant du tissu osseux (RABINOWITZ et AL, 1976; MOORE et AL, 1977; BANY, 1978).

4-2-5-Toxicité aiguë et chronique

La toxicité du plomb dépend de sa concentration dans le milieu, de sa spéciation, des propriétés du sol, et enfin de l'espèce végétale concernée. Les plantes mettent en place diverses barrières physiques pour se protéger. Tout d'abord le mucilage sécrété au niveau de la coiffe, qui a la capacité de lier le plomb et donc de gêner son adsorption aux parois cellulaires. Mais pour pouvoir pénétrer dans la racine jusqu'au cylindre central, il doit également passer à travers la paroi cellulaire et la membrane plasmique qui possèdent de nombreux sites de fixation pour le plomb. Quand le plomb a réussi à passer à travers ces barrières de protection, il peut affecter de nombreux processus physiologiques de la plante.

INTRODUCTION GENERALE

Les premiers effets ne provoquent pas de symptômes visibles, ceux-ci ne se manifestant qu'en cas de toxicité avancée (**SEREGIN et AL., 2004 ; SHARMA et DUBEY, 2005**).

V-Propriété physique et chimique des métaux lourds

Les métaux lourds sont les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5g/cm^3 et qui possèdent un numéro atomique élevé. Ils sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles et ne sont pas biodégradables. On dit que les métaux sont présents en « quantités traces » car ils représentent 0,6 % (en masse) du total des constituants de la croûte terrestre (**BLUM, 1990**) et représentent aussi « la trace » du passé géologique et de l'activité anthropique

5-1-Propriété physique

Minéraux ont une variété de caractéristiques physiques, y compris : brillant.

La chaleur et l'électricité conduisent bien la chaleur et l'électricité.

Il a une haute densité.

Il a un point de fusion élevé.

Rétractable et malléable.

Sauf pour le mercure, qui est solide à température ambiante. (**INERIS ; 2010**)

5-2-Propriété chimique

Les minéraux contiennent une variété de caractéristiques chimiques, y compris la capacité de perdre des électrons dans l'orbite finale.

Les types d'oxydes les plus simples.

L'électronégativité n'est pas très élevée.

Excellents réducteurs (**INERIS ; 2010**)



Chapitre 02

LA Toxicité des métaux lourds sur l'environnement

I-Introduction

Les métaux sont divisés en deux groupes selon qu'ils sont nécessaires ou non à la vie. Le fer (Fe), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le nickel (Ni), le cobalt (Co), le vanadium (V), le sélénium (Se), le molybdène (Mo), le manganèse (Mn), le chrome (Cr), l'arsenic (As) et le titane (Ti) ne sont que quelques exemples d'oligo-éléments importants pour le développement des systèmes biologiques. Leurs concentrations dans les organismes doivent, dans ce cas, répondre à leurs besoins métaboliques. Un manque ou un excès de ces nutriments importants, d'autre part, peut avoir des conséquences négatives. D'autres, dont le mercure (Hg), le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et l'antimoine (As), ne sont pas nécessaires à la vie et peuvent même être dangereux (Sb). (CASAS, 2005)

La toxicité des métaux lourds est due essentiellement à :

- Leur non-dégradabilité.
- leur toxicité à faible concentration.
- Leur tendance à s'accumuler dans les organismes vivants et à se concentrer le long des chaînes trophiques (CRINE, 1993).

II-Toxicité sur l'environnement

La toxicité environnementale d'un élément métallique est déterminée par sa forme chimique. La capacité des métaux à former des complexes est l'une de leurs caractéristiques (MORGAN, ET STUMM, 1991). La disponibilité et la toxicité d'un élément sont déterminées par la concentration de ses ions libres et la concentration totale du métal ou du complexe métallique (SANDERS, 1983).

Aussi par sa forme chimique. La capacité des métaux à former des complexes est l'une de leurs caractéristiques (MORGAN, ET STUMM, 1991). La disponibilité et la toxicité d'un élément sont déterminées par la concentration de ses ions libres et la concentration totale du métal ou du complexe métallique (SANDERS, 1983).



Figure 06 :Effets des Métaux Lourds sur l'environnement (TUAYAI, 1989)

III-Effet des métaux sur l'eau

Dans l'eau, les métaux peuvent être trouvés sous forme de complexes, de particules ou de solutions. La dilution, la dispersion, la sédimentation et l'adsorption/désorption sont les principaux mécanismes qui influent sur la distribution des métaux lourds.

Certaines réactions chimiques, par contre, peuvent se produire. Ainsi, les constantes de stabilité des différents complexes, ainsi que les paramètres physico-chimiques de l'eau (pH, ions dissous et température), déterminent la spéciation selon les différentes formes solubles.

L'évolution de l'environnement des métaux est difficile à prévoir car ils peuvent subir un large éventail de transformations (oxydation, réduction, complexation, etc.), et leur évolution dépend également fortement du milieu.

Les principales sources de contamination de l'eau sont les eaux usées domestiques et industrielles, la production agricole, les polluants atmosphériques, les anciens sites d'enfouissement, l'utilisation de composés dangereux pour l'eau et la navigation.

(FISHBEIN,1981)

IV-Effet des métaux sur l'air

Les principales sources de métaux dans l'air sont des sources fixes. De nombreux éléments se trouvent à l'état de traces dans des particules atmosphériques provenant de combustions à haute température, de fusions métallurgiques, des incinérateurs municipaux, des véhicules, etc. les effets biologiques, physiques et chimiques de ces particules sont fonction de la taille des particules, de leur concentration et de leur composition, le paramètre le plus effectif sur l'environnement étant la taille de ces particules. Dans l'air ambiant, on trouve de nombreux

éléments, comme le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre, etc., dont la concentration est d'autant plus élevée que les particules sont fines (MITCHELL, WILD ET JONES, 1992)



Figure 07 : effet des métaux sur l'aire (MITCHELL, 1992)

V-Effet des métaux sur le sol

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. 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 et JUSTE ,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 et PENDIAS, 1992). Le pH joue également un rôle, lors du chaulage, le pH augmente et réduit la mobilité des métaux lourds.



Figure 08 : effet des métaux sur le sol (JUSTE ,1999)

5-1-Répartition des métaux lourds dans les sols

L'étude de la répartition d'un élément trace métallique entre les composants solides s'appelle la spéciation appréhendée par une technique qui porte le nom « d'extraction séquentielle ». La variable déterminante de cette répartition est le degré de solubilité du métal.

- si le métal est soluble, il va passer dans les nappes ou dans la plante
- s'il est insoluble, il va rester dans le sol.

La solubilité va dépendre de plusieurs facteurs, le plus important est l'acidité du sol.

Un sol acide facilite la mobilisation. Les métaux lourds ne s'accumulent pas. Ils sont transférés vers les nappes phréatiques et les fleuves ou absorbés par les plantes et présentent alors un risque pour la santé.

Un sol calcaire contribue à l'immobilisation de certains métaux (certains éléments réagissent différemment, notamment l'arsenic, plus mobile dans un sol calcaire). (ARRIS, 2008).

VI-Facteurs modifiant la mobilité des éléments métalliques

6-1-Le pH

Le pH constitue un facteur dont le rôle est crucial pour la mobilité des ions métalliques, car il influence le nombre de charges négatives pouvant être mises en solution (McLaughlin, et al, 2000). Les protons proviennent majoritairement de la respiration végétale et microbienne, ainsi que de l'oxydation des sulfures. A l'inverse, ils sont consommés par l'hydrolyse des minéraux altérables. D'une façon générale, lorsque le pH augmente, les cations sont moins solubles et les anions sont plus solubles (Blanchard, 2000).

6-2-Le potentiel redox

La modification du degré d'oxydation des ligands ou des éléments se liant avec le métal influence indirectement la solubilité des métaux lourds. En conditions réductrices, les sulfates sont réduits en sulfures qui piègent volontiers les éléments chalcophiles tels que Fe, Zn, Pb, Cd (DENEUX ET AL, 2003). D'autre part, la dissolution des (hydro)oxydes est favorisée entraînant de manière opposée la solubilisation des métaux associés (CHAIGNON, 2001).

6-3-L'activité biologique

Parmi les microorganismes on retrouve de nombreuses populations bactériennes et fongiques dont les activités métaboliques influencent la mobilité des métaux lourds.

Cependant, beaucoup de ces phénomènes sont également communs aux plantes. Les principaux phénomènes d'action sur la mobilité des polluants métalliques sont la solubilisation, l'insolubilisation et la volatilisation :

La solubilisation provient de la production de composés acides tels que les acides carboxyliques, phénoliques, aliphatiques, nitrique et sulfurique. Certaines bactéries chimiolithotrophes (*Thiobacillus*, *Leptospirillum*, *Galionella*) oxydent les formes réduites du fer et du soufre contenues dans les sulfures et produisent de l'acide sulfurique, susceptible de dissoudre les silicates, les phosphates, les oxydes et les sulfures, libérant ainsi les métaux lourds contenus. Les champignons et les racines des plantes excrètent eux aussi des acides afin d'augmenter leur absorption de nutriments, ou tout simplement comme déchets métaboliques (FOY ET AL, 1978 ; CHAIGNON, 2001 ; DENEUX ET AL, 2003)

L'in solubilisation constitue le phénomène opposé. Bien que le phénomène de détoxification externe des métaux lourds par des exsudats racinaires n'ait jamais été démontré (Baker & Walker, 1990), certains acides organiques de faible masse moléculaire, comme les acides oxalique, citrique ou fumarique qui interviennent dans la complexation intracellulaire d'éléments nutritifs, peuvent être sécrétés dans le milieu extérieur. Ils limiteraient ainsi les transferts par des processus de complexation.

La volatilisation repose sur l'action directe de certains microorganismes sur le degré d'oxydation de l'espèce métallique. C'est le cas du mercure, de l'arsenic et du sélénium (Se). La bio méthylation permet le transfert de groupements méthyl directement aux atomes, Pb, Sn (étain), As, Sb (antimoine) et Se, permettant leur volatilisation dans l'atmosphère.

6-4-La température

La température du sol dépend en premier lieu de la météorologie, et donc du climat, mais elle est également liée à l'activité biologique et influence rétroactivement la formation de complexes avec des ligands inorganiques, en modifiant l'activité de l'élément en solution (DENEUXMUSTIN et al, 2003). La température a un impact direct sur la mobilité des éléments métalliques en déplaçant les équilibres des réactions de dissolution - précipitation et co-précipitation, et un impact indirect, en modifiant la teneur en eau du sol, le pH.

VII-Métabolisme des métaux dans les plantes

La voie principale d'absorption des métaux se fait par simple diffusion au travers de l'apoplaste du cortex racinaire et de l'endoderme (voie apoplastique). Le transport des éléments métalliques à travers la paroi cellulaire se fait passivement (non métabolique et donc dans le sens du gradient de concentration) par les pores du réseau de la cellulose, de l'hémicellulose et des glycoprotéines. Cependant, une partie des ions peut être adsorbés par les charges négatives de surface de l'acide polygalacturonique des pectines, qui agissent comme des échangeurs d'ions (**BRIAT ET LEBRUN, 1999**). Puis au niveau de l'endoderme, le transport peut devenir actif au niveau de la membrane plasmique des cellules de la bande de Caspary (voie symplastique), autorisant cette fois un transfert contre le gradient de concentration. Cependant, les mécanismes exacts de l'absorption sont encore mal connus, en particulier pour certains éléments comme le Cu (**GREGER, 1999 ; CHAIGNON, 2001**), et diffèrent selon l'espèce métallique. On considère de nos jours que le plomb et le nickel sont absorbés passivement via certaines protéines de type porine, alors que le zinc et le cuivre sont absorbés activement par une protéine de transport sélective, nécessitant de l'énergie (**KABATA AND PENDIAS, 2001**).

Après leur absorption Chez certaines espèces la translocation d'éléments toxiques est plus importante que chez d'autres, pouvant conduire à une accumulation des métaux dans les feuilles et les autres parties aériennes, sans que l'on sache avec rigueur si elle est due à un transport plus actif ou une absence d'immobilisation dans les racines (**FOY et al, 1978**). Dans le cytoplasme sont pris en charge par diverses molécules afin de les stocker ou d'éviter tout dommage cellulaire.



Chapitre 03

La Toxicité des métaux lourds sur l'être vivant

I-Introduction

Certain métaux Lourdes sont naturellement présents, peuvent passer jusqu'à un an dans l'atmosphère, puis s'accumuler dans les sédiments des fonds du lac ou se transformer en dérivés organiques plus dangereux, et causer une intoxication mortelle en cas d'inhalation, ainsi que des blessures lors de l'absorption par la peau. En raison de leurs effets cumulatifs, il n'y a pas de niveau sécuritaire en dessous du quel ils ne causeront pas de préjudice. La toxicité aiguë et la toxicité chronique sont deux types distincts de toxicité **(LALLOGGO,1992)**

II-Toxicité sur l'organisme :

En fait, le risque sur la santé humaine est d'abord associé aux propriétés des métaux lourds à polluer les eaux, l'atmosphère, les aliments et les sols. Et dépendent également de l'état chimique de leur forme chimique, de leur concentration, du contexte environnemental, de la possibilité de passage dans la chaîne du vivant. 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)**.

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

Les métaux lourds peuvent s'accumuler au sein de l'organisme et donc perturber son organisation interne. Certains d'entre eux ont des effets tératogènes et d'autres peuvent entraîner des troubles de la fécondité. Comme nous le voyons donc, chaque fonction fondamentale et vitale de l'homme est mise en danger par la présence des métaux lourds dans son environnement **(FISHBEIN 1981)**

2-1-Intoxication aigüe:

Des cas d'intoxication aigüe sont associés à l'ingestion volontaire ou accidentelle de ces métaux. Des hématuries, des dermatites allergiques et des douleurs abdominales ont été observées (INERIS, 2010).

En cas d'intoxication aigüe, des symptômes apparaissent au niveau du système nerveux central et une encéphalopathie qui conduit au coma, parfois avec convulsions (CÉZARD ET HAGUENOER, 1992).

2-2-Intoxication chronique:

La toxicité chronique des métaux lourds se manifeste par plusieurs symptômes sur plusieurs semaines, notamment l'ennui, l'irritabilité, la difficulté à maintenir l'attention, les maux de tête et la perte de mémoire, puis commence des effets chroniques tels que l'anémie hypochrome qui résulte de l'inhibition de la synthèse de l'hème et de la diminution de la durée de vie des globules rouges (DIAMOND, 2005).

Troubles respiratoires à la suite d'une exposition aux métaux par inhalation, ce qui entraîne une rhinite, une bronchite, un emphysème et une altération de l'odorat (CORTONA ET ALL, 1992).

Des études indiquent que l'exposition aux métaux lourds provoque une diminution de la production de sperme et donc le risque d'altération de la fertilité (ALEXANDER, 1996).

Tableau 02 : Effets de certains métaux lourds sur la santé GALSOMIES 1999

Métaux	Effet sur la santé
Cadmium	<p>Potentiel toxique élevé ;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages rénaux pour des expositions chroniques à faible dose ; • Oxydes, chlorures, sulfates et le cadmium sont classés cancérigènes
Cuivre	<ul style="list-style-type: none"> • Effet irritant par inhalation, allergie par contact ; • Lésion du foie par voie orale sur période longue

<p>Mercure</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tous les composés du mercure sont toxiques à de faibles doses ; • Cerveau et rein touchés ; • Intoxication chronique responsable de dommages irréversibles sur le système nerveux central et périphérique ; • Sous la forme organique peut perturber le développement du fœtus
<p>Nickel</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 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
<p>Plomb</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Entraîne l'anémie forte dose ; • Perturbe le système nerveux et les reins ; • Effet mutagène de l'acétate et du phosphate de plomb (expérience animale)
<p>Zinc</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'effet cancérigène du zinc par voie orale ou par inhalation ; • Mais, le chromate de zinc est cancérigène

III-Les Maladies liées aux métaux lourds:

Les métaux lourds ont des effets toxiques qui entraînent plusieurs maladies au niveau du corps. Tels que la raideur musculaire et l'irritation des muqueuses (KHADDEM,2005). Anémie et perturbation métabolique par compétition avec les ions (CASAS, 2005). L'exposition à de fortes doses de ces minéraux peut également provoquer une cirrhose, une insuffisance rénale ; et les cancers (CASAS, 2005).

3-1-Réaction allergique (recherche Google)

La dermatite de contact est le symptôme le plus commun de l'allergie aux métaux (une irritation cutanée qui peut ressembler à de l'eczéma). Lorsque la peau réagit de manière significative à des composants particuliers, cette réaction se produit. La rougeur localisée, l'irritation, l'inflammation et l'inconfort sont les symptômes les plus courants. Lorsque la peau est exposée au métal allergène pendant une période prolongée, elle peut s'assombrir,

s'épaissir et/ou se fissurer à certains endroits. Les symptômes d'allergie aux métaux peuvent varier de mineurs à graves. La plupart du temps.



Figure 09 : allergie aux métaux (ANIAOSTUDIO, 1995)

3-2-Réaction locale (recherche Google)

La dermatite septique survient habituellement dans les zones du corps qui ont été directement exposées à la substance réactive, comme la friction s'étirant le long du mollet du lierre vénéneux ou la friction cutanée sous la barre d'horloge. Les éruptions cutanées surviennent habituellement quelques minutes ou quelques heures après l'exposition et peuvent durer de deux à quatre semaines



Figure 10 : réaction locale aux métaux (PHAWAT KHOMMAI,1994)

3-3-La toxicité sur les plantes

Pour de nombreuses plantes ; des concentrations excessives en métaux entraînent des désordres métaboliques comme le remplacement des ions essentiels par des ions non essentiels; la concurrence pour les emplacements entre les ions métalliques et les métabolites essentiels ; des modifications de la perméabilité des cellules membranaires etc.

Les effets visibles de la toxicité varient selon les espèces ; mais les symptômes les plus communs sont les points chlorotiques ou bruns sur les feuilles ; les racines brunes et abimées ;

Chapitre 03

La Toxicité des métaux lourds sur l'être vivant

la nécrose et la diminution significative des rendements de récolte. D'autres effets moins visibles ; comme par exemple l'inhibition racinaire ; la réduction de la photosynthèse etc.

(PENDIAS, 2001)

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude nous a permis d'accéder à une connaissance détaillée de la grande dangerosité des métaux lourds et de leur effet toxique sur l'organisme vivant. au début, nous avons appris à connaître ces minéraux et abordé leurs propriétés physique et chimique et leur diverses utilisation ; ensuite, nous avons discuté en détail de sa toxicité pour l'homme en particulier car leur accumulation à l'intérieur de son organisme perturbe son organisation interne et lui cause de nombreuses maladies, dont certaines sont cancérigènes, Il peut également conduire à sa mort

puis nous avons appris son impact dangereux sur l'environnement en général Ça existe naturellement dans l'environnement et sont utilisés industriellement. Cependant, à des concentrations plus élevées que la normale, ils peuvent entraîner des nuisances plus ou moins graves pour l'être humain, la faune et la flore



RéféRence bibl iographie

Référence bibliographique

A

ARRIS S., 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

AFNOR ,1988. Prélèvement et dosage du plomb dans les aérosols. Paris-La Défense, sept 1988

ATSDR (1994) - Toxicological profiles Zinc. US Department of Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta, Georgia, USA

KABATA-PENDIAS, H. PENDIAS.1992, Trace elements in soils and plants.London (UK) CRC (1992) Press, 2nd Ed.

ADRIANO, 1986 ; FERGUSON, 1980. Trace elements in the environment. Springer Verlag, New York

ANIAOSTUDIO ,1995 toxicité des métaux précieux ;argent
,platine ;palladium ;encyclopédie médico-chirurgicale 16-003-M-60

B

Benedetto M ; 1997(méthodes spectrométrie d'analyses et de caractérisation. Exp. Bot.18(2-3):5-8.

Bentata, K. (2015). Evaluation de la contamination métallique par trois métaux (Cd, Ni et Zn) du rouget de vase *Mullus barbatus* (L, 1758) pêché au niveau de la côte occidentale algérienne. Thèse de magister, université d'Oran, 122 p.

Batchelor et al., 1926 ; Hamdi, 1969

BRGM ,2003 ; Guide méthodologique du plomb appliqué à la gestion des sites et des sols pollués). BRGM MEDD/DPPR-BRGM CV 0300001

BRGM, 2004. Guide méthodologique du plomb appliqué à la gestion des sites et des sols pollués). BRGM MEDD/DPPR-BRGM CV 0300001.

Blum, 1990 Pollution des sols par métaux lourds. Sixième conférence ministérielle européenne sur l'environnement. Bruxelles.

Baker A.J.M. and 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.

Blanchard, C., 2000. Caractérisation de la mobilisation potentielle des polluants inorganiques dans les sols pollués. Thèse : Ecole Doctorale de Chimie de Lyon

Baker, A.J.M., Walker, P.L., 1990. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. In: Shaw, J. (Ed.). Heavy Metal Tolerance in plants: Evolutionary aspects. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 155-178.

Référence bibliographique

BURNOL ET AL., 2006 recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les eaux souterraines. Rapport final, BRGM/RP-52910 –FR, 73 pp

C

Chiffolleau, J.F. (2004). La contamination métallique. Ifremer.39

Chuttani et al., 1965 Acute copper sulphate poisoning. American Journal of Medicine, 39, 849

Casas., 2005. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat : Océanologie biologique, Environnement marin, 314p.

Crine M, Le traitement des eaux industrielles chargées en métaux lourds. Turbune de l'eau, N° 561 (1993) 3-19.

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.

COUSINS, 1985 Absorption, transport, and hepatic metabolism of copper and zinc: Special reference to metallothionein and ceruloplasmin. *Physiological Reviews*, 65, 238-309.

CÉZARD ET HAGUENOER ,1992 Toxicologie du plomb chez l'homme. Technique et Documentation Paris 1992,348 pages

CORTONA ET ALL, 1992 Occupational exposure to cadmium and lung function. *IARC SciPubl.* 1992;118:205–210

D

D. WEISS et coll., 1999 Direction de la pêche et des ressources halieutique de Bejaïa

D.J.MITCHELL, S.R.WILD ET K.C JONES.1992, Arrested municipal solid waste incinerator fly ash as a source of heavy metals to the UK environment (1992).

Deneux-Mustin, S., Roussel-Debet, S., Mustin, C., Henner, P., Munier-Lamy, C., Colle, C., Berthelin, J., Garnier-Laplace, J., Leyval, C., 2003. Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces : influence des micro-organismes du sol. *TEC & DOC*, Paris.

DAVISON, 1988 Approximate Conditional Inference in Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society*, 50, 445-461.

E

El Hraiki, 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 : 49-56.

Référence bibliographique

ELMSLEY, 2001 Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements. New York: Oxford University Press. pp. 422-425.

F

Foy, C.D., Chaney, R.L., White, M.C., 1978.The Physiology of metal toxicity in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 29, 511-566.

FACTORY TH,1991, le cuivre , in :toxicologie clinique ,et de ses composés,biologie,lavoisier,1991 ,228-233

G

Gordon et al. 1981,Pulmonary effects of inhaled zinc oxide in human subjects, guinea pigs, rats, and rabbits. AmIndHygAssoc J, 53, 8, 503-509

Greger J.L. and Sickles V.S. (1979) - Saliva zinc levels: potential indicators of zinc status. Am J ClinNutr, 32, 9, 1859-1866

Gbèssohèlè Justin BEHANZIN, Euloge S. ADJOU, AbdouGaniou YESSOUFOU, Edwige DAHOUEON AHOUSI, Alphonse SEZAN. 2014. Effet des sels de métaux lourds (chlorure de Cobalt et chlorure de Mercure) sur l'activité des hépatocytes. Journal of Applied Biosciences 83:7499– 7505.

GALSOMIES L. 1999, Retombées atmosphériques des métaux en France : estimation par dosage dans les mousses ; ADEME édition (1999).

H

Henkin, 1974 Henkin, J. Donald Monk, and Alfred Tarski, 1971- . - Proceedings of the Tarski symposium : an international symposium held to honor Alfred Tarski on the occasion of his seventieth birthday / ed. by Leon Henkin [et al.], 1974

Hamdi E.A. (1969) - Chronic exposure to zinc of furnace operators in a brass foundry. Br J Ind Med, 26, 2, 126-134

Hjortso et al., 1988- ARDS after accidental inhalation of zinc chloride smoke. Intensive Care Med, 14, 1, 17-24.

Heydon et Kagan, 1990 ; Gordon et al., 1992Metal fume fever [letter]. N Z Med J, 103, 883, 52.

Hoffman et al., 1988- Zinc-induced copper deficiency. Gastroenterology, 94, 2, 508-512.

Huot et Tarallo,1991Le Cuivre dans les oligoéléments en médecine et en biologie. Editions médicales internationales. 459-470 p.

Hopper et Adams, 1958 ;Semple et al., 1960Acute copper poisoning: An outbreak traced to contaminated water from a corroder geysir. Lancet, 2, 700-701.

Référence bibliographique

HEINRICH PNIOK , 1993. Cadmium-109 metabolism in mice IV Diet versus maternal stores as a source of cadmium transfer to mouse fetuses and pups during gestation and lactation. *J ToxEnvirHealth.*, 40(4), 531-46.

HEINRICH PNIOK,1982 ,Toxicité du plomb et de ses dérivés. EMC – Pathologie professionnelle et de l'environnement. 2015 ; 0(0) : 1-13.

I

INERIS,2005 . Données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : zinc et dérivés, DRC-01-25590-00DF259

INERIS, 2010. Données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : mercure et dérivés, DRC-10-109974-00926A, 120 p.

J

JaapStéketee, 2010, Fondation Développement et transfert de connaissances sur le sol. P 6.

J.BERTHELIN.PAUL-HENRI BOURRELIER ; 1998)Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion. CR AccSci, 42. Ed. Lavoisier, Paris.

K

Krupka. KM.(1999).Understanding variation in partition coefficient, kd, Values.Environmental protection Agency

KABATA-PENDIAS A., et PENDIAS H., 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd CRC

Klassen C.D., Watkins J.B., 2003. Essentials of toxicology Casarett and Doull's.USA :The McGraw-Hill Companies.

PENDIAS, H. PENDIAS,1992.Trace elements in soils and plants. London (UK) CRC (1992) Press, 2nd Ed.

L

Lane et al., 2015 Cadmium exposure and consequence for the health and productivity of farmed ruminants. *Research in Veterinary Science* 101, 132139.

Lavoix M.P., 1978. Contribution à l'étude écotoxicologique du cadmium. Thèse pour le Doctorat Vétérinaire. Toulouse, 69 p.

L. FISHBEIN. Sources, transports and alterations of metal compounds: an overview. I. arsenic, beryllium, cadmium, chromium and nickel (1981).

Loué A., 1993. Oligo-éléments en agriculture. Ed. Nathan (ed), 45-177. Kanaeva I.P, Kariakin A.B, Alénitchéva T.B., 1975. Respiration et phosphorylation oxydative dans les cellules de foie isolées. *Cytologie*, 17(5): 545-551

Référence bibliographique

Lalogo, H. 1992. Concentration de certains métaux d'importance médicale dans les poissons: cas des poissons de la lagune de Lomé. Mémoire de Technicien Supérieur en Génie Sanitaire (EAM), UL, 36 p

M

Miquel MG, 2001. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la sante, rapport de l'office parlementaire des choix scientifiques (Sénat).

Mueller et Seger, 1985 «Metal fume fever : a review», *Journal of Emergency Medicine*, 2, 4, 1985, 271-274

Moore, 1978 ; Samman et Roberts, 1987 Bleeding gastric erosion after oral zinc sulphate. *Br Med J*, 1, 6115, 754.

Mc Ardle, 1995- The metabolism of copper during pregnancy - a review. *Food Chem*, 54, 79- 84.

McLaughlin, M.J., Zarcinas, B.A., Stevens, D.P., Cook, N., 2000. Soil testing for heavy metals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31 (11-14), 1661-1700.

MORGAN J. J. ET STUMM, 1991 *Chemical process in the environnement*, Edit Merian E, VCH, Weinheim, Germany, (1991) 67-103.

N

NIOSH, 1975 Registry of toxic effect of chemical substances. National Institute for Occupational Health. Cincinnati. Chem-bank.

Nordberg et al., 1985 "Cadmium and Health. A Toxicological and Epidemiological Appraisal. Vol. I," CRC Press, Boca Raton, 1985, pp. 103-178.

O

OMS IPCS., (1998). Environmental Health Criteria n°200: copper. World Health World Health Organisation International Programme on chemical Safety..

P

PENDIAS, H. PENDIAS. (1992) Trace elements in soils and plants. London (UK) CRC (1992) Press, 2nd Ed.

PHAWAT KHOMMAI ,1994 réaction locale contacte dermatitis from les 1973 ;13 ; 352

R

R. prunet, D. Bourdin D. Prevotau, (1996). Structure de la matiere, Chimie inorganique. Sciences et technologies de laboratoire. Edition..

Référence bibliographique

Ricoux C., Gasztowtt B., 2005. Evaluation des risques sanitaires liés à l'exposition de forts consommateurs de produits de la pêche de rivières contaminées par des toxiques de l'environnement. In VS, 124p

Rabinowitz et al., 1976; Moore et al., 1977; Bany, 1978

ROBERT N, JUSTE C., (1999) 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.

RASKIN ET AL., 1994 Bioconcentration of heavy metals by plants. Current Opinion in Biotechnology 5: 285–290

RASIEL SUAREZ, 1981 Zinc metabolism: basic, clinical, and behavioral aspects. J Pediatr, 99, 3, 341-349.

S

Spencer et al., 1976 in Evenhuis, N. L., & Pape, T. (2021). SystemaDipterorum. In O. Bánki, Y. Roskov, M. Döring, G. Ower, L. Vandepitte, D

Samman and Roberts, 1987 Information from animal studies has demonstrated the harmful effects of zinc supplementation on copper transport

Sharma P., Dubey RS., 2005. Lead toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology 17(1): 35-52

Seregin et al, 2004 ; Sharma et Dubey, 2005

T

Takeda et al., 2000 determination of trace metals and the lead isotope ratio in rain and snow depositions collected in Higashi-Hiroshima, Japan. Atm. Environ., 34, 4525-4535.

TUAYAI, 1989 global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. Nature, vol. 338, 2 March 1989

W

Wastney et al., 1986 Identification of Five Sites of Regulation of Human Zn Metabolism. In: Hurley, L.S., Keen, C.L., Lönnerdal, B., Rucker, R.B. (eds) Trace Elements in Man and Animals 6. Springer, Boston, MA

Walsh et al.,

1994 C.M. Walsh, M. Matloubian, C. Liu, R. Ueda, C.G. Kurahara, J.L. Christensen, M.T.F. Huang, J.D. young, R. Ahmed, W.R. Clark

Référence bibliographique

Z

Zorrig, 2010 Identification of three relationships linking cadmium accumulation to cadmium tolerance and zinc and citrate accumulation in lettuce. J Plant Physiol 167: 1239124

Les site internet

- 1- <https://www.mayoclinic.org/ar/diseases-conditions/contact-dermatitis/symptoms-causes/syc-20352742>
- 2- <http://wiki.scienceamusante.net/index>

Référence bibliographique