

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira - Bejaia
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques de l'Environnement



En vue d'obtention du diplôme
Master en Environnement et Santé Publique

Impact du trafic routier sur la santé et l'environnement (INRAA-Oued Ghir)

Membres du jury :

Président : M^r M.L. MOUSLI

Promoteur : M^r EH. BALA

Co-promoteur : M^r A. Allouache

Examineur : M^r F. BEKDOUCH

Examineur : M^{elle} K. KOUACHI

Invité : M^r N. RAMDANI

Préparé par :

M^{elle} AYAD Tiziri

M^{elle} HATOU Hanane

Session Septembre 2013

Nous remercions en premier lieu notre promoteur Docteur Bala El Hacem pour son suivi et ses conseils prodigués tout au long de notre travail, ainsi que notre Co- promoteur Docteur Allouache Athman.

Nous voudrions ensuite remercier les membres de jury qui ont accepté d'examiner et de juger notre travail.

Il nous est agréable d'exprimer toutes nos reconnaissances et nos remerciements au directeur du Centre National de Textile et du Cuire de Boumerdes Monsieur Chabouni et son épouse pour nous avoir aidé à effectués les dosages en Spectrophotomètre d'Absorbtion Atomique.

Nous remercions s'adresse aussi au directeur de l'INRAA monsieur Tarikt Ahmed Azine.

Nous tenons également à remercier le responsable de laboratoire de biologie des sols Monsieur Ramdani Nacer.

Nous sommes très reconnaissantes et nous exprimons nos remerciements au responsable de laboratoire de chimie Mademoiselle Kouachi Kahina pour son aide si précieuse.

Nous remercions également le personnel du laboratoire de minéralogie de Génie des procédés.

Par le biais de ce mémoire, nous souhaitons enfin exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui, de près et de loin, nous ont aidées et accompagnées dans notre travail.

Dédicaces

- *Je dédie ce mémoire à mes très chers parents qui se sont sacrifiés pour que je puisse terminer mes études et réussir ma vie professionnelle, que dieu me les garde et les protège.*
- *A ma chère sœur Lydia ;*
- *A mon meilleur ami A.Ghani*
- *A mes amis Lila, Célia, Sara, Lisa, Sophie, Aissa, Nadir et Moumen*
- *A mes amies et collègues Aida, Amel, Fatima, Miassa, Samira ;*
- *A mon amie et collègue de travail Hanane et à toute sa famille ;*
- *A ma tante madame Hebbadj, son mari et ses enfants Lisa, Nassim et Rima ;*
- *A toute ma famille.*

AYAD Tiziri

Dédicaces

- *Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de bonheur et de persévérance, que dieu les garde et les protège.*
- *A ma chère petite sœur Imene ;*
- *A mon aimable frère Hani*
- *A ma chère sœur Narimène et son mari A. Wahid et leur adorable fils M. Saad ;*
- *A mon tres chers frère Sofiane et son fils Sohib*
- *A mon fiancé Chérif*
- *A mon beau père monsieur Khaled et toute sa famille*
- *A mon amie et collègue de travaille Tiziri et à toute sa famille ;*
- *A mes amies Lamia et Drifa*
- *mes amies et collègues Aida,Amel, Fatima, Miassa, Samira ;*
- *A toute ma famille.*

HATOU Hanane

Sommaire

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction	1
Chapitre I : Généralité sur les métaux lourds	3
Les métaux lourds	3
I- Définition des métaux lourds	5
I.1- Origine des métaux lourds	6
a- Origine naturelle	6
b- origine anthropique	6
II- Définitions d'un sol pollué ou contaminé	6
III- Le sol et ses constituants	6
III.1- Composition physique du sol	7
III.2- Les constituants minéraux	7
III.3- La matière organique	8
IV- Comportement des métaux lourds dans le sol	8
IV.1- Mobilité et biodisponibilité des métaux lourds	8
IV.2- Persistance et accumulation	10
V- Le transfert sol- plante des métaux lourds	10
V.1- Le transfert sol-plante	10
V.2- Définition de la phytodisponibilité des métaux lourds	10
V.3 Les plantes exclusives, accumulatrices et indicatrices	11
VI- Toxicité des métaux lourds	12
VII- Impact sur l'environnement et la santé	14
VII.1- Impact sur l'environnement	15
VII.2- Impact sur la santé	16
Chapitre II : Pollution des sols à proximité des axes routiers	18
I- Les éléments considérés lors de l'étude et leurs particularités	19
I.1- Le plomb	19
I.2- Le cadmium	20
I.3- Le zinc	20

II.1- Le devenir des métaux lourds dans l'organisme (Pb, Cd, Zn) et leurs effets	21
II.1- Devenir du Plomb dans l'organisme	21
II.1.1- Les principaux effets toxiques du plomb sur l'homme	21
II.2- Devenir du Cadmium dans l'organisme.....	22
II.2.1- Les principaux effets toxiques du Cadmium sur l'homme	23
II.3- Devenir du Zinc dans l'organisme	23
II.3.1- Les principaux effets toxiques du Zinc sur l'homme.....	23
Partie pratique	
Chapitre III : Méthodologie	
I- Données essentielles du territoire d'étude	25
I.1- Présentation de la zone d'étude	25
II- Les éléments étudiés	26
II.1- sol	26
II.2- Le végétal	26
III- Matériels et protocoles expérimentaux.....	27
III.1- Le sol	27
III.1.1- Echantillonnage	27
III.1.1.1- Préparation des échantillons	27
III.1.1.2- Détermination de la teneur totale des ETM-Extraction totale.....	29
1- Principe	29
2- Analyse des éléments mis en solution par attaque à l'eau régale.....	29
III.2- Le citron	29
III.2.1- Echantillonnage	29
III.2.2- Minéralisation, mise en solution.....	30
1- Principe	30
2- Mise en solution des cendres.....	30
IV- Analyses des métaux lourds	32
V.1- Dosage	32
V.2- Appareillages	32
Chapitre 4 : Résultats et discussion	
I- Teneurs des métaux lourds dans les sols et le citron prélevés dans les deux sites expérimental et témoin	34
I.1- Site I (Site expérimental)	34
I.1.1- Présentation des résultats par l'histogramme	34

I.2- Site II (Site témoin)	35
I.2.1- Présentation des résultats par l’histogramme	35
II- Comparaison des concentrations des métaux lourds pour les éléments (expérimentaux et témoin)	36
II.1- le sol	36
II.1.1- Présentation des résultats par l’histogramme	36
II.2- Le citron	37
2.1- Présentation des résultats par l’histogramme	37
Conclusion et recommandations	39

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Récapitulatif de différents polluants liés au trafic routiers et leurs effets sur la santé.

Tableau I.2 : Teneurs normales en métaux lourds dans les plantes.

Tableau I.3 : Teneurs critique en métaux lourds dans les plantes.

Tableau I.4 : Classification de quelques métaux lourds selon leur densité et leur toxicité.

Tableau I.5 : Temps de demi-vie biologique de quelques éléments.

Tableau I.6 : Toxicité des principaux métaux lourds.

Tableau II.1 : Principales sources d'ETM engendrées par les véhicules.

Tableau IV.1 : Concentration en mg/l du Pb, Cd et Zn dans le sol et le citron du Site I.

Tableau IV.2 : Concentration en mg/l du Pb, Cd et Zn dans le sol et le citron du Site I.

Tableau IV.3 : Concentration en mg/l du Pb, Cd et Zn dans le sol des deux Site (Site I et Site II).

Tableau IV.4 : Concentration en mg/l du Pb, Cd et Zn dans le citron des deux Site (Site I et Site II).

Liste des figures

Figure I.1 : Fonction de quelques éléments dans l'organisme.

Figure I.2 : Structure d'un sol

Figure I.3 : Le cheminement des métaux lourds dans l'environnement

Figure II.1 : Schéma globale des expositions

Figure III.1 : Image satellitaire de la zone d'étude

Figure III.2 : Opération de quartage.

Figure III.3: Spectrophotomètre atomique absorption à flamme

Figure III.4: Principe de la SAA

Figure IV.1: Teneurs du Pb, Cd et Zn dans le sol et le citron du site I

Figure IV.2 : Teneurs du Pb, Cd et Zn dans le sol et le citron du site II

Figure IV.3 : Teneurs du Pb, Cd et Zn dans le sol des deux sites (site I et site II)

Figure IV.4: Teneurs du Pb, Cd et Zn dans le citron des deux sites (site I et site II)

Liste des abréviations

Ag: Argent

Al: Aluminium

As: Arsenic

Cd: Cadmium

Co: Cobalt

CO: Monoxyde de carbone

COV : Composé organique volatile

Cr : Chrome

Cu : Cuivre

ETM : Élément Traces Métallique

Fe : Fer

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

HCl : Acide Chlorhydrique

HNO₃ : Acide Nitrique

Hg: Mercure

IARC: International Agency for Research on Cancer

INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algerie

Kg : Kilogramme

Mg : Milligramme

MS : Matière sèche

NaCl : Chlorure de sodium

NO : Monoxyde d'azote

NO_x : Oxydes d'azote

Ni : Nickel

O₃ : Ozone

Pb : Plomb

SAA : Spectrophotomètre d'Absorption Atomique

Si : Silicium

SO : Oxyde de soufre

V : Vanadium

Zn : Zinc

Ø : Diamètre

Introduction

La densité du trafic routier accroît l'émission globale des polluants atmosphériques. Ces polluants ont un impact sur l'environnement : les transports routiers polluent l'atmosphère, l'eau et la terre près des routes principales via les retombées atmosphériques.

Les polluants de la circulation routière incluent des métaux toxiques, tels que le plomb, cadmium, et le zinc représentent un risque important de santé publique en raison des pathologies variées qu'elles peuvent engendrer. Plusieurs études ont démontré la contamination par ces éléments, à proximité de la route principale. En 1994, 28 390 tonnes de plomb ont été émis dans l'atmosphère, avec une contribution des transports routiers de 70%.

La contamination métallique des sols, suite aux retombées atmosphériques peuvent entraîner des problèmes d'ordre écologique et sanitaire (El Morhit *et al*, 2008).

Les métaux lourds tels que le plomb, le cadmium et le zinc ne peuvent pas être biodégradés et donc persistent dans l'environnement pendant de longues périodes. L'accumulation des métaux lourds dans l'environnement peut se répercuter sur la santé des êtres humains et des animaux (Wang *et al*, 2003)

Parmi les éléments métalliques cités, certains sont des oligo-éléments comme le Zn, mais devient toxiques à fortes concentrations. D'autres comme le Pb ou le Cd sont toxiques dès l'état de trace. Leur accumulation et leur transfert constituent donc un risque pour la santé humaine via la contamination de la chaîne alimentaire, mais aussi pour le milieu naturel dans son ensemble (Blum *et al*, 1997).

Ainsi, nous proposons dans ce présent travail d'évaluer d'une part la contamination ou le risque de contamination métallique par les éléments traces métalliques (ETM) (Pb, Cd et Zn) dans le sol et sur le fruit d'un citronnier situé dans l'axe routier de la commune de Oued-Ghir vers El Kseur de la route nationale N°12 dans la wilaya de Béjaia. En se référant aux analyses des échantillons effectuées sur deux sites, l'un est éloigné sur une distance de 500 m par rapport à l'axe routier, l'autre situé sur une distance de 50 m :

- D'une part, pour mieux comprendre la sensibilité des sols aux dépôts des polluants métalliques, et d'autre part de mettre en évidence le rôle de la végétation dans l'interception, la distribution et l'accumulation des métaux lourds.

-
- le choix motivé de cette étude à notre connaissance en Algérie, seuls les environnements industriels (aquatiques et atmosphériques) ont fait l'objet de fréquentes études. En revanche le comportement des métaux dans les sols et les végétations, ont été très peu étudiés.

Le but de cette étude est donc de déterminer la teneur des trois métaux lourds (Pb, Cd et Zn) dans les sols et les plantes de deux sites (Expérimental et Témoin) en fonction de la distance (ou de proximité) par rapport à un axe routier par l'extraction simple et le dosage des métaux lourds par la méthode SAA.

De cet objectif se dégagent deux hypothèses que nous allons vérifier par la suite:

- Les sols de bords de route sont les plus contaminés par les métaux lourds émis par les véhicules.
- Les métaux lourds présents dans les sols ne sont pas immobilisés, ils sont transférés vers les végétaux.

Ce mémoire s'organise ainsi en deux parties :

La première partie, concerne une étude bibliographique sur les métaux lourds et de leurs interactions avec le sol, du transfert sol-plante ainsi que les effets des ETM issus du trafic routier sur la santé et l'environnement.

La seconde (partie pratique) est scindée en deux :

- Matériel et méthode : présentation de la zone d'étude et du matériel biologique utilisé, du protocole expérimental et la technique d'analyse.
- Résultats des analyses et leurs discussions

Nous clôturons ce travail par une conclusion et quelques recommandations.

Chapitre I :

Généralité sur les métaux lourds

Généralité sur les métaux lourds

En zone urbaine, les véhicules routiers constituent une source majeure d'émissions de polluants atmosphériques. Ils émettent principalement des éléments polluants tel que : les oxydes d'azote (NO_x), du monoxyde de carbone (CO), des composés organiques volatils, du benzène ainsi que des particules sur lesquelles diverses substances peuvent s'adsorber, notamment des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des métaux lourds. Ce tableau ci-dessous résume tous les polluants liés au trafic routier sauf les métaux lourds qu'on va examiner en détail.

Polluants	Nature	Effets	Seuil d'alerte (Moyenne Horaire)
SO ₂	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Est un gaz sans couleur et ininflammable soluble dans l'eau avec une odeur pénétrante. ▪ Il a été pris comme témoin de la pollution atmosphérique depuis de nombreuses années. ▪ La part du transport est essentiellement due aux moteurs diesel utilisant du gazole (0,3%), les essences contiennent en général au maximum (0,08%). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Irritations oculaires, cutanées, ▪ Pharyngites et bronchites chroniques, ▪ Affections respiratoires (toux chronique, dyspnée), ▪ Maladie respiratoire ou cardiovasculaire. 	500ug/m ³
NO _x	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Un gaz incolore, légèrement soluble dans l'eau ▪ (75%) de NO sont émis par les véhicules à moteur. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Troubles neurologiques, hématologiques et rénaux et troubles du développement cérébral chez l'enfant ; ▪ Néphrologie, rhinite, perte d'odorat, ▪ Atteint le système cardiovasculaire, ▪ Broncho-pneumopathies chroniques, ▪ Cancérigène. 	400ug/m ³
CO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Un gaz incolore, inodore et sans gout. Il est très soluble dans l'eau. Son poids moléculaire est de 28,01g. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Troubles neurologiques, hématologiques et rénaux ; ▪ Troubles du développement cérébral chez l'enfant ; 	

	<ul style="list-style-type: none"> Le CO est principalement émis par les véhicules à essence (75%). 	<ul style="list-style-type: none"> Néphrologie, rhinite, perte d'odorat ; Atteint le système cardio-vasculaire ; Broncho-pneumopathies chroniques ; Cancérogène. 	
O₃	<ul style="list-style-type: none"> Un gaz toxique bleuâtre et instable, avec une odeur piquante, trouvé naturellement dans l'atmosphère en particulier dans la stratosphère. 	<ul style="list-style-type: none"> Affecte les muqueuses oculaires et respiratoires, les bronches et atteint les alvéoles pulmonaires. 	360ug/m ³
COV	<ul style="list-style-type: none"> Composés binaires constitués de carbone et d'hydrogène. Ces composés se trouvent à l'état de gaz ou de vapeur dans les conditions normales de température et de pression. 	<ul style="list-style-type: none"> Irritations des muqueuses olfactive, oculaire et respiratoire ; Allergies, baisse du système cellulaire ; Atteinte du système nerveux central ; Effets neuro-comportementaux ; Diminution de la capacité respiratoire. 	
Les particules	<ul style="list-style-type: none"> Sont un mélange complexe de substances organiques et inorganiques, présentes dans l'atmosphère en tant que liquide et solides. 	<ul style="list-style-type: none"> Altère la fonction respiratoire dans son ensemble, Effets cardio-vasculaires, mutagène et cancérogène. 	125ug/m ³
HAP	<ul style="list-style-type: none"> Ils sont synthétisés exclusivement par voie chimique. Les hydrocarbures les plus dangereux émis par les véhicules est 1,3-Butadiène qui est un élément très réactif. 	<ul style="list-style-type: none"> Cancers du scrotum, de la vessie, des voies nasales, du poumon. 	

Tableau I.1 : récapitulatif de différents polluants liés au trafic routier et leurs effets sur la santé (Masclat, 2005).

Les métaux lourds

I Définition des métaux lourds

Un métal lourd possède, entre une densité supérieure à 5 g/cm³. Les métaux lourds que l'on retrouve le plus souvent dans le sol sont: le cadmium, le manganèse, le cobalt, le chrome, le cuivre, le plomb, le mercure, le nickel et le zinc.

Dans les sols, les métaux sont naturellement présents, sous des formes relativement peu mobiles et à faible teneurs. Les éléments souvent impliqués dans les pollutions sont : Hg, Ag, Pb, Cu, Ni, Zn et Cd (Nieboer et Richardson, 1980).

- 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) (Baker et Walker, 1989).
- Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles. On dit que les métaux sont présents " en traces ". Ils sont aussi " la trace " du passé géologique et de l'activité de l'homme.

L'appellation métaux lourds est cependant une appellation courante la plupart des scientifiques préfèrent à l'appellation métaux lourds, l'appellation " éléments en traces métalliques " ETM (Miquel, 2001).

H																	He
Li	Be										B	C	N	O	F		Ne
Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl		Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

éléments majeurs
 Mo oligo-éléments
 Na macro-éléments

éléments toxiques
 éléments peu toxiques

Figure I.1 : Fonction de quelques éléments dans l'organisme. (Jean-Baptiste, 2006)

I.1 Origine des métaux lourds

a-Origine naturelle

Ces métaux lourds sont présents de façon naturelle dans le sol et sont majoritairement le résultat d'une altération de la roche mère du sous-sol (Bourrelier et Berthelin, 2008). Toutefois, les différentes activités humaines contribuent également à augmenter leur quantité.

b-origine anthropique

Les teneurs les plus élevées en éléments inorganiques rencontrées dans les sols sont fortement liées à l'activité humaine.

Les principales activités sont les suivantes:

- Pratiques agricoles due aux épandages d'insecticides, de fongicides, d'engrais, de boues résiduaires urbaines ou de composts d'ordures ménagères,...etc.
- Pollution dues aux retombées atmosphériques telle que l'industrie extractive et métallurgique, pratiques liées à l'incération, utilisation des énergies fossiles, essence au plomb, ...etc.
- Stockage de déchets urbains ou industriels dues aux résidus des activités de mines et de fonderies de métaux, installations de stockage de déchets,...etc (Envans , 1989).

II Définitions d'un sol pollué ou contaminé

D'après la définition de Baize, le terme «contamination» doit être employée pour les sols lorsqu'il y a des apports anthropiques importants mais sans effet apparent pour l'environnement. Par contre, il préconise le terme «pollution» lorsque des apports liés à des activités humaines ont des effets négatifs visibles sur l'environnement (Baize, 1997).

A la notion de contamination on peut associé deux idées:

Un accroissement des teneurs suite aux activités humaines, locales ou générales et un accroissement du risque de nuire aux fonctions des sols naturels. Pour le polluant est défini comme un élément dangereux susceptible de présenter un risque pour les milieux et les organismes vivants (Ramade, 1993).

III Le sol et ses constituants

Le sol provient en général de l'altération de la roche mère sous-jacente, appelée sous-sol. La pédologie décrit les différents types de sols ainsi formés, en distinguant la couche arable et le sol sous-ajacent. L'agriculture travaille la couche arable, plus riche en matières

organiques. L'horizon sous-jacent, entre la couche arable et la roche mère, contribue aussi à la nutrition de la plante en éléments minéraux et en eau. (Cornu et Clozel, 2000).

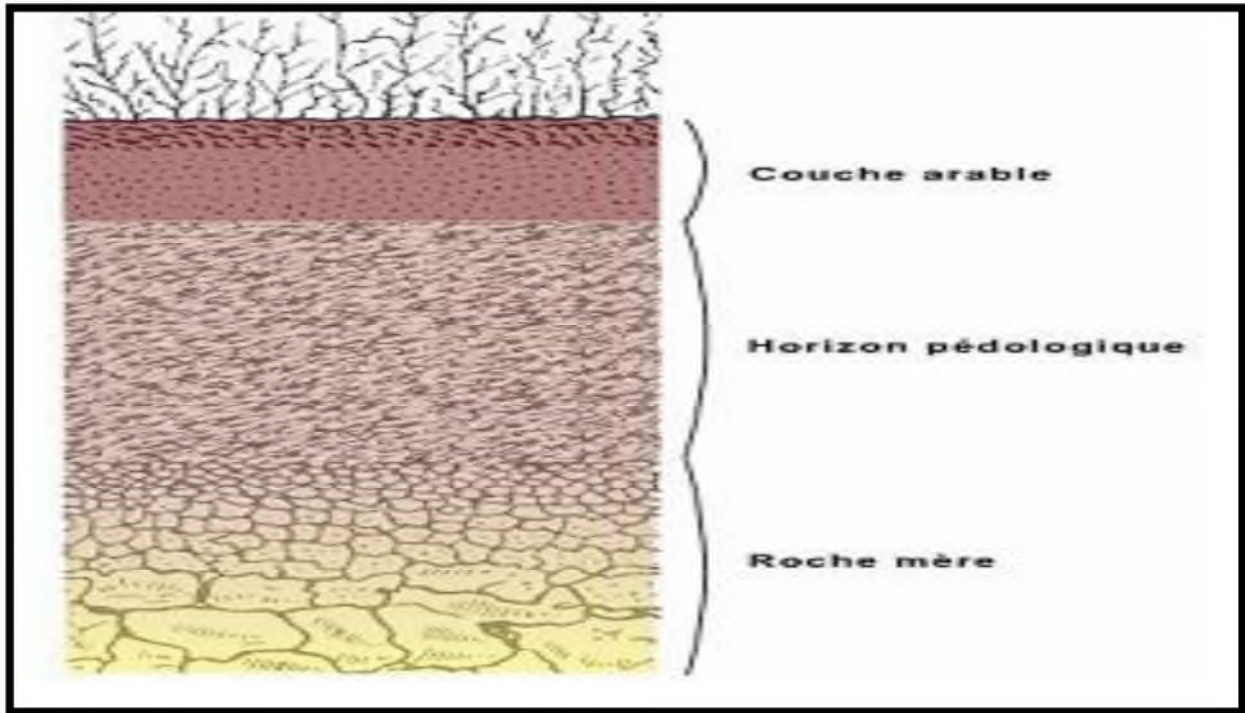


Figure I.2: Structure d'un sol

III.1 Composition physique du sol

Le sol comprend quatre éléments principaux: l'air, l'eau, les constituants minéraux et la matière organique.

III.2 Les constituants minéraux

❖ Les minéraux primaires

Les minéraux primaires des sols tels que quartz, feldspaths, micas, ..., sont hérités de la roche mère, grâce aux processus de désagrégation mécanique (Duchaufour, 1997).

❖ Les minéraux secondaires

Les argiles

Les argiles se caractérisent par une surface électrique non neutre, qui détermine leurs capacités d'échanges ioniques. Ces minéraux portent deux types de charges. La première, de signe négatif, elle est liée aux substitutions Al^{3+} - Si^{4+} ou Mg^{2+} , Fe^{2+} - Al^{3+} dans les feuillets de l'argile. La seconde, liée aux réactions chimiques qui se produisent à la surface des minéraux, est une charge de surface variable en fonction du pH du milieu (Alloway, 1995).

Les oxydes et les hydroxydes

Les (hydr) oxydes de fer et d'aluminium, sous forme amorphe ou cristalline, sont des constituants communs dans les sols naturels (Sposito, 1989).

Les carbonates, phosphates, sulfates, sulfures et les chlorures

III.3 La matière organique

Elle se compose de deux fractions (Kabata, 2001) :

- ✓ La fraction vivante (micro-organisme, faune épilithique, rhizosphère des végétaux supérieurs, animaux fouisseurs). Son influence sur la fixation des éléments trace est importante, elle modifie le potentiel redox ou le pH.
- ✓ La fraction morte (débris végétaux et animaux plus ou moins décomposés en humus, carbone rapporté).

La matière organique est donc un facteur clef des échanges ioniques et des cycles géochimiques des éléments métalliques.

IV Comportement des métaux lourds dans le sol

IV.1 Mobilité et biodisponibilité des métaux lourds

Les métaux lourds ont tendance à passer d'une forme à l'autre et leur répartition dans les différents compartiments du sol évolue dans le temps. On appelle *spéciation* l'ensemble des espèces chimiques sous lesquelles les éléments traces métalliques se présentent dans le sol.

Selon la spéciation, les liaisons qui se formeront entre les métaux lourds et les autres composés seront différentes, influençant la mobilité et donc la toxicité de ceux-ci (Baize, 1997).

Sans un minimum de mobilité ou de biodisponibilité, les métaux lourds, disséminés dans l'atmosphère puis de manière non homogène dans le sol, peuvent y rester de nombreuses années étant donné leur persistance, c'est-à-dire leur faible capacité de dégradation par voie biologique ou chimique.

La *biodisponibilité* représente la capacité d'un élément trace métallique à passer d'un compartiment du sol quel qu'il soit vers une bactérie, un animal ou un végétal vivant dans ce dernier.

La *mobilité* d'un élément trace métallique constitue l'aptitude d'un élément à passer dans des compartiments du sol ou il est de moins en moins énergétiquement retenu, avec comme compartiment ultime la phase liquide ou, dans certains cas, l'atmosphère du sol (Juste, 1988).

Il existe de multiples paramètres influençant la mobilité des métaux dans les sols dont les plus importants sont :

Le pH : à pH faible, la solubilité de la plupart des métaux est plus élevée (Alloway, 1995).

Le potentiel redox : en conditions réduites, la mobilité des métaux lourds est plus faible. Le potentiel redox est fortement lié au pH puisqu'il augmente quand celui-ci diminue (Alloway, 1995)

Par exemple, en conditions réductrices, les sulfates sont réduits en sulfure qui piègent volontiers les éléments métalliques tels que Pb, Cd, Zn (Deneux-Mustinet *al*, 2003).

La capacité d'échange ionique : les métaux lourds ont une grande affinité avec la fraction argileuse du sol ainsi qu'avec d'autres phases minérales comme les oxydes de fer, d'aluminium, de manganèse ou les phosphates, les carbonates, etc. La présence de ces éléments favorise l'immobilisation des métaux lourds. En effet, ils possèdent une charge électro-négative qui leur permet de contracter des liaisons réversibles avec, notamment, les cations métalliques, qui restent échangeables. La capacité d'échange ionique minérale joue un rôle plus important dans la fixation que la matière organique (Alloway, 1995).

D'autres facteurs influencent la mobilité des métaux lourds dans les sols. La température peut avoir un effet direct sur les équilibres physico-chimiques (solubilisation, cinétique d'échange...) et un effet indirect lié aux conséquences de l'activité microbologique. Les micro-organismes sont capables d'accumuler des éléments traces métalliques dans leurs tissus, de modifier le pH, de libérer des ions (Kabata-Pendias et Pendias, 2001).

Ainsi, la dangerosité d'une substance va de pair avec sa mobilité ainsi qu'avec sa biodisponibilité, mais aussi avec sa solubilité, puisque les composés en solution sont très mobiles et pénètrent facilement dans les plantes par leurs racines : ils sont facilement biodisponibles. En fonction de la mobilité de l'élément considéré, celui-ci va s'accumuler préférentiellement dans tel ou tel horizon du sol et avoir un effet différent sur les plantes, qui puisent leurs ressources à travers leurs racines bien au-delà de l'horizon de surface, et sur les organismes du sol (Chichkov *et al*, 1996).

IV.2 Persistance et accumulation

Les sols ont la propriété de fixer les ETM, en particulier dans les horizons de surface riches en matière organique. Or, contrairement à de nombreux autres polluants des sols, les ETM ne peuvent être éliminés ou dégradés par décomposition. Ils présentent donc un caractère **persistant**, indépendamment du fait qu'ils peuvent se trouver dans le sol sous différentes formes. Ce caractère permanent a pour conséquences que les ETM sont susceptibles de s'accumuler dans les sols. Pour qu'un élément s'accumule dans le sol en un endroit donné, il faut que la quantité apportée ne soit pas contrebalancée par le départ de ce sol d'une quantité équivalente (Pereira et Sonnet, 2007).

V Le transfert sol- plante des métaux lourds

V.1 Le transfert sol-plante

Les plantes sont exposées de deux façons aux métaux lourds: par les parties aériennes et par les racines. Les métaux lourds peuvent être déposés à la surface des feuilles et des racines ou pénétrer dans la plante. Les métaux lourds peuvent y pénétrer par les parties aériennes (feuilles, tiges et fruits), à partir de particules en suspension dans l'air, de composés gazeux ou de composés dissous dans l'eau de pluie ou d'irrigation. Ils peuvent pénétrer par les racines à partir du sol. Une fois prélevés par la plante, les métaux lourds peuvent être piégés et ne pas circuler dans la plante, ou alors transportés du lieu de l'absorption vers un autre organe végétal.

Dans les zones de forte pollution atmosphérique, comme d'une industrie de fabrication d'alliages de métaux ou à côté d'une autoroute, les retombées atmosphériques de métaux sur les parties aériennes des plantes, par les pluies ou les poussières sont importantes. Dans ce cas la contamination des feuilles, tiges et fruits est élevée. Une partie de cette contamination peut être enlevée par simple lavage à l'eau, ce qui montre qu'elle reste à la surface des parties aériennes en dépôt superficiel. Une autre partie reste piégée dans les feuilles par exemple. Il est vraisemblable qu'une troisième partie des métaux lourds peut être transportée dans la plante, mais son importance est controversée (Prasad, 2004).

V.2 Définition de la phytodisponibilité des métaux lourds

La phytodisponibilité d'un métal lourd c'est la quantité d'élément qui peut être transférée (prélevée) dans la plante durant son développement. Elle est la résultante d'un ensemble de processus successifs: l'offre du sol, le transport vers les racines, et le prélèvement par les racines en lui-même, qui contribuent au transfert de

l'élément de la phase solide du sol à la solution du sol puis aux tissus de la plante. (Bourlier et Berthelin, 2008).

V.3 Les plantes exclusives, accumulatrices et indicatrices

Le prélèvement des métaux peut différer selon les différents géotypes de plantes, en relation avec la concentration externe du métal. Trois grandes stratégies existent :

- Certaines plantes dites « **exclusives** » prélèvent très peu les métaux, même quand ils sont à des concentrations élevées dans le sol.
- D'autres dites « **accumulatrices** » présentent de fortes accumulations de métaux lourds même à de très faibles concentrations des métaux dans le sol. Toutefois, lorsque la concentration de métaux dans le sol augmente, ces plantes n'augmentent plus le prélèvement, probablement à cause de compétitions entre ions métalliques pour les sites de prélèvement.
- Les dernières dites « **indicatrices** », ont des concentrations de métaux dans leurs tissus qui reflètent la concentration du métal dans le sol et qui augmentent de façon linéaire avec elle. (Clemens, 2002).

Les teneurs normales et critiques en métaux lourds sont présentés dans les tableaux suivants.

Element trace métallique	Teneurs dans la plante
Cd	0.05
Cr	1,5
Co	0,2
Cu	10
Fe	150
Pb	1,0
Mn	200
Ni	1,5
Zn	50

Tableau I.2 : Teneurs normales en métaux lourds dans les plantes (mg /kg de matière sèche) (Prasad, 2006)

Element trace metalique	Toxicité
Cd	5
Cr	3
Co	15-50
Cu	20-100
Fe	1000
Pb	12-300
Mn	300-500
Ni	10-100
Zn	100-400

Tableau I.3 : Teneurs critique en métaux lourds dans les plantes (mg /kg de matière sèche) (Fageria et al, 2002).

VI Toxicité des métaux lourds

Tout élément est toxique quand il est absorbé en excès par rapport à la capacité d'assimilation de l'organisme. La toxicité des métaux pour les micro-organismes du sol est principalement due à leur capacité à établir des complexes stables avec les protéines ce qui peut altérer les sites actifs ou déplacer des co-facteurs métalliques essentiels (Baath, 1992).

Les différents types d'effets possibles de quelques métaux lourds sur les plantes et les animaux sont présentés dans le tableau (I.4).

La toxicité des métaux lourds pour un même organisme dépend du type de sol, de sa disponibilité de chaque minéral dans ce sol, de l'état physiologique du micro-organisme (Baath, 1992). Les éléments les plus souvent rencontrés comme phytotoxiques sont le cuivre, le manganèse, le nickel et le zinc (Logan, et Traina, 1993). Les plus toxiques pour l'homme sont notamment, le cadmium, le mercure, le chrome et le plomb. Il est ainsi distingué une toxicité aiguë (absorption en forte dose sur un court laps de temps) et une toxicité chronique (absorption à faible dose sur temps plus long).

Element de trace metalique	Plantes	Animaux	Densité g/cm ³
Cd	T	T	8,65
Cr	-	E	7,20
Cu	E	E	8,92
Ni	T	E	8,90
Pb	T	T	11,34
Zn	E	E	7,14
Mn	E	E	7,20

T : toxique, E : essentiel

Tableau I.4 : Classification de quelques métaux lourds selon leur densité et leur toxicité. (Adriano, 2001).

Quand les métaux lourds ne contaminent pas les eaux souterraines par lessivage, les éléments traces métalliques, non dégradables dans le sol, s'y accumulent puis pénètrent dans les plantes que les animaux consomment ensuite, l'homme y compris. On estime ainsi que les végétaux récoltés stockent environ 1 % des métaux présents dans l'horizon de surface. Pour l'homme, l'inhalation de poussières et d'aérosols reste la principale source d'intoxication, mais les risques liés à l'absorption de métaux lourds par ingestion d'eau ou de nourriture ne sont toutefois pas négligeables (Baiz, 1997).

Il existe une troisième voie d'introduction des polluants dans l'organisme, la voie dermique, qui intervient en cas de contact direct avec les substances. Cependant, quel que soit le mode de contamination, les éléments s'accumulent dans l'organisme (sang, foie, cerveau, reins...) et ne sont éliminés que très lentement (Bliefert et Perraud, 2001).

Le Tableau (I.5) montre, par ordre croissant, la demi-vie biologique des métaux, au bout de laquelle l'organisme a éliminé la moitié de la quantité absorbée (Bliefert et Perraud, 2001)

Celle-ci s'étale de quelques jours pour le molybdène à plusieurs années pour le chrome, le zinc ou le cadmium. On note que certains éléments (plomb, mercure, cadmium) ont des demi-vies biologiques très différentes selon leur cible dans l'organisme.

Element de trace metalique	Temps de demi-vie biologique
Mo	5 jours
Cu	13-33 jours
Mn	15-20 jours
Pb	20-30 jours dans le sang 40-60 jours dans les reins, la moelle, le foie, le cerveau 2-10 ans dans les os
Hg	30-60 jours 1 an dans le cerveau
Cr	1-2 ans
Co	2-15 ans
Zn	2-3 ans
Cd	30 jours dans le sang 20-30 ans dans le rein

Tableau I.5 : Temps de demi-vie biologique de quelques éléments métalliques.

VII Impact sur l'environnement et la santé

L'accumulation des métaux lourds dans les sols, l'eau ou l'air, constitue une menace. Le fait qu'ils puissent remonter la chaîne trophique représente un danger pour les écosystèmes et pour la santé des organismes vivants et peut avoir des conséquences sociales, environnementales et économiques catastrophiques.

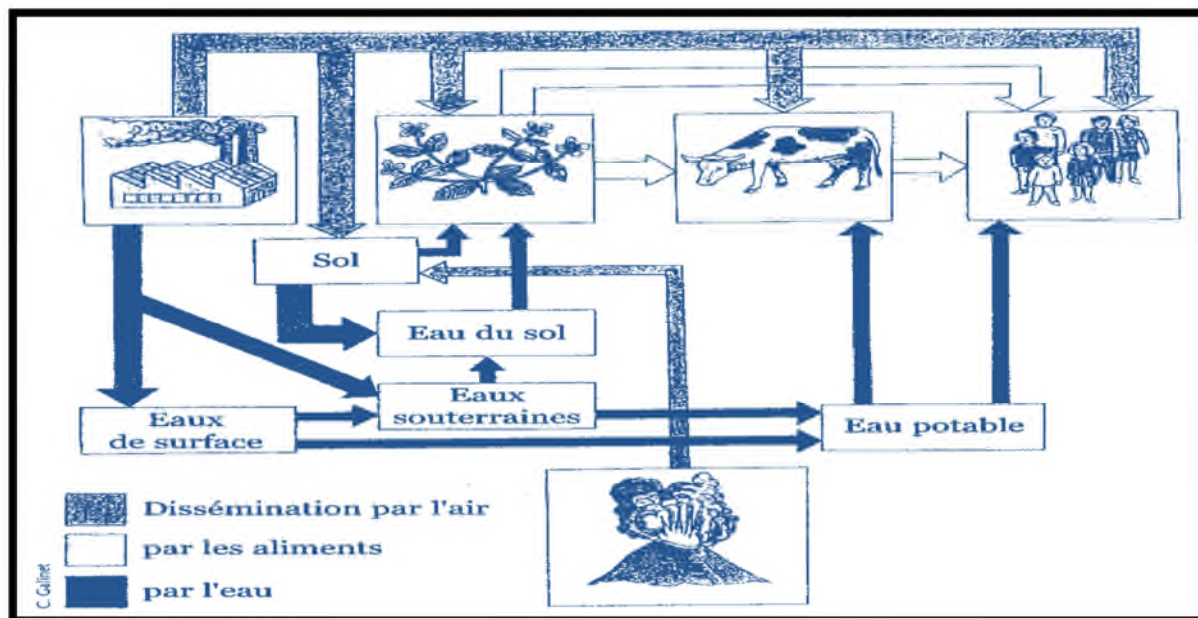


Figure I.3 : Le cheminement des métaux lourds dans l'environnement (Bert et Deram, 1999).

VII.1 Impact sur l'environnement

Les trop fortes teneurs en métaux lourds diminuent la densité, la biodiversité et l'activité de la microflore et de la microfaune du sol.

L'altération du sol est moins bonne, la minéralisation de la matière organique est plus lente. A long terme, le fonctionnement de l'écosystème sol est réduit ainsi que sa fertilité. La nutrition et le métabolisme des plantes sont perturbés. Certaines espèces végétales, non tolérantes, disparaissent ce qui entraîne des changements dans la composition des communautés végétales (Bert et Deram, 1999).

Les micro-organismes du sol sont les premiers organismes à subir l'impact de la contamination par les ETM : ralentissement de leurs activités, diminution de leur diversité et de leurs interactions. Or ceux-ci jouent un rôle important dans le recyclage biogéochimique des éléments nutritifs du sol (décomposition de la matière organique) et dans la dégradation des polluants (micropolluants organiques) (Pereira et Sonnet, 2007).

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, 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, précèdent souvent ces symptômes (Kabata-Pendias et Pendias, 2001).
- ❖ Les animaux peuvent être contaminés par contact avec la peau, par inhalation de poussières toxiques et par ingestion de l'eau et d'aliments pollués. La dispersion des métaux constitue un danger pour la faune sauvage, le bétail et l'homme, qui se situe en bout de chaîne alimentaire. Dans certaines zones très contaminées, le pâturage, les cultures fourragères ou destinées à l'alimentation humaine sont interdites. (Bertet Deram, 1999)

VII.2 Impact sur la santé

Plus précisément, le Tableau (I.6) recense les effets connus de certains métaux lourds sur l'organisme humain. On y fait la différence entre les effets chroniques, apparaissant plus de six mois après l'absorption de petites ou très petites quantités, et les effets aigus, apparaissant quelques jours au maximum après une absorption unique de substance. Notons que les effets toxiques ne sont pas nécessairement irréversibles.

La plupart des métaux lourds, suite à une absorption importante, provoquent des troubles respiratoires et digestifs (diarrhées, vomissements, douleurs abdominales) pouvant être extrêmement graves, jusqu'à entraîner la mort — c'est le cas du chrome, ou des vapeurs de mercure. Les dysfonctionnements rénaux sont également fréquents.

En cas d'intoxication chronique, le plomb et le mercure se distinguent par le fait que le système nerveux central est leur cible privilégiée, entraînant des troubles moteurs (coordination des mouvements, tremblements), du comportement, de la mémoire et une altération des capacités intellectuelles. Le plomb perturbe également la synthèse de l'hémoglobine, ce qui provoque l'anémie (défaut de globules rouges) (Sandrine et *al*, 2005).

Elément	Cancérogène	Toxique pour la reproduction	Troubles respiratoires	Trouble digestifs	Troubles rénaux	Trouble neurologique	Lésions (C)	Irritations (A)	Autres
As	Oui	-	-	A	-	C	Moelle osseuse, sang, foie	Muqueuses	Troubles circulatoires(A)
Cd	Poumon, prostate, foie	Oui	AC	A	A	-	Reins	-	Ostéoporose(C)
Co	Poumon	-	C	AC	-	-	-	-	Troubles cardiaques(C)
Cr	Poumon	Oui	C	AC	-	-	-	Muqueuses respiratoires	-
Cu	-	-	-	A	A	-	-	Muqueuse respiratoires	Troubles hépatiques(C)
Hg	-	-	A	A	AC	AC	Riens	-	Troubles comportement(C), Asphyxie (A)
Ni	Poumon	-	AC	A	-	-	-	Peau (AC)	-
Pb	Poumon	Oui	-	A	AC	AC	-	-	Troubles comportement(C), Anémie (C)
V	-	-	C	-	-	-	Foie, reins	Muqueuses respiratoires, peau	Anémie(C)
Zn	-	-	A	A	-	-	-	Muqueuses respiratoires, peau	Anémie(C)

(C) : toxicité chronique. (A) : toxicité aiguë.

Tableau VIII : Toxicité des principaux métaux lourds (Sandrine et al, 2005)

Chapitre II :

*Pollution des sols à proximité des axes
routiers*

Pollution des sols à proximité des axes routiers

Les sources d'émissions d'Éléments Traces Métalliques, sont multiples : l'industrie, le chauffage, les transports mais également les pratiques agricoles, les boues et les composts urbains et l'altération de la roche mère.

La circulation automobile et les infrastructures routières constituent aussi des sources d'ETM mais la pollution par les ETM ne représente qu'une fraction de la pollution chronique provenant des véhicules en circulation et de l'usure des équipements de la route.

Provenance	ETM
Carburant : anti-détonnant	Plomb- Alkyle de Plomb
Lubrifiant : additifs	Molybdène, Zinc, Cadmium, Baryum, Cobalt
Pneumatiques : stabilisant des caoutchoucs	Cadmium, Zinc
Catalyseur	Platine, Palladium, Chrome, Nickel
Équipement de protection : glissière, clôture, usure de la chaussée	Zinc, Cadmium, Manganèse, Chrome
Pièces d'usure des véhicules : freins	Zinc, Cadmium, Cuivre, Chrome, Manganèse

Tableau II.1 : principales sources d'ETM engendrées par les véhicules et les voies de circulation.

Les ETM sont transportés sous forme particulaire ($\text{Ø} > 100 \mu\text{m}$) associée aux aérosols ($\text{Ø} < 100 \mu\text{m}$). Ces "poussières", générées par les véhicules, sont dispersées par voie atmosphérique : une fraction (10 %) reste sur la chaussée et 90 % sont dispersés par voie aérienne.

Après avoir été dispersés dans l'environnement, les ETM se retrouvent et se partagent dans les différents compartiments (air, eau, sol, végétaux) selon leurs propriétés physico-chimiques et les conditions environnementales (Sétra, 2004).

Les sols de bord de route sont les récepteurs des polluants émis par les véhicules Les ETM retombent plus ou moins rapidement au sol sous l'effet de la gravité.

Les ETM émis au niveau de la chaussée parviennent dans les sols sous forme soluble et sous forme particulaire par entraînement dans les eaux de ruissellement. Il en résulte une

pollution importante des sols et des plantes le long des infrastructures à forte circulation (Norrström, 2005).

Ainsi, avant d'atteindre l'homme, le contaminant se déplacera à travers le médium (eau, air, sol ou aliments) jusqu'aux points où une exposition humaine peut avoir lieu. On parle alors de concept source-vecteur-cible (Martin et Billon, 2005).

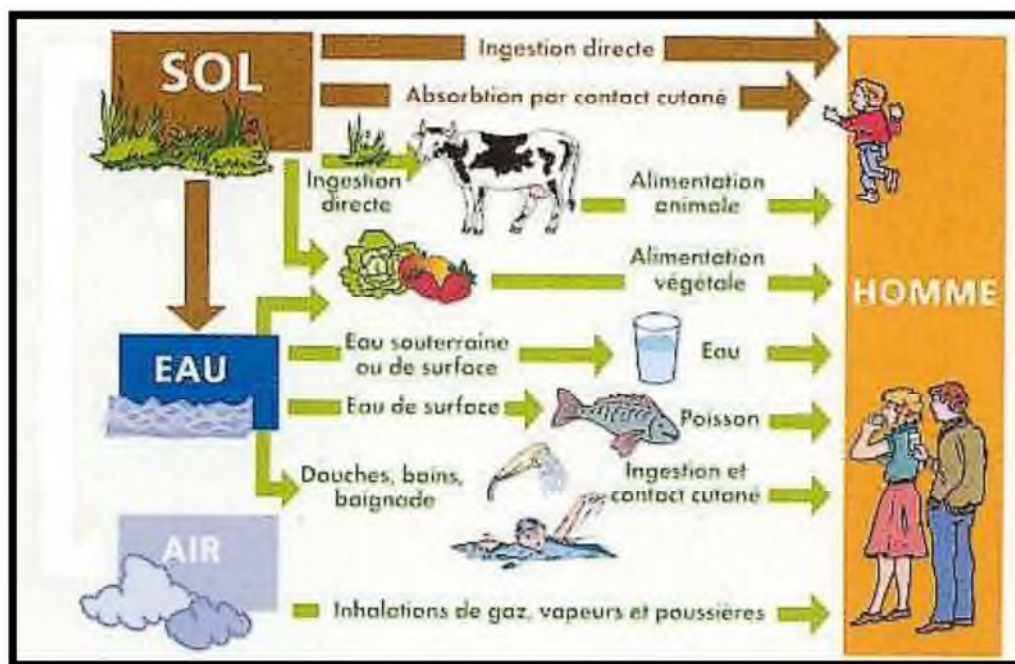


Figure II.1 : Schéma globale d'exposition

I Les éléments considérés lors de l'étude et leurs particularités

I.1 Le plomb

C'est un polluant primaire persistant, sa durée de vie dans le sol est de 1 700 ans, il peut être bio accumulé dans les chaînes alimentaires et il est toxique pour l'homme.

La généralisation des carburants sans plomb (depuis janvier 2000) entraîne une baisse significative de la pollution plombée. Mais, le plomb est encore présent dans les lubrifiants, les pneumatiques, freins, et les sels de déverglacage (3,3 mg/kg de NaCl). Le plomb reste donc un traceur de la circulation et de l'étendue de l'air sous influence routière : il ne doit pas être perdu de vue (Sétra, 2004).

Dans le sol le Pb se trouve sous les formes chimiques suivantes:

Pb^{2+} , $PbHCO^{3+}$, $PbOH^+$, $PbSO_4$, $Pb(OH)_2$, $PbCO_3$, PbO , $Pb(PO_4)_2$, $PbO(PO_4)_2$, $PbCl^+$ (I.E.T, 2003).

Le Pb est très peu prélevé par les racines des plantes où il s'accumule. Le transfert sol-plante du Pb est négligeable par rapport au dépôt direct sur les parties aériennes de poussières contenant du Pb, sur tout dans les zones urbaines ou industrielles ou le long des grands axes routiers.

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

I.2 Le cadmium

Le cadmium est un toxique très actif, son émission est très faible en quantité mais elle se poursuivra en raison de l'utilisation de stéarate de cadmium comme stabilisant des caoutchoucs et d'additifs des lubrifiants. Le cadmium est également une impureté liée au zinc et les aciers zingués relarguent du cadmium. (Sétra, 2004)

Dans le sol, le Cd se trouve sous les formes chimiques suivantes:

Cd^{2+} , $CdSO_4$, $Cd Cl^+$? $Cd HCO^{3+}$, CdO , $CdCO_3$, $C (PO_4)_2$ (Sanità et Gabbrielli, 1999). Très phyto-disponible, le Cd peut s'accumuler dans les racines ou les parties aériennes. Le chaulage peut diminuer le transfert du cadmium vers les plantes. Le cadmium est plus mobile dans le sol que le plomb, donc plus disponible pour les plantes.

Le Cd est considéré comme cancérigène pour l'homme et il présente des effets génotoxiques (Bourrelier et Berthelin, 2008).

I.3 Le zinc

Les émissions automobiles de zinc correspondent aux additifs utilisés dans les lubrifiants, mais la source la plus importante de zinc provient des glissières de sécurité et des clôtures. Le zinc est un indicateur des niveaux d'équipements de la route, c'est aussi un traceur de l'air d'influence routière.

Toxique à dose élevée, il doit être suivi dans les évaluations d'impact (Sétra, 2004).

Dans le sol, le Zn est sous les formes chimiques suivantes:

Zn^{2+} , $ZnSO_4$, $ZnHCO^{3+}$, $ZnCO_3$, $ZnFe_2O_4$, Zn_2SiO_4 , $Zn_3(PO_4)_2$ (A.R.N.H).

Le Zn est fortement phytodisponible, et se trouve en quantités plus élevées dans les racines que dans les parties aériennes. Le chaulage diminue le transfert du Zn vers les plantes.

Les formes solubles de Zn sont facilement assimilables par les plantes. La vitesse d'absorption dépend largement du genre, de l'espèce et de la variété. Le Zn est peu toxique pour l'homme et ses dangers résultent plutôt d'une déficience. De même, la carence en Zn est plus fréquent chez les ruminants que ses manifestations toxiques (Bourrelier et Berthelin, 2008).

II Le devenir des métaux lourds dans l'organisme et leurs effets (Pb, Cd, Zn)

II.1 Devenir du Plomb dans l'organisme

Le plomb absorbé par l'organisme par inhalation ou par ingestion est distribué par le sang à différents organes : le foie, les reins, la rate, la moelle osseuse et surtout les os. Le plomb sanguin ne représente que 1 à 2 % de la quantité totale de plomb présent dans l'organisme ; les tissus mous (reins, foie, rate...) en contiennent 5 à 10 % et plus de 90 % est fixée sur les os.

Le plomb est principalement (75 %) éliminé dans les urines. 15 à 20 % du plomb sont éliminés dans les fèces. Le plomb est également excrété dans la salive, dans la sueur, dans les ongles, dans les cheveux...

II.1.1 Les principaux effets toxiques du plomb sur l'homme

A. Les effets chez l'adulte

Le saturnisme désigne l'ensemble des manifestations de l'intoxication par le plomb. Les coliques de plomb sont les effets toxiques les plus connus du métal mais ses principaux organes cibles sont : le système nerveux, les reins et le sang.

Effets sur le système nerveux : Le plomb est responsable d'atteintes neurologiques. En cas d'intoxications massives, l'effet neurotoxique du plomb peut se traduire par une encéphalopathie convulsivante pouvant aller jusqu'au décès. En cas d'intoxication moins sévère, on a observé des troubles neurocomportementaux et une détérioration intellectuelle.

Effets sur la moelle osseuse et le sang : Le plomb bloque plusieurs enzymes nécessaires à la synthèse de l'hémoglobine. Ces effets sanguins aboutissent à une diminution du nombre des globules rouges et à une anémie.

Cancer : L'administration de fortes doses de plomb a induit des cancers du rein chez de petits rongeurs. En revanche, il n'a pas été mis en évidence de surmortalité par cancer dans les populations exposées au plomb.

Selon l'IARC, le plomb et ses dérivés sont classés dans le groupe 2B « substance potentiellement cancérogènes pour l'homme ».

L'intoxication aiguë est rare. L'intoxication habituelle est liée à une exposition chronique.

B. L'intoxication chez l'enfant

Le risque d'intoxication saturnique est plus élevé chez les jeunes enfants, plus particulièrement de 1 à 3 ans :

L'absorption digestive des dérivés du plomb est plus importante que chez l'adulte : à exposition égale, l'organisme de l'enfant absorbe 50 % du plomb ingéré, tandis que la proportion chez l'adulte est seulement de 5 à 7 %,

Les effets toxiques, à imprégnation égale, en particulier sur le système nerveux central en développement, sont plus importants et plus sévères.

Le système nerveux central des enfants est particulièrement sensible à l'action toxique du plomb. Une encéphalopathie aiguë convulsivante apparaît généralement lorsque la plombémie est de l'ordre de 1.000 µg/l. Elle n'a jamais été observée lorsque la concentration sanguine de plomb est inférieure à 700 µg/l.

Chez les enfants dont la plombémie est comprise entre 500 et 700 µg/l, des troubles neurologiques moins sévères sont souvent observés : diminution de l'activité motrice, irritabilité, troubles du sommeil, modifications du comportement, stagnation du développement intellectuel (Miquel, 2001).

II.2 Devenir du Cadmium dans l'organisme

Les principales voies d'absorption du cadmium chez l'homme sont l'inhalation et l'ingestion. Une fois absorbé, il va être transporté dans le sang, fixé à l'hémoglobine ou à des métallothionéines, et va se concentrer principalement dans le foie et le rein (à hauteur de 50 à 70% du cadmium total) ainsi que dans le pancréas, les testicules, la glande thyroïde et les glandes salivaires. Il pourra enfin être excrété dans les phanères, les fécès ou l'urine.

II.2.1 Les principaux effets toxiques du Cadmium sur l'homme

Une intoxication aiguë due à ce métal, lors d'exposition par voie orale, est à l'origine de l'apparition de différents symptômes tels que des épisodes gastro-entériques, des vomissements, des diarrhées ou des douleurs musculaires. En cas d'inhalation de fumées de cadmium, la mortalité est estimée entre 15 et 20% des sujets exposés, trois jours après, suite à une irritation pulmonaire sévère.

Lors d'une exposition chronique à ce métal, le rein est l'organe cible principal ; des néphropathies irréversibles peuvent se développer, pouvant évoluer vers des insuffisances rénales. Des troubles respiratoires sont associés aux particules et poussières présentes dans les fumées, dus à leur caractère irritant. Dans certains cas, le squelette peut aussi être atteint par modification de métabolisme du calcium.

Selon la classification de l'IARC (International Agency for Research on Cancer), le cadmium et ses dérivés appartiennent au groupe 1 soit « agent cancérigène pour l'homme » (Viard et *al*, 2004)

II.3 Devenir du Zinc dans l'organisme

Le zinc est un des oligo-éléments le plus abondant chez l'homme ; il est essentiel à la croissance, au développement osseux et cérébral, à la reproduction et au développement foetal, au goût et à l'odorat. Les doses journalières recommandées sont de 12 mg chez la femme et 15 mg chez l'homme.

La pénétration s'effectue principalement par voie orale (nourriture) et par inhalation en milieu professionnel. Après absorption, le zinc est transporté au niveau du plasma et se répartit de façon non sélective dans les tissus et les organes. Le zinc restant est alors excrété par les fécès et, dans une moindre mesure, par les urines.

II.3.1 Les principaux effets toxiques du Zinc sur l'homme

L'inhalation de vapeurs de zinc, fortement contaminées (33000mg Zn/m³) peut entraîner la mort.

L'exposition en milieu professionnel à des fumées contenant de l'oxyde de zinc peut conduire au développement de la « fièvre des fondeurs » : les symptômes de cette maladie sont la gorge sèche, une toux, de la fièvre, des douleurs musculaires, des céphalées, associées parfois à des troubles cardiaques et gastro-intestinaux.

Peu de données sont disponibles concernant la toxicité chronique du zinc. Toutefois, une exposition prolongée peut entraîner des troubles gastro-intestinaux et avoir des effets sur le système immunitaires (diminution des réponses immunes et inflammatoires).

Le zinc et ses dérivés ne font pas l'objet d'une classification par l'IARC. (Viard et *al*, 2004)

Chapitre III :

Matériel et méthode

Ce chapitre décrit, d'une part les échantillons de sols étudiés, leurs origines et les différents prétraitements qu'ils ont subis, et d'autre part, l'ensemble des techniques et des protocoles expérimentaux utilisés au cours de cette étude.

Il nous a semblé nécessaire de présenter préalablement notre air d'étude, d'abord la wilaya de Bejaïa puis des données la commune de Oued-Ghir. Néanmoins, il ne s'agira pas de cerner toute les particularités mais seulement de mettre l'accent sur quelques points essentiels pour avoir une connaissance précise de la région.

I Données essentielles du territoire d'étude

Issu du découpage administratif, la wilaya de Bejaia se situe dans la région Nord-est de l'Algérie. Cette dernière s'ouvre sur la méditerranée avec une façade maritime de plus de 100 Km, alternant critiques, roche et plages de sable. Elle est organisée en 19 daïras et 52 communes. Elle partage les limites administratives avec 5 wilayas : Tizi-Ouzou et Bouira à l'Ouest ; Jijel à l'Est, Sétif et Bordj Bou Arreridj au Sud.

La wilaya de Bejaïa dispose de 444 km de routes nationales, de 659 km de chemins de wilaya et enfin de 3466 km de chemins communaux. Un trafic routier de près de 60 000 véhicules par jour dont un tiers de poids lourds qui activent en majorité avec le port.

la RN N° 12 qui traverse plusieurs grandes agglomérations laquelle avait vu le tronçon allant de Bejaïa à El Kseur passant par Oued-Ghir pris en charge mais qui ne peut à lui seul alléger la saturation actuelle de cet axe qui enregistre, mine de rien, un trafic routier de 30 000 véhicules par jour dont près de la moitié en poids lourds. (Dépêche de Kabylie, 2009)

I.1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude, où les échantillonnages ont eu lieu, se situe à Oued-Ghir, à 12 Km de la ville de Bejaïa à proximité de la RN N° 12.

Deux sites ont fait l'objet de prélèvement des échantillons, le site(I) site expérimental, et le site(II) site témoin.

Site(I) : parcelle au sein de l'INRAA à 50 m de la route nationale N°12, c'est un site représentatif du contexte de contamination par les retombées atmosphériques d'origine automobile. En effet, ces sols se trouvent sur un axe qui assure un trafic routier important.

Site(II) : jardin botanique situé à 500 m de la RN N°12.



Figure III.1 : Image satellitaire de la zone d'étude (Oued-Ghir)

II Les éléments étudiés

II.1 sol

- La texture dans la majeure partie est argileuse ;
- Le pH est alcalin et égal à 8. La teneur en calcaire est excessivement élevée ;
- Le sol est riche en matières organiques (Inraa, 2002).

II.2 Le végétal

Le choix des échantillons a porté sur les cultures la plus disponible dans la région et la plus proche de l'axe routier.

C'est un fruit du citronnier. Cet agrume de taille moyenne (5 à 10 cm) est dit "limoniforme", c'est-à-dire, ovoïde et avec, à l'extrémité styloïde, un mamelon souvent cerné d'une dépression circulaire, sans persistance d'aucune pièce florale.

La peau du citron est appelée écorce ou zeste. Elle est brillante et d'une couleur variant du vert au jaune vif selon la maturité du fruit. Elle est utilisée pour son arôme et son

amertume dans les préparations culinaires et pharmaceutiques, ou en parfumerie. Le zeste se développe à partir des parois externe et moyenne des carpelles floraux.

L'épiderme interne des carpelles floraux est à l'origine de l'endocarpe ou pulpe. Elle est formée d'un ensemble de poils vésiculeux, à paroi mince, contenant un jus plus ou moins acide, et groupés en 8 à 12 quartiers séparables les uns des autres.

Les pépins, fusiformes, proviennent des deux rangs d'ovules. Ils sont blancs, à un seul embryon et le plus souvent exalbuminés. Un principe amer, la lémonine, et une huile grasse en sont extraits.

Le citronnier appartient à la famille des *Rutaceae*, ordre des *Térébenthales* et genre *Citrus* (Anonyme).

III Matériels et protocole expérimental

III-1 Le sol

III-1-1 Echantillonnage :

La zone de prélèvement est identifiée et limitée, Pour chaque citronnier, 500 g du sol environnant ont été prélevés, dans des sachets alimentaires, à une profondeur de 20 cm pour éviter toute contamination superficielle accidentelle.

III-1-2 Préparation des échantillons :

Les sols font l'objet d'une préparation préalable avant la minéralisation dans 3 différents laboratoires

➤ Séchage

Les différents prélèvements sont réunis, la quantité de terre obtenue est étalée pour écarter les éléments grossiers (cailloux, feuilles, racines, coquilles d'escargots, etc). La notion de sol sec est basée sur la référence d'un séchage effectué à l'air, en couche mince, à la température ambiante et à l'abri de la lumière directe du soleil, tout en remuant journallement la terre. (Lozet et Mathieu, 2002)

➤ Tamisage N°1

Après 2 jours de séchage à l'air, les agrégats ont été brisés avec un rouleau en bois. Ensuite le sol est tamisé dans un tamis de 2 mm de diamètres.

Le séchage et le tamisage ont été effectués dans le laboratoire de Biologie des sols.

Le passage de l'échantillon total prélevé des sols site(I), site(II) à l'échantillon réduit, nécessaire à l'analyse a été réalisé par le quartage.

➤ Quartage

L'échantillon de chaque sol est divisé en quatre parties égales dont on ne retient que la moitié en réunissant deux quarts opposés. Cette sélection est homogénéisée et un nouveau quartage est effectué, l'opération a été répétée trois fois. On obtient ainsi un échantillon représentatif du matériau initial figure (III.2) (Pauwels, 1992).

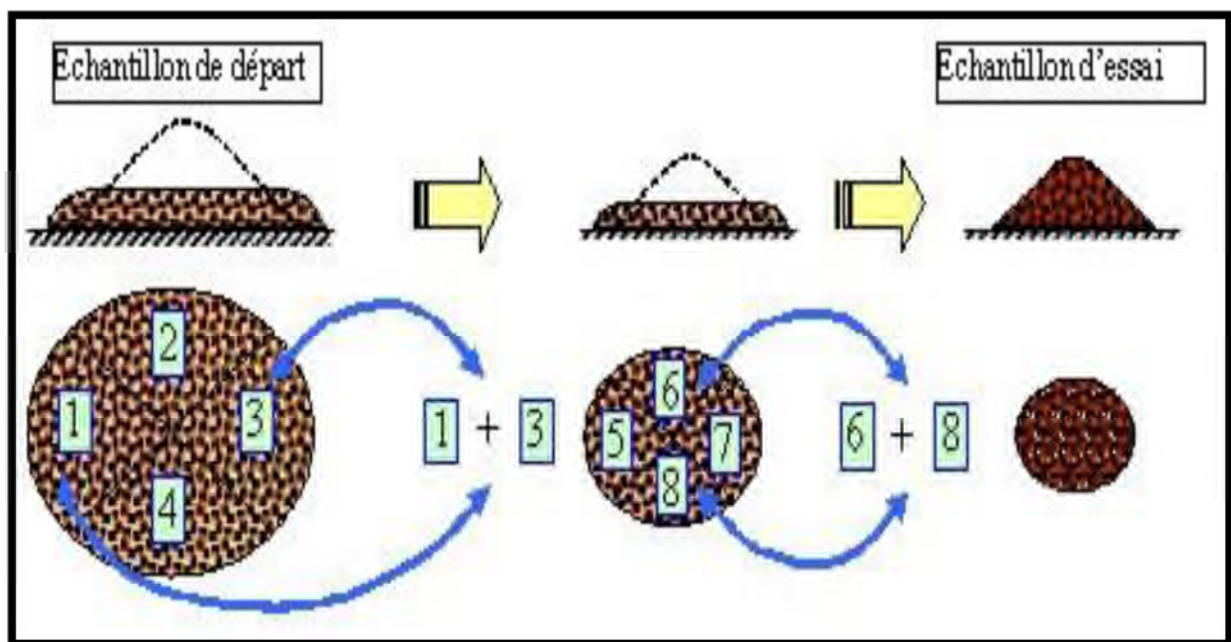


Figure III.2 : Opération de quartage

➤ Broyage

L'échantillon est broyé dans un à l'aide du pilon, par mouvements tournant jusqu'à ce que les particules de sol soient à grain unique.

➤ Tamisage N°2 :

Le broyat est tamisé à nouveau sur un tamis de 125 micromètre dans un appareil de tamisage à secousse.

Le quartage, broyage et le tamisage N°2 ont été effectués dans le laboratoire de minéralogie des sols de génie des procédés.

❖ Conditionnement des échantillons

Pour l'étude des ETM, des précautions ont été prises lors de l'échantillonnage afin d'éviter toute contamination, chaque échantillon de sol ont été placés dans des sacs en plastique de «qualité alimentaire» (Pansu et al, 1998).

IV Détermination de la teneur totale des ETM-Extraction totale

IV.1 Principe

Il existe différentes méthodes d'extraction dite totale. Pour les éléments métalliques, la méthode de solubilisation la plus utilisée est la minéralisation par attaques acides. Réalisée en milieu ouvert ou fermé et à chaud (150°C), elle utilise l'acide nitrique, l'eau régale (mélange acide chlorhydrique/acide nitrique) ou un mélange d'acide perchlorique et d'acide fluorhydrique (Afnor. NF X31-147, 1996).

IV.2 Analyse des éléments mis en solution par attaque à l'eau régale

Matériel et réactifs utilisé

- Balance de précision ;
- Bain de sable ;
- 3 bichers ;
- 2 pipettes ;
- 2 barreaux magnétiques ;
- 2 fioles de jauge de 100ml ;
- 2 Entonnoirs ;
- Papier filtre ;
- Une eau distillée ;
- L'acide chlorhydrique (HCl) ;
- L'acide nitrique HNO₃.

Mode opératoire :

- Peser 1 g de sol dans un bicher ;
- Ajouter 6ml de HCl et 2ml d'HNO₃ ;
- Agiter pendant 2 minutes sur un agitateur magnétique a l'aide d'un barreau magnétique ;
- Mettre le bicher dans un bac de sable a température 150C° jusqu'au séchage ;
- Refaire la même manipulation pour une deuxième fois ;
- Ajouter 2ml d'HCl et laisser refroidir ;
- Filtrer avec de l'eau distillé jusqu'au trait de jauge 100 ml.

IV.2 Le citron

IV.2.1 Echantillonnage :

500 g de citron ont été récoltés à la main dans les deux sites (siteI, siteII) par un échantillonnage aléatoire puis mis dans un sac en plastique de qualité alimentaire.

IV.2.2 Minéralisation, mise en solution

Principe

Cette méthode s'adresse à tout matériel végétal ou ligneux.

La minéralisation est l'opération par laquelle la matière organique est détruite libérant ainsi les matières minérales que l'on peut alors mettre en solution. Il existe deux grands types de procédures : la minéralisation par voie sèche et celle par attaque acide oxydante.

- **Minéralisation par voie sèche:** l'échantillon est placé dans un four à moufle et chauffé progressivement jusqu'à 480°C. La matière organique est détruite par combustion. Le résidu est constitué par la cendre minérale. L'opération de minéralisation doit être complétée par mise en solution en milieu acide des cendres obtenues. Cette méthode peut s'appliquer à l'ensemble des éléments en traces mais est inadaptée pour le dosage des éléments volatils (mercure, sélénium, arsenic, etc.).
- **Minéralisation par attaque acide oxydante:** l'échantillon est placé dans une solution acide et oxydante puis chauffé jusqu'à destruction de la matière organique. La mise en solution est concomitante de la minéralisation. Cette méthode est utilisable pour les éléments volatils moyennant certaines précautions: attaque en milieu fermé (bombes utilisées notamment par chauffage par micro ondes) ou semi fermé (ballons munis de réfrigérants). (Allen et *al*, 1986)
- ❖ Dans notre étude on a utilisé la minéralisation par voie sèche méthode applicable pour doser les éléments suivants: calcium, cadmium, magnésium, sodium, fer, plomb cuivre, zinc

V.2.2 Minéralisation par voie sèche

1- Obtention des cendres

Principe

Le taux de cendres de matériel végétal est le résidu minéral après destruction de la matière organique par calcination.

Cette détermination peut être réalisée à 500°C au cours de la procédure de mise en solution des éléments minéraux (Procédure PopV04) (Allen et *al*, 1986).

2- Matériel utilisés

- Four à moufle ;
- 4 capsules en porcelaine.

3- Mode opératoire

- Peser avec précision, 5 g de citron (peau, pulpe) dans une capsule de porcelaine préalablement nettoyée et tarée ;
- Mettre la capsule dans un four à moufle à 500 °C pendant 4 heures ;
- Laisser les capsules une heure dans le four avant de les retirer.

4- Mise en solution des cendres

Cette méthode de mise en solution d'éléments minéraux contenus dans un matériel végétal préalablement calcinée (Allen et al, 1986).

Matériels utilisés

- Bain de sable ;
- Acide nitrique ;
- Acide chlorhydrique ;
- 2 fioles de jaugeés de 100 ml ;
- 2 Entonnoir ;
- Papier filtre.

Mode opératoire

- Après refroidissement, humecter les cendres avec quelques gouttes d'eau ;
- Ajouter 2ml de HCl et évaporer à sec sur le bain de sable à température 120°C ;
- Ajouté 3ml de HCl +1ml de HNO₃ et laisser en contact 10 minutes ;
- Filtrer avec de l'eau distillée dans des fioles jaugées de 100 ml ;
- Après avoir ajusté au trait de jauge homogénéisé la solution par agitation manuelle.

❖ L'ensemble des analyses ont été réalisées par spectrophotomètre atomique flamme (Aurora Instruments Ltd-AI 1200) au sein de laboratoire de Centre National de Textile et du Cuire (CNTC) de Boumerdes.

I- Analyses des métaux lourds

V.1- Dosage

Les échantillons ainsi mis en solution ont été dosés par spectrophotomètre atomique à flamme domaine de travail de l'ordre du mg/l technique s'appliquant aux éléments en traces qui ne sont ni volatils ni fortement réfractaires.

V.2- Appareillages

La quantification des métaux en solution est réalisée par spectrophotomètre atomique à flamme. (Aurora Instruments Ltd-AI 1200) (Fig III.3).

La spectroscopie se base sur l'analyse des rayonnements électromagnétiques se traduisant par un spectre d'absorption du gaz dans des longueurs d'onde spécifiques. Ces méthodes utilisent l'absorption dans le visible, l'ultraviolet et l'infrarouge, mesurée grâce au spectromètre, souvent appelé spectrophotomètre dans les articles. La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est une des méthodes de spectroscopie (M. Pinta, 1980).

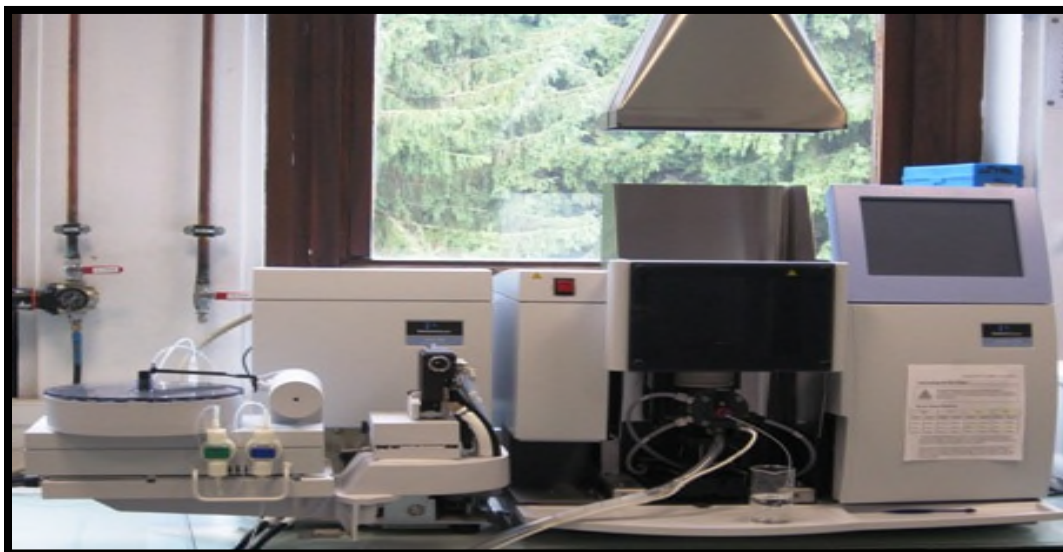


Figure III.3: Spectrophotomètre atomique à flamme

Principe de l'appareille

L'appareil est schématisé ci-dessous :

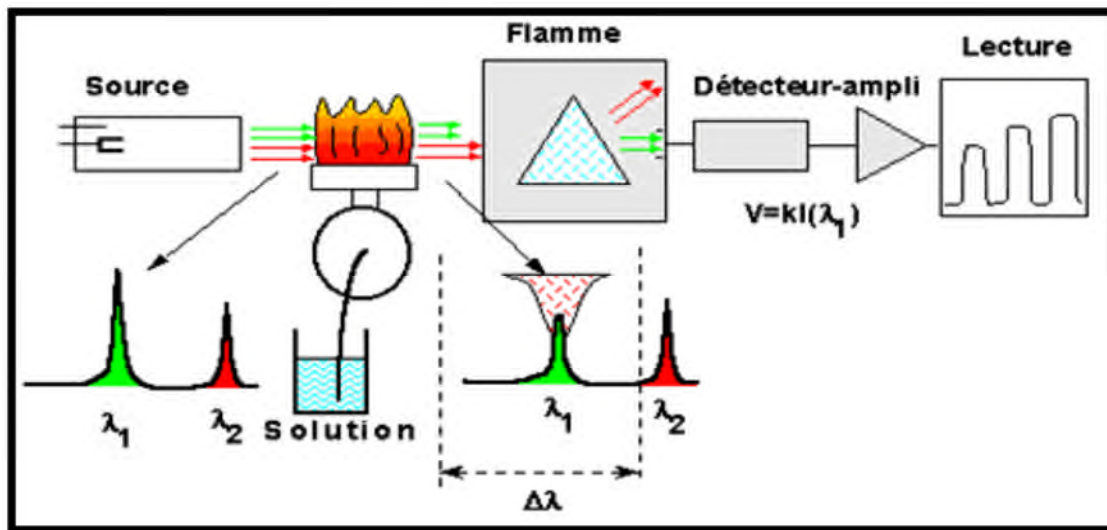


Figure III.4: Principe de la SAA

La SAA est fondée sur le principe que les atomes libres peuvent absorber la lumière d'une certaine longueur d'ondes. L'absorption de chaque élément est spécifique, aucun autre élément n'absorbe sa longueur d'ondes. L'absorption de lumière par les atomes fournit ainsi un puissant instrument analytique à la fois pour l'analyse quantitative et qualitative.

L'élément à doser doit être en solution diluée. La spectrométrie permet en effet un dosage d'élément sous forme de traces (parties par million ou mg/l). La lampe à utiliser doit émettre des photons dont l'énergie correspond à l'excitation d'un atome (lampe à cathode creuse mono-élément).

Les métaux les plus couramment dosés sont le cadmium (Cd), le plomb (Pb) et le zinc (Zn), classiquement analysés dans le cas d'étude d'impact de projets routiers. Les autres métaux [le cuivre (Cu), le cobalt (Co), le chrome (Cr), et le fer (Fe)] sont plus souvent recherchés dans le cas d'étude de sols de type friche industrielle (Pinta, 1980).

Chapitre IV :

Résultats et discussion

L'objectif de ce chapitre est d'exposer les résultats de notre étude.

Après la mise en solution, on a déterminé la concentration totale des trois métaux lourds : plomb (Pb), cadmium (Cd) et le zinc (Zn), en utilisant le spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme. L'ensemble des résultats obtenus de l'analyse des teneurs totales de ces métaux lourds, est donné dans les tableaux (IV.1-IV.4) et représenté sous formes d'histogrammes dans les figures (IV.1-IV.4).

I Teneurs des métaux lourds dans les sols et le citron prélevés dans les deux sites Expérimental et Témoin:

I.1 Site I (Site Expérimental)

DESIGNATION	UNITE	PLOMB	CADMIUM	ZINC
Sol I	mg /l	0.0924	0.0284	0.0881
Citron I	mg /l	0.0811	0.0431	0.0724

Tableau IV.1 : concentrations en mg/l du Pb, Cd et Zn dans le sol et le citron du site (I)

→ Les concentrations en métaux mesurées dans le sol présentés dans le tableau fluctuent, selon le métal, en l'ordre suivant:

$$[Pb] > [Zn] > [Cd]$$

→ Les concentrations en métaux mesurées dans le citron présentés dans le tableau fluctuent, selon le métal, en l'ordre suivant:

$$[Pb] > [Zn] > [Cd]$$

I.1.1 Présentation des résultats par l'histogramme

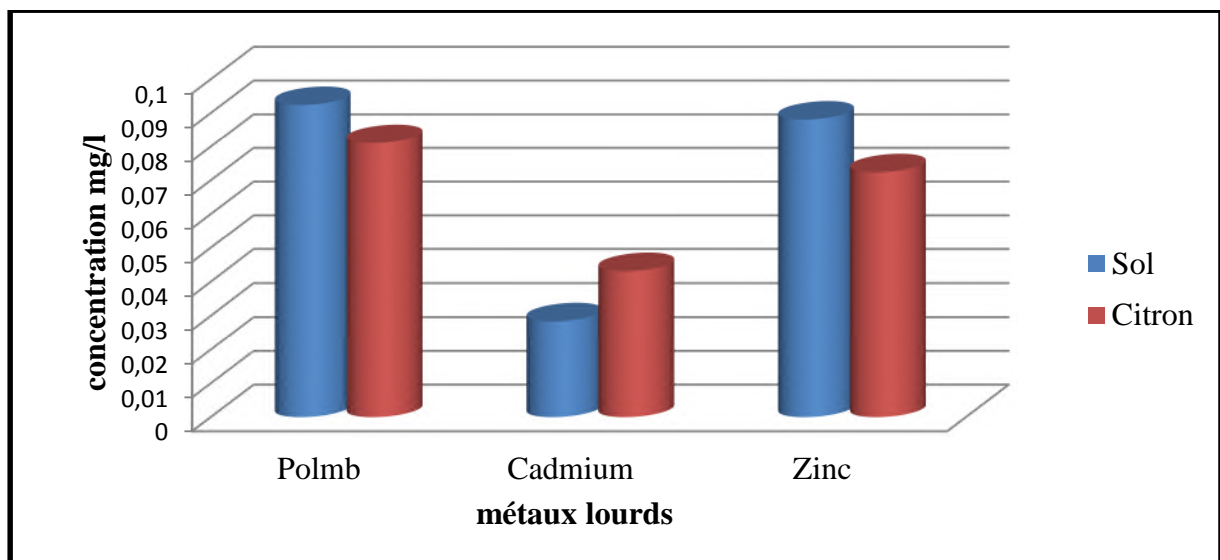


Figure IV.1 : teneurs des métaux lourds en mg/l dans le sol et le citron prélevé dans le site I

- Cet histogramme illustre la teneur du (Pb), (Cd) et Zn dans le sol et le citron du site (I)
- La teneur en Pb et en Zn dans le sol dépassent les teneurs mesurées dans le citron, par contre la concentration de Cd est plus élevée dans le citron que dans le sol ;
 - La concentration du plomb est élevée à celle du cadmium et du zinc ;
 - La concentration du cadmium dans le citron est élevée à celle du sol
 - La concentration du plomb s'approche à la concentration du zinc pour les deux éléments (sol, citron) même si le zinc est un élément essentiel pour la plante ;
 - La concentration du plomb dans le citron s'approche à celle du sol ;
 - La concentration du zinc dans le citron s'approche à celle du sol

I.2 Site II (Site témoin)

DESIGNATION	UNITE	PLOMB	CADMIUM	ZINC
Sol II	mg /l	0.0841	0.0110	0.0500
Citron II	mg /l	0.0224	0.0094	0.0214

Tableau IV.2 : concentrations en mg/l du Pb, Cd et Zn dans le sol et le citron du site (II)

- Les concentrations en métaux mesurées dans le sol présentées dans le tableau fluctuent, selon le métal, en l'ordre suivant: [Pb] > [Zn] > [Cd]
- Les concentrations en métaux mesurées dans le citron présentées dans le tableau fluctuent, selon le métal, en l'ordre suivant: [Pb] > [Zn] > [Cd]

I.2.1 Présentation des résultats par l'historgramme

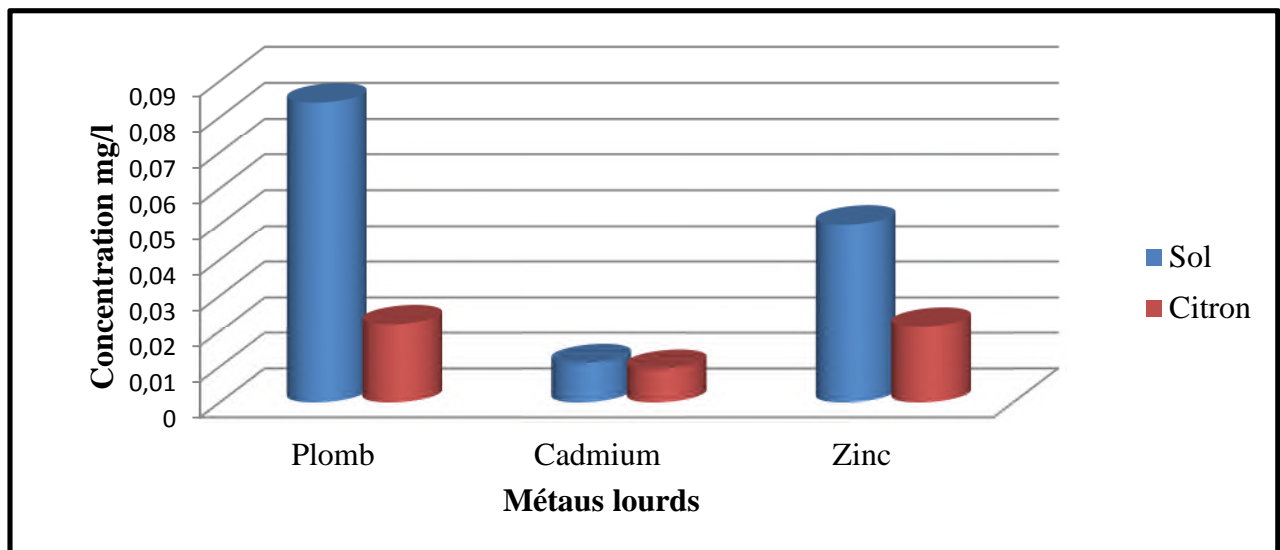


Figure IV.2 : teneurs du (Pb), (Cd) et Zn dans le sol et le citron du site (II)

- Cet histogramme illustre la teneur du (Pb), (Cd) et Zn dans le sol et le citron du site (II)
- La concentration du plomb est supérieure et élevée à celle du cadmium et le zinc,
 - La teneur des 3 métaux dans le sol dépassent les teneurs mesurées dans le citron ;
 - La concentration du plomb dans le citron est petite si en la compare à la concentration dans le sol ;
 - La concentration du zinc dans le citron est petite si en la compare à celle du sol ;
 - La concentration du cadmium dans le citron est proche à celle du sol.

II Comparaison des concentrations des métaux lourds pour les éléments (expérimentaux et témoins)

II.1 Pour le sol

DESIGNATION	UNITE	PLOMB	CADMIUM	ZINC
Sol site(I)	mg/l	0.0924	0.0284	0.0881
Sol site (II)	mg/l	0.0841	0.0110	0.0500

Tableau IV.3 : concentrations en mg/l du Pb, Cd et Zn dans le sol des deux sites.

II.1.1 Présentation des résultats par l'histogramme

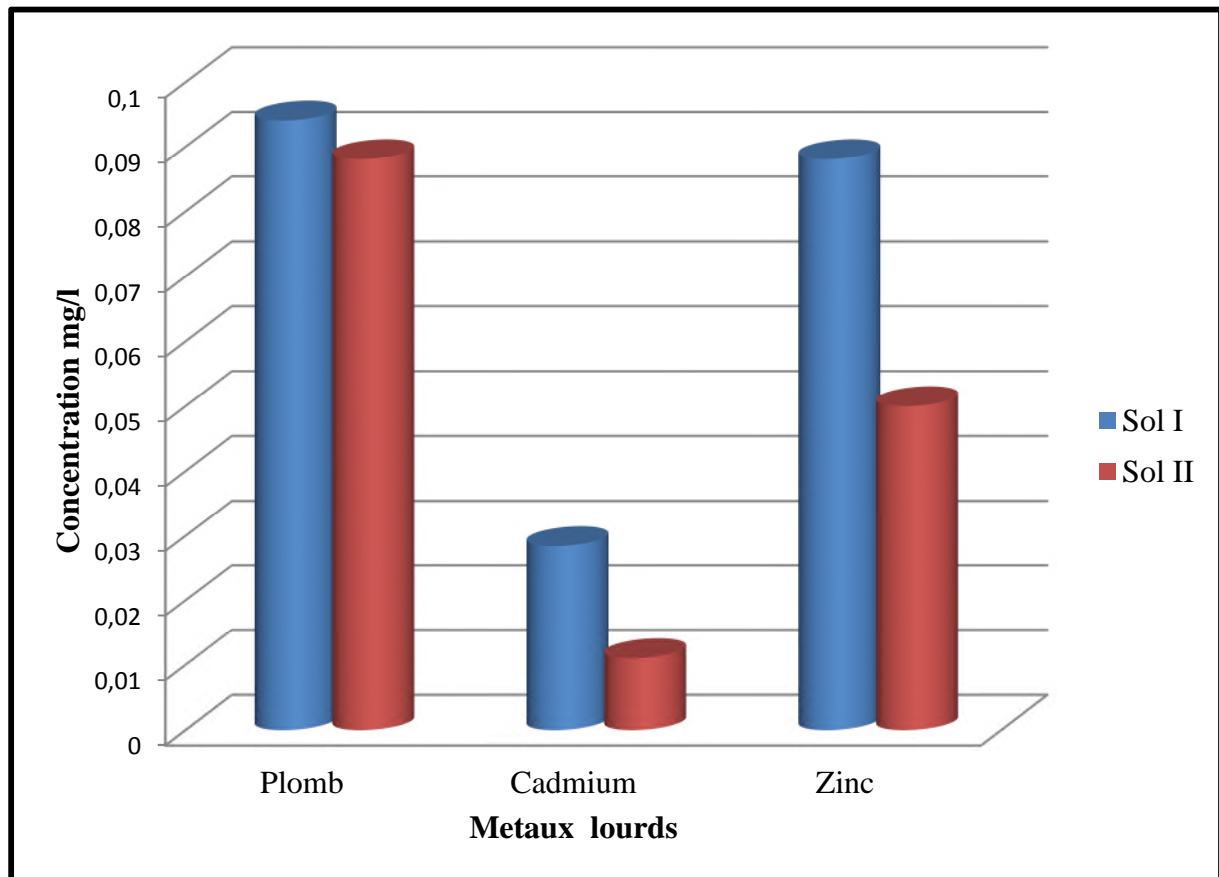


Figure IV.3 : La teneur du (Pb), (Cd) et Zn dans le sol des deux sites.

Cet histogramme illustre la teneur du (Pb), (Cd) et Zn dans le sol des deux sites

→La concentration des ETM dans le sol (expérimental) est supérieure à celle du sol témoin, Pb (0.0924 > 0.0841), Cd (0.0284 > 0.0110), (Zn 0.0881 > 0.0500) ;

→La concentration du plomb dans le sol témoin est proche à celle du sol expérimental ;

→La concentration du cadmium dans le sol cas est supérieure à celle du sol témoin ;

→La concentration du zinc dans le sol expérimental est supérieure et élevé à celle du témoin.

La concentration des ETM dans le site expérimental est doublement supérieure à celle du site témoin ce qui confirme notre hypothèse de départ que les sols à proximité des routes sont contaminés par les ETM issue du trafic routier.

II.2 Pour le citron

DESIGATION	UNITE	PLOMB	CADMIUM	ZINC
Citron (I)	mg/l	0.0811	0.0431	0.0724
Citron (II)	mg/l	0.0224	0.0094	0.0214

Tableau IV.4 : concentrations en mg/l du Pb, Cd et Zn dans le citron des deux sites.

II.2.1 Présentation des résultats par l'histogramme

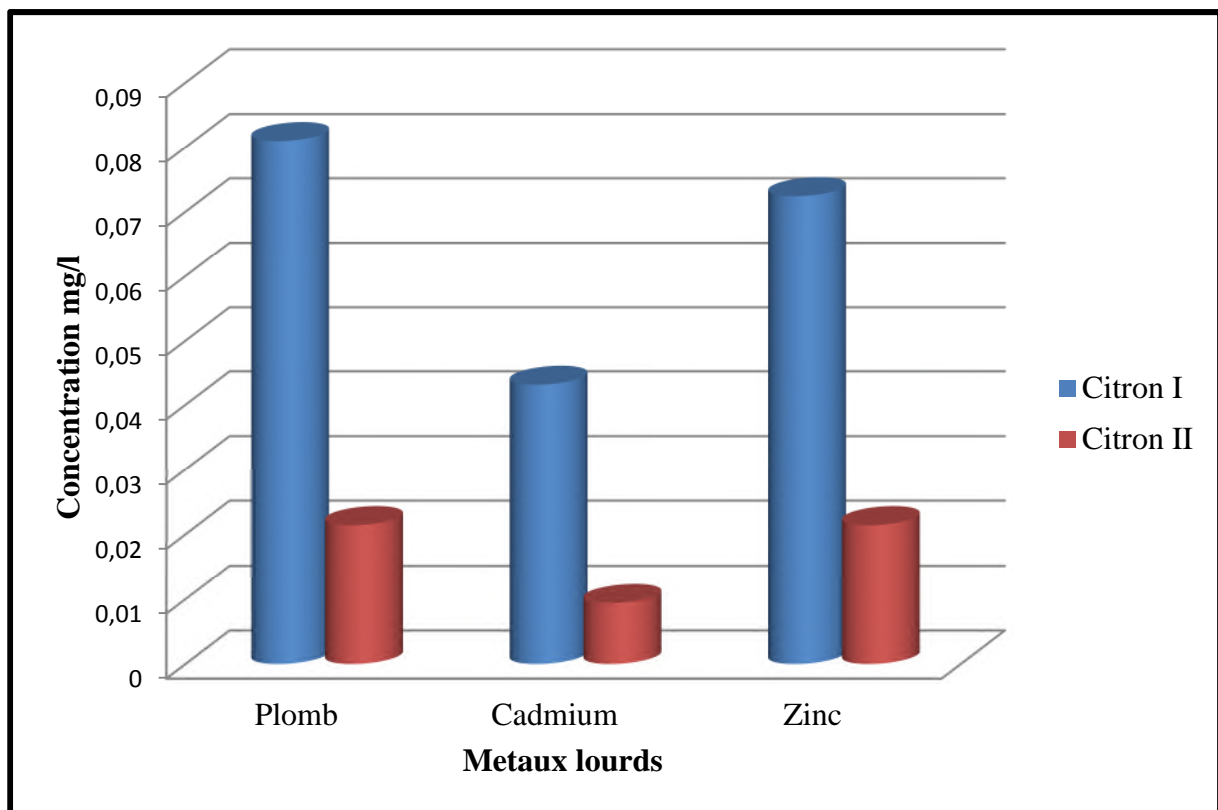


Figure IV.4 : concentrations en mg/l du Pb, Cd et Zn dans le citron des deux sites.

Cet histogramme illustre la teneur du (Pb), (Cd) et Zn dans le citron des deux sites :
→La concentration des ETM dans le citron (expérimental) est supérieure à celle mesurées dans le citron (témoin), Pb ($0.0811 > 0.0224$), Cd ($0.0431 > 0.0094$), (Zn $0.0724 > 0.0214$) ;

Conclusion et recommandation

L'étude de contamination métallique du sol et du fruit d'un citronnier de la zone d'étude (INRAA de Oued-Ghir), nous a permis d'évaluer le degré de contamination métallique d'origine automobile dans cette zone.

Cette étude a permis d'accéder à des connaissances sur la teneur de trois éléments traces métalliques Pb, Cd et Zn dans le sol et le citron prélevé dans deux sites situés à 50 m et 500 m d'un axe routier.

Les résultats d'analyse par Spectrophotomètre d'Absorption Atomique révèlent dans un premier temps que les teneurs en Pb, Cd et Zn dans le site d'étude (Site I) sont élevées comparées à celles du site témoin (Site II). Dans un deuxième temps, les teneurs en ETM trouvées dans le citron permettent de comprendre qu'il y a un transfert sol-plante et que les ETM ne sont pas immobilisés dans le sol, de ce fait, les végétaux bioaccumulent des métaux lourds.

Le plomb est le traceur le plus adapté à la contamination des sols, car il présente la concentration la plus élevée dans les deux sites par rapport aux autres éléments étudiés (Cd, Zn) cela est dû à l'utilisation de carburant plombé dans les véhicules.

La plus importante contamination a été observée dans le sol et le citron à proximité de la route. La teneur du Pb, Cd et du Zn dans le sol et le citron diminue avec l'augmentation de la distance à partir de la route.

Au vu de ces résultats, les sols de bord de route sont les récepteurs des polluants, tels que les métaux lourds, émis par les véhicules via les retombées atmosphériques. Les ETM sont transférés vers les végétaux ou ils sont accumulés.

De point de vue éco-toxicologique, le transfert des métaux lourds vers les végétaux est une propriété non désirable puisque les ETM qui s'accumulent peuvent passer dans la chaîne alimentaire et avoir un impact sur la santé humaine.

Dans une optique de prévention, nous tenons à proposer quelques mesures envisageables afin de limiter l'impact des éléments traces métalliques sur la santé et l'environnement :

- ✓ S'éloigner des zones à risque (mesure d'évitement).
- ✓ Utilisation de carburants non plombés (essence sans plomb)
- ✓ Phytotechnologie : consiste à utiliser des plantes hyper-accumulatrices pour extraire les métaux lourds présents dans les sols au bord de la route, ces plantes doivent être récoltées et incinérées.
- ✓ Lavage des aliments avant de les consommer.

Bibliographie

A

- Adriano D.C., (2001). Trace elements in the terrestrial environment. Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals, 2nd Edition New York: Springer-Verlag
éléments en traces : influence des micro-organismes du sol. TEC & DOC, Paris
- Afnor. NF X31-147., (1996b). Qualité des sols-Sols-sédiments-Mise en solution totale par attaque acide. Paris, France. (p19).
- Afnor. NF X31-100., (2003). Qualité des sols. Détermination de la distribution granulométrique des particules du sol-Méthode à la pipette.Paris, France. 20p.
- A.N.R.H. Données hydrologiques du bassin versant du barrage Hammam Boughrara Réalisé par l'agence national des ressources Hydrauliques, direction (A.N.R.H).
- Allen S.E., Grimshaw H.M., Rowland A.P., (1986). Chemical analysis. In P.D. Moore, S.B Chapman (Eds.), Methods in Plant Ecology. Blackwell Scientific Publication, Oxford, London. 285-344.
- ALLOWAY B. J., (1995). *Heavy metals in soils*, London, Blackie academic & professional,

B

- Baath E., (1992). Measurement of heavy metal tolerance of soil bacteria using thymidine incorporation into bacteria extracted after homogenization-centrifugation, J. Soil Biology and Biochemistry. 24:1167-1172.
 - Baize D. et Sterckeman T., (décembre 2002). Importance de la détermination du fond pédogéochimique pour évaluer la pollution des sols par des métaux. L'exemple du site de Dornach. Rencontre nationale de la recherche sur les sites et sols pollués. Paris. ADEME, p6.
 - Baize D., (1997). Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). Edition INRA, p408.
 - Baker A.J.M., et P. L. (1990). Walker P.L. Ecophysiology of metal up take by tolerant plants. In J. Shaw (Ed). Heavy Metal Tolerance in plants: Evolutionary aspects. CRC Press, Boca Raton, Florida, p155-178.
 - Bert V., Deram A. (1999), *Guide des phytotechnologies : utilisation des plantes dans la dépollution et la réhabilitation des sites contaminés par les métaux lourds*, France, Environnement et Développement alternatif.
 - Bernard M., et Virgine B., Etude d'environnement et analyse des projets. Centre d'étude technique de l'équipement de Lyon. 2005
-

Bibliographie

- Bliefert C., et Perraud R., Chimie de l'environnement. Air, eau, sols, déchets. De Boeck Université, Paris, Bruxelles, 1^{re} édition, 2001.
- Blum W., Brandstetter A. et W. W. Wenzel. Trace element distribution in soils as affected by land use. In Biogeochemistry of Trace Metals, Science reviews. (1997) p432.
- Bourrelier P.H., Berthelin J., Contamination des sols par les éléments en traces: les risques et leur gestion. Rapport n°42 à l'Académie des Sciences. Paris, France: Lavoisier Tec & Doc, (2008) p440.
- Buchdahl J., Encyclopédia of the atmospheric environment, (2000).

C

- Chichkov B.N., Momma C., Nolte S., Von F., (2000), and Tün-nermann A., Femtosecond, picosecond and nanosecond laser ablation of solids. *Appl. Phys. A*, 63 :109–115, 1996.
- Clemens S., et A long way ahead A., (2002) . understanding and engineering plant metal accumulation, *J. Trends. Plant. Sci.* 7 309-315.
- Cornu S., et Clozel B.L., Extractions séquentielles et spéciation des éléments trace métalliques dans les sols naturels. *Analyse critique. Étude et gestion des sols.* 7 p179-189.

D

- 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.
- Duchaufour P., (1997) *Abrégé de pédologie: Sol, Végétation, Environnement*. 5^{ème} Edition. Paris, France : Masson, SA, (p291)

E

- Elichegray ch., (2008), « la pollution de l'air, sources, effets, prévention », Edition Dunod, Paris
 - El Morhit M., Fekhaoui M., Serghini A., El Blidi S., El Abidi A., Bennaakam R., Yahyaoui A., Jbilou M. (2008). Impact de l'aménagement hydraulique sur la qualité des eaux et des sédiments de l'estuaire du Loukkos (côte atlantique, Maroc). *Bull. Inst Sci.*, 30,39–47.
-

Bibliographie

- Envans J.L , 1989. Chemistry of metal retention by soil, J. Environ Sci Technol. 23 (1989) 1046-1056

F

- Fageria N.K., Baligar V.C., Clark R.B., (2002). Micronutrient cultures, Fageria production adv. Agron. New York. 77 (p 189-272).

H

- Hillel D., (1988). L'eau et le sol, principes et processus physiques. Edition Academia, p294.

I

- I.E.T., (Septembre 2003). Pollution des eaux du barrage Hammam Boughrara. Réalisé par l'inspection de l'environnement. Tlemcen, Algérie
- Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie(INRAA)., (2002). Bilan centre de recherche Oued Ghir Bejaia, (2002)

J

- JUSTE C., (1988), « Appreciation de la mobilite et de la biodisponibilite des elements en traces du sol », *Science du sol*, Vol. 26, n°2, pp. 103-112.

K

- Kabata-Pendias A., (2001). Trace Elements in Soils and Plants, Third Edition CRC Press, Boca Raton, USA Telemcene Memoir Doctorat

L

- Logan J., Traina S.J., (1993). Trace metals in agricultural soils. In Metals in groundwater, Edition Lewis Publishers; p309-347.
- Lozet J., et Mathieu C., (2002). Dictionnaire de Science du sol, Tec et Doc, Lavoisier. Paris, France.

M

- Masclet P., (2005), « Pollution atmosphérique (causes, conséquences, solutions, perspective) », éditions Ellipse.
 - M. N. V., (2004). Prasad. Heavy metal stress in plants from biomolecules to ecosystems (2ème édition) Springer
-

Bibliographie

N

- Nieboer E., Richardson D., (1980). The replacement of the descript term "Heavy Metals" with biologically and chemically significant classification of metal ions, J. Environ Pollution. (p 13-26)
- Norrström A.C., (2005), Metal mobility by de-icing salt from an infiltration trench for highway runoff, Applied Geochemistry, 20 (10), 1907-1919.

P

- Pansu M., Gautheyrou J., et Loyer J., (1998). L'analyse du sol, échantillonnage, instrumentation et contrôle, Masson. France. p19.
- Prasad M.N.V., (2004). Heavy metal stress in plants from biomolecules to ecosystems (2ème édition) Springer.
- Pauwels J.M., Van Ranst E., Verloo M., et Mvondoze A., (1992). Manuel de laboratoire de pédologie, Publi. Agricoles 28 AGCD, Bruxelles.
- Pereira B., et Sonnet P., (2007). La contamination diffuse des sols par les éléments traces métalliques en région Wallonne.
- Pinta M., (1980). Spectrométrie d'absorption atomique. Applications à l'analyse chimique. Paris, Masson, 2ème édition, 2 (1980) p696.
- Pugh R.E., Dick D.G., Fredeen A.L., (2002). Heavy metal (Pb, Zn, Cd, Fe and Cu) contents of plant foliage near the Anvil Range lead/zinc mine, Faro, Yukon Territory, J. Ecotoxi. Environ. Safety 52. 273-279.

R

- Ramade F., (1993). Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'environnement. Paris, France: Edition Science, p822.

S

- Sandrine G., (2005). et al. Pollution atmosphérique par les métaux Biosurveillance des retombées. EDP Sciences/ADEME Éditions,.
 - Sanità di Toppi L., Gabbrielli R. (1999). Response to cadmium in higher plants, J. Environ and Experimental Botany. 41 105-130.
 - Service d'études technique des routes et autoroute., (2004). La pollution des sols et des végétaux à proximité des routes : Eléments traces métallique.
 - Sposito G., (1989). The chemistry of soils. Edition Oxford University Press, p 277
-

Bibliographie

V

- Viard, B., Maul A., et Pihan J., (2004). Standard use conditions of terrestrial gastropods in activebiomonitoring of soil contamination. *Journal of Environmental Monitoring*, **6**: 103-107.
- VINCENT A., (2002), « Conception et simulation d'un reacteur fil-cylindre à décharge couronne avec barrière diélectrique adapté au traitement des oxyde d'azote dans des affluents marqués un isotope », thèse de Doctorat de l'université de Paris VI, pp 16-46
- Von Storch H., Costa-Cabral M., Hagner C., Feser F., Pacyna, J., Pacyna E., Kolb S., (2003). Four decades of gasoline lead emissions and control policies in Europe: a retrospective assessment. *Sci. Total Environ.* 311 (1–3), 151–176.

W

- Wang Q. R., Cui Y. S., Liu X. M., Dong Y. T., Christie P. (2003). Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China. *J. Environ. Sci. Health Part A Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng.* 38, 823-838.

Site Web :

- Anonym 1, <http://www.kasraoui.com/Secteur-Agricole/Agrumes-Citronnier.html>
 - Anonym 2, <http://www.depechedekabylie.com/>
-

Glossaire

- **Accumulation** : accroissement de la concentration d'une substance toxique qui transite d'un milieu naturel (eau, sol) à une plante, puis à une série d'animaux formant une chaîne alimentaire.
 - **Biodisponibilité** : représente la capacité d'un élément trace métallique à passer d'un compartiment du sol quel qu'il soit vers une bactérie, un animal ou un végétal vivant dans ce dernier.
 - **bronchites chroniques** : est une inflammation des bronches, provoquant toux et crachats pendant au moins 3 mois par an depuis plus de 2 années successives, en l'absence d'autre maladie respiratoire.
 - **Effet chronique** : désigne un trouble en rapport avec une exposition faible et prolongée, survenant en général avec un temps de latence qui peut atteindre plusieurs mois, voire des décennies, et habituellement irréversible en l'absence de traitement.
 - **Effet aigu** : désigne un trouble lié à une exposition courte mais à forte dose, généralement, immédiat ou survenant à court terme (quelques heures à quelques jours) et disparaissant spontanément quand cesse l'exposition, si celle-ci n'a pas occasionné des désordres irréversibles.
 - **Intoxication** : est un ensemble de troubles du fonctionnement de l'organisme dus à l'absorption d'une substance étrangère, dite toxique
 - **Impact** : effet d'une action ou d'une substance.
 - **Mobilité** : l'aptitude d'un élément à passer dans des compartiments à un autre
 - **La matière organique** : est la part de la matière formée des êtres vivants végétaux, animaux, ou micro-organismes, formant ensemble la biomasse, ou la matière résultant de leur décomposition.
 - **Mutagène (agent mutagène)** : est un agent qui change le génome (en général l'ADN) d'un organisme et élève ainsi le nombre de mutations génétiques au-dessus du taux naturel.
 - **Nécrose** : est une forme de dégât cellulaire qui mène à la mort prématurée et non programmée des cellules dans le tissu vivant.
 - **Néphrologie** : La néphrologie est la spécialité médicale qui prend en charge le diagnostic et le traitement de l'ensemble des maladies rénales (appelées néphropathies), qui affectent la filtration du sang, fonction première des reins.
 - **Pédologie** : (du grec Pedon, sol) est une des deux branches principales de la science des sols, de leur formation et de leur évolution.
 - **Pharyngite**: c'est une inflammation du larynx qui se caractérise par des douleurs à la gorge et à la déglutition.
-

Glossaire

- **Pollution atmosphérique** : l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes.
 - **Rhinite** : est le terme médical décrivant l'irritation et l'inflammation (aiguë ou chronique) des muqueuses de la cavité nasale.
 - **Saturnisme** : est le nom de la maladie correspondant à une intoxication aiguë ou chronique par le plomb.
 - **Toxicité** : est la mesure de la capacité d'une substance (ex : produit chimique, radionucléide, molécule organique...) à provoquer des effets néfastes et mauvais pour la santé ou la survie chez toute forme de vie (animale telles qu'un être humain, végétale, fongique, bactérienne).
-

Résumé

La densité du trafic routier accroît l'émission globale des polluants atmosphériques, ces polluants ont un impact sur l'environnement : les transports routiers polluent l'atmosphère, l'eau et la terre près de la route principale via les retombées atmosphériques. Les polluants de la circulation routière incluent des métaux toxiques, tels que le plomb, cadmium, et le zinc représentent un risque important de santé publique.

Afin d'évaluer la contamination induite par le trafic à proximité de la route nationale N°12 de la commune de Oued-Ghir, une étude a été menée sur deux sites (site I et site II) différents en termes de distance (50m et 500m de l'axe routier). La concentration des trois éléments traces métallique ; Plomb, Cadmium ainsi que le Zinc ont été mesurés à l'aide d'une Spectrophotométrie d'Absorption Atomique dans des sols et du citron prélevé dans les deux sites.

Selon les résultats obtenus pour chaque compartiment, le maximum de contamination est observé dans le site I le plus proche de la route principale. La concentration mesurée dans le sol du site I situé à 50 m de l'axe routier est supérieure à celle du sol éloigné de 500m de ce dernier, Pb (0.0924 > 0.0841), Cd (0.0284 > 0.0110), (Zn 0.0881 > 0.0500). La concentration mesurées dans le citron situé au bord de la route(site I) est supérieure à celle mesurées dans le citron éloigné de la route(site II), Pb (0.0811>0.0224), Cd (0.0431 > 0.0094), Zn (0.0724 > 0.0214).

Les teneurs des éléments traces métallique ont baissé avec l'augmentation de la distance à partir de la route principale nationale.

Mots clés : Trafic routier ; Contamination ; Eléments Trace Métallique ; Accumulation ; Impact.

Abstract

Road traffic density increases the overall emission of air pollutants .These pollutants have an impact on the environment: road transports contaminate the atmosphere, water and soil near the highway via atmospheric fallout. Traffic pollutants include potentially toxic metals for health like Lead, Cadmium and Zinc.

To assess the contamination induced by traffic at the vicinity of a highway N° 12 in Oued-Ghir, a study was carried out on two different sites in term of distance (50m and 500m from the highway). Concentrations of the three metallic elements; Lead, Cadmium and Zinc were measured by Atomic Absorption Spectrophotometer in soil and lemon gathered in the two sites.

According to the results obtained for different compartments, the maximum of contamination is observed in the site I near the highway. The measured concentration in the soil at 50 m of the highway is higher than the concentration in the soil at 500 m far from the it, Pb (0.0924 > 0.0841), Cd (0.0284 > 0.0110), Zn (0.0881 > 0.0500).The concentrations measured in lemon at the vicinity of the highway(site I) were higher than that measured far from it: Pb (0.0811>0.0224), Cd (0.0431 > 0.0094), (Zn 0.0724 > 0.0214).

The levels measured decreased with increasing distance from the highway.

Keywords: Traffic; Contamination; Trace Metal Elements; Contamination; Impact.