

Université de Jijel

Faculté des sciences exactes et de la nature et la vie

Département d' Ecologie et d'Environnement

جامعة جيجل

كلية العلوم الدقيقة و الطبيعة و الحياة

قسم علم البيئة و المحيط



ECC.06109

0-1
0-1

MEMOIRE de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Ecologie Végétale et Environnement

OPTION : Pathologie des écosystèmes

Thème

*Contribution à l'évaluation des teneurs totales en métaux
lourds du sol au niveau du site de la décharge
contrôlée de Beni Ahmed (risque d'une pollution géogène)*

Jury :

Président de jury : Mayache.B

Examineur : Krika.A

Encadreur : Benfridja. L

Présenté par :

Bencharif Naila

Riah Ryma

Session : Juin 2009

Numéro d'ordre:.....



REMERCEMENTS

Avant tous nous remercions dieu qui nous a donné le courage et la force pour réaliser ce modeste travail.

Merci de nous avoir éclairer le chemin de la réussite.

Nous tenons à exprimer nos profondes gratitudes et nos sincères reconnaissances à madame: Boubezari-Benfridja Leila pour ces précieux conseils, ces encouragements et sa patience.

Nos remerciements vont également à:

Mr Mayache. B, président de jury

Mr Knika. A, l'examineur

Nous adressons nos vifs remerciements à tous ceux qui ont participés à l'élaboration de ce travail. Pour leurs aides nous tenons à remercier:

Mr: Boumaza Kamel, directeur de la décharge de Beni Ahmed

et Mr. Benfridja Seddik.

Nos vifs remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants de la filière écologie en particulier Mr Roula Salah Eddine pour son aide et ces précieux conseil et tout le personnel du laboratoire d'écologie.

Enfin, une mention particulière à nos chers parents, amis (es), camarades de promotions et tout ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de notre travail (surtout Yacine et Younes).

Pour tous, merci beaucoup

Sommaire



• INTRODUCTION.....	1
---------------------	---

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Notion de déchets	3
I.1- Définition de déchets	3
I.2- Les types de déchets	3
I.2.1- Déchets urbains	3
I.2.2- Déchets industriels	3
I.2.3- Déchets agricoles	4
I.3- Gestion des déchets	4
I.3.1- Recyclage	4
I.3.2- Incinération	4
I.3.3- Compostage	4
I.3.4- La mise en décharge	4
II. Notion de décharge	5
II.1- Définition de décharge	5
II.2- Types de décharges	5
II.2.1- Décharges brutes	5
II.2.2- Décharges sauvages	5
II.2.3- Décharges contrôlées	5
II.2.3.1- Décharges contrôlées pour matériaux inertes	5
II.2.3.2- Décharges contrôlées pour résidus stabilisés	5
II.2.3.3- Décharges contrôlées bioactives	6
II.3- Lixiviats de décharges	6
II.3.1- Définition	6
II.3.2- La formation des lixiviats	6
II.3.3- Drainage et collecte	6
II.4- Gaz de décharge (biogaz)	6
II.4.1- Définition	6
II.4.2- Les étapes de la formation du biogaz	7
II.4.3- Réglementation du biogaz	7
II.4.3.1- Le captage du biogaz	7
II.4.3.2- Le traitement du biogaz	7
III. Métaux lourds ou éléments traces métalliques	8

III.1- Définition	8
III.2- L'origine des métaux lourds dans le sol	8
III.2.1- L'origine anthropogène	8
III.2.2- L'origine géogène	8
III.3- Fond pédogéochimique	8
III.4- Comportement des métaux lourds dans le sol	8
III.5- Facteurs du milieu affectant la mobilité des métaux lourds dans le sol	9
III.5.1- Le pH	9
III.5.2- La matière organique	10
III.5.3- Le potentiel redox	10
III.5.4- La présence d'autres minéraux	10
III.5.5- Le complexe adsorbant	11
III.5.6- La température du sol et le temps	11
III.5.7- La distance de la source de contamination	11
III.5.8- Les biocénoses	11
III.6- Conséquences de la présence des métaux lourds dans le sol	12
III.7- Métaux lourds étudiés	12
III.7.1- Le plomb	12
III.7.1.1- Généralités	12
III.7.1.2- Caractéristiques physico-chimiques du plomb	13
III.7.1.3- La toxicité du plomb	13
III.7.2- Le cadmium	14
III.7.2.1- Généralités	14
III.7.2.2- Caractéristiques physico-chimiques du cadmium	14
III.7.2.3- La toxicité du cadmium	15
III.7.3- Le zinc	16
III.7.3.1- Généralités	16
III.7.3.2- Caractéristiques physico-chimiques du zinc	17
III.7.3.3- La toxicité du zinc	17
III.7.4- Le manganèse	17
III.7.4.1- Généralités	17
III.7.4.2- Caractéristiques physico-chimiques du manganèse	18
III.7.4.3- La toxicité du manganèse	18
III.7.5- Le cuivre	18
III.7.5.1- Généralités	18

III.7.5.2- Caractéristiques physico-chimiques du cuivre	19
III.7.5.3- La toxicité du cuivre	19
III.7.6- Le nickel	20
III.7.6.1- Généralités	20
III.7.6.2- Caractéristiques physico-chimiques du nickel	20
III.7.6.3- La toxicité du nickel	20

CHAPTRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I- L'état actuel du site et de son environnement	21
I.1- Situation géographique	21
I.2- Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques	21
I.3- Caractéristiques hydrologiques	21
I.4- Caractéristiques climatologiques	23
I.5- Aménagement paysager	24
I.6- Faunes et flores	24
II- L'aménagement et l'équipement de la décharge contrôlée	25
III- Evaluation des capacités du site de la décharge contrôlée	26

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

I- Protocoles expérimentaux	27
I.1- Le terrain	27
I.1.1- Echantillonnage (choix des stations)	27
I.1.2- Prélèvement au niveau des dix stations	27
I.1.3- Technique des prélèvements	27
I.2- Le laboratoire	28
I.2.1- Analyse du sol	28
I.2.1.1- Analyse granulométrique	28
I.2.1.2- Mesure du pH	28
I.2.1.3- Calcaire total	28
I.2.1.4- Matière organique	28
I.2.1.5- Capacité d'échange cationique (CEC)	28
I.2.1.6- Détermination de la conductivité électrique (CE)	29
I.2.1.7- Détermination de la densité apparente	29

I.2.1.8- Dosage des métaux lourds	29
I.2.1.8.1- Extraction	29
I.2.1.8.2- Dosage des métaux lourds (Pb, Cd, Zn, Cu, Mn, Ni)	29
I.2.1.8.3- Justification du choix de l'extraction des teneurs totales	30
I.2.1.8.4- Justification du choix de la méthode d'extraction à l'eau régale	30

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

1. RESULTATS	31
2. DISCUSSION	38
• CONCLUSION	44
• REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	46
• ANNEXES	

Liste des tableaux

Tab.I: relevé pluviométrique au niveau de Jijel pendant la période de prélèvement (Avril 2008- Mars 2009).....	23
Tab.II: relevé thermique au niveau de Jijel pendant la période de prélèvement (Avril 2008- Mars 2009).....	23
Tab. III: Principales caractéristiques physico-chimiques des différentes stations.....	32
Tab.IV: Teneurs totales en métaux lourds des différentes stations.....	33
Tab.V: propositions pour des << seuils d'investigation>> teneurs totales.....	38
Tab.VI: Normes d'interprétation du calcaire total.....	39
Tab.VII: Normes d'interprétation de la matière organique.....	40
Tab.VIII: Normes d'interprétation pour la (C E C).....	41
Tab.X: échelle de salure européenne pour la CE.....	42

Liste des figures

Fig.1: Carte de localisation de la décharge contrôlée de Beni Ahmed.....	22
Fig.2: Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région de Jijel (Avril 2008-Mars 2009).....	24
Fig.3 : Caractérisation des déchets de la ville de Jijel.....	26
Fig.4: pourcentage des fractions granulométriques.....	35
Fig.5: Variations du pH en fonction des stations.....	35
Fig.6: Variations du calcaire total en fonction des stations...35	35
Fig.7: Variations de la matière organique en fonction des stations.....	35
Fig.8: Variations de la CEC en fonction des stations.....	36
Fig.9: Variations de la conductivité électrique en fonction des stations.....	36
Fig.10: Variations de la densité apparente en fonction des stations.....	36
Fig.11: Variations des teneurs en Plomb en fonction des stations.....	36
Fig.12: Variations des teneurs en Cadmium en fonction des stations.....	37
Fig.13: Variations des teneurs en Zinc en fonction des stations.....	37
Fig.14: Variations des teneurs en Manganèse en fonction des stations.....	37
Fig.15: Variations des teneurs en Cuivre en fonction des stations.....	37
Fig.16: Variations des teneurs en Nickel en fonction des stations.....	37
Fig.17: Matrice de corrélation entre: les teneurs en métaux lourds (ppm), pH, CE, MO, Da, CEC et CaCO ₃ dans les dix stations.....	43

Liste des abréviations

AEGM : Annuaire Economique Géopolitique Mondial.
AFNOR : Association Française de Normalisation.
B : Bore.
Ca : Calcium.
CaCO₃ : Carbonate de calcium.
Cd : Cadmium.
CE : Conductivité Electrique.
CEC : Capacité d'échange cationique.
CECAD : Collectif pour l'Etude du Cadmium.
CET : Centre d'enfouissement technique.
CIRC : Centre de Recherche International sur le Cancer.
Cl : Chlore.
CNID : Centre National d'Information indépendante sur les déchets.
Cu : Cuivre.
Da : Densité apparente.
DIB : Déchets Industriels Banals.
DIETM : Droit International de l'Environnement - Traités Multilatéraux.
DIS : Déchets Industriels Spéciaux.
DMS : Déchets Ménagers Spéciaux.
ETM : Eléments Traces Métalliques.
Fe : Fer.
g/cm³ : Gramme par centimètre cube.
Hg : Mercure
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique.
Kg : Kilogramme.
Meq : Milliéquivalent.
Mg : Milligramme.
Mm : Millimètre.
Mn : Manganèse.
MO : Matière Organique
µs/cm : Micro Siemens par centimètre.
Ni : Nickel.
OFEFP : Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage.
OFS : Office fédéral de la statistique.
ONM : Office nationale de météorologie.
OPECST : Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.
P : Précipitation.
Pb : Plomb.
PCB : Polychlorobiphényles.
PCT : Polychloroterphényles.
pH : Potentiel d'hydrogène.
PPm : Parti par million.
S : Soufre.
SAA : Spectrométrie d'Absorption Atomique.
T : Température en degré Celsius.
UIOM : Usines d'Incinération d'Ordures Ménagers.
Zn : Zinc.

Introduction

Introduction

Notre société est de plus en plus confrontée au problème des déchets. Les produits de consommation d'aujourd'hui sont souvent les produits de demain. Dans la vie quotidienne, nous ne prenons conscience du problème des déchets que lorsqu'il nous touche directement, que ce soit par la peur des déchets toxiques ou par la laideur des décharges sauvages.

Pourtant, même quand ils sont invisibles, les déchets finissent tôt ou tard par se rappeler désagréablement à notre souvenir. La composition des déchets est très complexe et toute erreur dans leur gestion ou leur traitement peut avoir de graves conséquences. Les déchets peuvent nuire à tout notre environnement : le sol par les sites contaminés, l'eau par les fuites des décharges défectueuses et l'air par les émissions de dioxine produite lors de l'incinération des déchets à l'air libre ou dans les cheminées. Toutes ces formes de pollution finissent toujours par porter atteinte à notre santé ou à notre bien-être.

Un système complexe et coûteux doit être organisé pour éliminer ces déchets : le ramassage des ordures, constitue la plus grande part des frais, mais le traitement final de ces derniers devient plus difficile à mesure que leur quantité augmente. (Johnston et Carl, 1991).

La façon la plus courante de se débarrasser des ordures ramassées est de les déverser dans des décharges sauvages comme le cas de la décharge de Mazghitane (Jijel) qui a connu une situation critique, ce qui a obligé les autorités compétentes de construire une nouvelle décharge contrôlée, située au niveau de Beni Ahmed (Jijel) pour remplacer l'ancienne décharge, et de ce fait diminuer les risques enjondrés par cette dernière.

Notre travail consiste à faire une étude préliminaire sur le site de la décharge par la détection du fond pédogéochimique ; afin d'éviter à la fois un contresens et une impasse au moment de l'interprétation des résultats. Le contresens consiste à confondre concentration et contamination (apport par une activité humaine), voire même pollution (apport constituant un danger).

La connaissance des fonds géochimiques est importante pour la détection des fortes teneurs en éléments traces qu'elles soient d'origine anthropique ou naturelle. C'est également un moyen d'évaluer le transfert de ces éléments à partir des roches vers les sols, qui jouent un rôle déterminant comme interface vers les autres compartiments cibles que sont l'hydrosphère et la biosphère, puis les sédiments. (Baize, 1997).

Les teneurs (en métaux lourds) trouvées, confrontées aux valeurs indicatives, nous permettent de juger du niveau de contamination des sols considérés.

A coté de l'évaluation des teneurs totales en métaux lourds, un travail de recherche bibliographique est nécessaire, il nous permettra de mieux saisir la notion des concepts de déchets et de décharges, sources émettrices de métaux lourds.

Le dosage des éléments traces doit- être complété par les analyses pédologiques classiques : granulométrie, pH, calcaire total, matière organique, etc., paramètres ayant une influence directe ou indirecte sur le degré de toxicité de ces éléments.

Afin de mieux comprendre la dynamique de la dispersion des métaux lourds ; l'interprétation finale des données, doit être basée sur les teneurs en métaux lourds en fonction de différents paramètres physico-chimiques du sol.

L'objectif de ce travail est donc de déterminer les teneurs totales en métaux lourds du terrain de la décharge contrôlée Beni- Ahmed.

CHAPITRE I

Synthèse Bibliographique

I. Notion de déchet

I.1-Définition :

Toute substance ou tout objet, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire en vertu des dispositions nationales en vigueur -loi internationale du 15 juillet relative aux déchets (London, 1999).

I.2-Les types des déchets :

I.2.1. Déchets urbains

C'est l'ensemble des déchets dont l'élimination, au sens donné par les textes législatifs relève de la compétence des communes. Parmi les déchets urbains on peut distinguer les catégories suivantes:

a) les déchets ménagers et assimilés

Les déchets ménagers correspondent à ceux produit par l'activité domestique des ménages. Les déchets assimilés sont issus de commerce de l'artisanat, des bureaux et des industries.

b) déchets de l'assainissement collectifs

Boue d'épuration, les déchets de curage des réseaux d'assainissement, des déchets de dégraissage et des déchets de dégrillage en tête de station d'épuration.

c) déchets verts des espaces publics

Issue de l'exploitation, de l'entretien ou de la création des jardins et d'espaces verts public.

***Encombrants**

-Déchets de l'activité domestique occasionnelle des ménages :

Ils comprennent notamment les équipements ménagers usagés, tel que l'électroménager, vieux meubles et literie, ferraille, textiles et vêtements, gros cartons... etc.

-Déchets de chantier :

Bâtiment (bois, matière plastique, métaux, béton) et génie civil (asphalté, revêtement routiers).

-Divers

Déchets d'origine animale, voitures usagées, batteries d'automobiles, déchets électroniques.

d) déchets ménagers spéciaux (DMS)

Déchets toxiques ou dangereux produit en faible quantité par les ménages. Ils s'agit de produit de bricolage (solvant, peintures...), d'entretien (détergents), de jardinages (pesticides...) ou de divers déchets comme les piles et les huiles minérales.

I.2.2. Déchets industriels:

Produits par les activités industrielles. Ce sont les déchets qui ne peuvent être ni admis en décharges ni ramassé avec les ordures ménagères en raison de leurs quantité ou de leurs toxicité. Il s'agit entre autres:

a) déchets industriels banals (DIB)

Regroupent les déchets non dangereux produits par les industries et les entreprises du commerce, de l'artisanat, de l'administration... etc. Ce sont des déchets d'entretien et des matériels en fin de vie.

b) déchets industriels spéciaux (DIS)

Appelés aussi toxiques. Ce sont les déchets qui, par leur nature ou leur volume, font courir un risque et nécessitent un traitement spécifique dans des installations adaptées. Parmi les déchets spéciaux on trouve: huiles usagées, matières de vidanges, déchets de soin, déchets de PCB (polychlorobiphényle) et PCT (polychloroterphényles).

c) Déchets inertes

Sont les déchets non toxiques, non biodégradables, très peu solubles dans l'eau et non oxydables.

I.2.3. Les déchets agricoles

Ils correspondent aux déchets de l'élevage, des cultures et de l'industrie agroalimentaire. Les déchets provenant de l'élevage et des cultures sont plus abondants que les déchets industriels. Ils posent un problème d'infiltration dans le sol et ont un inconvénient pour les voisinages (Koller, 2004).

I.3- Gestion des déchets :

La gestion des déchets est un système complexe dans lequel les prix, les capacités et les lois dirigent les flux de matière (O.F.S, 1997).

a) Recyclage

Réintroduction d'un matériau récupéré dans le cycle de production dont il est issu. Exemple ; recyclage des débris de verre ou calcin dans la fabrication du verre (Murat, 1981).

b) incinération

C'est la technique choisie par de nombreux syndicats intercommunaux en raison d'avantages majeurs. Elle permet la valorisation des ordures, en produisant de la chaleur transformée en eau alimentant le réseau de chauffage urbain, ou en électricité (Faurie et al, 2003).

A part l'utilisation de l'énergie, l'incinération a pour objet de réduire le volume des déchets et les quantités de polluants qui, sans elle, seraient rejetés dans l'environnement (O.F.S, 1997).

c) compostage

Le compostage est une méthode par laquelle les matières organiques usées sont décomposées et stabilisées de manière à être récupérées sous forme d'un produit final appelé «compost», qui est employé comme engrais dans l'agriculture (Lamoisc et Roy, 1976).

d) La mise en décharge

Les déchets qu'il est impossible à valoriser doivent être mis en décharges, le cas échéant, après traitement (O.F.S, 1997).

II. Notion de décharge

II.1-Définition :

Ce sont des zones dans lesquelles sont déposés des déchets domestiques ou industriels (Ramade, 2002).

II.2- Types de décharges :

II.2.1- Décharges brutes

Elles sont constituées de déchets municipaux non inertes, elles sont directement exploitées par une municipalité ou laissées par celle-ci à la disposition des administrés, sans autorisation préfectorale au titre de la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement. Elles présentent des risques pour la pollution des sols et les nappes phréatiques.

II.2.2-Décharges sauvages

Elles sont composées de dépôt de détritrus divers, éventuellement toxiques ne faisant l'objet d'aucun contrôle. Certaines sont cataloguées sur la liste noire des sites orphelins en matière de sol pollués (Damien, 2004).

II.2.3-Décharges contrôlées

Appelées centre de stockage ou centre d'enfouissement technique (C.E.T).

Ce sont des sites de qualité géologique convenable où les déchets sont disposés en couches minces recouvertes de terre ou compactés par les engins spéciaux, elles ne peuvent être ouvertes qu'avec une autorisation administrative, donc ce type de décharge est un site industriel qui utilise des technologies modernes (Koller, 2004).

A l'heure actuelle on distingue trois types de C.E.T en fonction des déchets à stocker :

a) Décharges contrôlées pour matériaux inertes

Ne peuvent accueillir que des matières minérales et pauvres en polluants qui ne dégagent quasiment pas de polluants au contact de l'eau. Il s'agit par exemple de déchets de chantiers non mélangés à des déchets spéciaux comme le béton, les tuiles, le verre, les déblais provenant de la réfection des routes et des terres non souillées qui ne peuvent être affectées à un autre usage. A condition d'être implantées dans un site adéquat, ces décharges ne nécessitent pas d'étanchéification particulière.

b) Décharges contrôlées pour résidus stabilisées

Sont destinées à recevoir les matières à forte teneur en métaux lourds, dont la composition est connue et contenant une faible fraction organique, qui ne peuvent produire ni gaz ni substances très solubles dans l'eau. Les plus typiques sont les cendres de filtres solidifiées provenant des UIOM et les boues galvaniques solidifiées issues du traitement de surfaces. Les sites doivent remplir des conditions plus strictes que ceux des décharges contrôlées pour matériaux inertes. Le fond et les

talus de la décharge doivent être étanchés, les eaux de lixiviation collectées et faire si nécessaire l'objet d'un traitement approprié.

c) Décharges contrôlées bioactives

Dans lesquelles il faut escompter des processus chimiques et biologiques. L'évacuation contrôlée des eaux doit être assurée dans ce cas également. En outre, les gaz de ces décharges doivent être captés et traités. En raison de la composition indéterminée de leur contenu, ces décharges constituent les principaux cas potentiels d'assainissement ultérieur coûteux (O.F.S, 1997).

II.3- les lixiviats de décharges :

II.3.1- Définition

Ce sont des eaux résiduaires qui proviennent de la percolation à travers le massif de déchets de l'eau contenue dans les déchets et de l'eau apportée par les précipitations. Sa composition est extrêmement variable selon les différentes classes de stockage (Billar, 1999).

II 3.2- La formation des lixiviats

Le ruissellement et le lessivage de décharges sont la source de lixiviats.

Les mécanismes de formation de lixiviats de nature biologique et physico-chimique sont très complexes.

La genèse des lixiviats implique simultanément des processus aérobies et anaérobies, liés au mode d'exploitation de la décharge (Billar, 1999).

II.3.3- Drainage et collecte

Le caractère imperméable du terrain qui doit garantir la protection des eaux souterraines entraîne la rétention et l'accumulation des percolats en forme d'alvéoles.

Les alvéoles doivent disposer d'un réseau de drainage interne (réseau de collecte de lixiviats) permettant de pomper les percolats dans des puits. Les lixiviats ainsi recueillis au point bas des alvéoles sont refoulés vers les bassins de stockage, pour être épuré ou neutralisés afin d'éviter la contamination des nappes phréatiques (Ramade, 2002. Billar, 1999).

II.4- Gaz de décharge (biogaz) :

II. 4.1- Définition

C'est un mélange gazeux hétérogène et évolutif qui résulte de la dégradation de la matière organique. Sa quantité dépend de nombreux paramètres comme ; la nature des déchets, le taux compactage, l'humidité et la température... etc.

En condition anaérobie, il est constitué de 40 à 60% de méthane, de 35 à 50% de dioxyde de carbone, d'hydrogène sulfuré et de nombreux autres éléments à l'état de traces (CNID, 2001).

II. 4.2- Les étapes de la formation du biogaz

a) fermentation aérobie

Le corps de décharge contient une quantité suffisante d'oxygène permettant la biodégradation aérobie.

b) fermentation acide anaérobie

Dans cette phase, des substances telles que: graisse, cellulose et protéines sont transformées en produits intermédiaires lesquels sont finalement décomposés et la production de CO₂ et H₂ atteint son maximum (Billar, 1999).

c) fermentation alcaline

Par l'intermédiaire des bactéries mutagènes réductrice de sulfates et dans certains cas de dénitrification à partir de la biomasse, il se forme essentiellement du méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂).

d) méthanisation stable anaérobie

Elle commence après 1,5 à 2 ans et dure des décennies dans laquelle la composition des gaz reste constante (Beliefert et Perraud, 2001).

II. 4.3- Réglementation du biogaz

a) le captage du biogaz

Tant que le corps de la décharge indique une pression de gaz interne supérieur à la pression atmosphérique, le gaz de décharge est chassé vers la surface et se dilue dans l'air.

Lors du dégazage, un système de captage du gaz de décharge adapté force une aspiration du gaz en provoquant une légère dépression à l'intérieur du corps. Habituellement, les puits de biogaz sont installés après que la masse de déchets atteint sa hauteur maximale. Le gaz drainé par les puits est transporté par les collecteurs.

b) le traitement du biogaz

Il peut être traité par combustion dans une torchère, installation de traitement du biogaz par combustion à l'air ou valorisé de 4 manières :

-Après épuration il peut être injecté dans le réseau du gaz naturel.

-Il est possible de le transformer en électricité après combustion dans un moteur thermique ou dans des turbines à gaz.

-Le biogaz permet aussi la production de la chaleur après combustion dans les chaudières.

-Il est utilisé comme carburant pour véhicule après épuration (CNID, 2001).

III. Métaux lourds ou éléments traces métalliques :

III.1-Définition :

Les métaux lourds (plomb, mercure, cadmium...) sont les éléments traces métalliques de masse volumique élevée (supérieure à 5 g/ cm³) dont la concentration naturelle moyenne dans la croûte continentale supérieure est inférieure à 1000 mg.kg⁻¹. (OPECST, 2001).

Ce sont des micro-éléments inorganiques présents en concentrations très faibles dans les organismes et pouvant avoir des effets toxiques sur ceux-ci. Ils existent à l'état naturel dans l'environnement et comprennent des métaux et des métalloïdes. Ils interviennent aussi de manière positive pour certaines plantes et certains animaux dans leur métabolisme. Ils présentent un risque important de pollution des sols. (Vedy, 2002).

III.2-L'origine des métaux lourds dans le sol :

III.2.1-L'origine anthropogène

Selon Baize, 1997, il arrive que dans certains sols, les teneurs en éléments traces seraient exceptionnellement élevées, résultant des différentes activités humaines :

- Activité agricole d'épandage et d'amendement agricole (engrais phosphatés, déchets d'élevage, compost...);
- Activité industrielle, fonderies, incinération d'ordures, industries de transformation des métaux ;
- Activité urbaine, processus de combustion, trafic routier.

III.2.2-Origine géogène

Dans les conditions naturelles, les métaux lourds existent déjà à l'état de traces dans le sol qui proviennent directement de l'altération et de l'érosion des roches mères et des matériaux géologiques (Abdul Rida, 1992).

Les éléments traces métalliques présents dans les roches se concentrent au cours de la pédogenèse dans certains horizons et constituent des roches, appelés fonds pédo-géochimique, qui préexistent dans le profil avant toute intervention humaine.

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes (Steulet, 2003).

III.3-Fond pédo-géochimique :

C'est par définition la teneur («naturelle») en micro-éléments présents dans les sols sans intervention humaine. Elle dépend d'abord de la teneur présente dans la roche qui est à l'origine du sol, mais également des processus qui sont intervenus lors de la formation du sol, qui ont pu lessiver ou plus généralement concentrer l'élément (Robert, 1996).

III.4-Comportement des métaux lourds dans le sol :

Dans les conditions naturelles, les métaux lourds existent déjà à l'état de trace dans les sols. Selon Cottenie et al , 1979 et Kiekens et al ; 1983 , une quantité de ces éléments est retenue dans la phase solide, alors que le reste subit plusieurs processus de transformation et d'immobilisation dans la solution du sol.

Ces éléments peuvent être :

- des ions libres;
- des complexes organo-minéraux solubles et insolubles;
- des formes adsorbées aux colloïdes du sol.

Selon les mêmes auteurs, cette distribution est gouvernée par les constantes d'équilibre des réactions suivantes:

- précipitation et dissolution ;
- complexation et décomplexation ;
- adsorption et désorption.

Le changement des conditions physico-chimiques du sol provoque le passage d'une forme à une autre et donc un déplacement d'équilibre. Cependant, du point de vue analytique, il est très difficile de déterminer les différences formes de ces éléments dans le sol.

III.5-Facteurs du milieu affectant la mobilité des métaux lourds dans le sol :

III.5.1- Le pH

Le pH est un élément de grande importance, car il contrôle la mobilité des métaux lourds dans le sol. Il résulte essentiellement d'un équilibre entre les ions libérés dans la solution du sol et ceux qui sont fixés par les colloïdes.

Selon Verloo; (1974), un effet direct se manifeste surtout dans les phénomènes de précipitation et de dissolution, c'est à dire dans la capacité de transfert d'un élément ou d'un ion entre la phase solide et la phase liquide du sol.

Pour Tietgen; (1975), la mobilité des métaux lourds dans les sols contaminés augmente avec l'augmentation de l'acidité.

De même, les études analytiques effectuées par Cottenie et al (1979, 1980, 1983), ont montré que l'acidification progressive des sols par les précipitations acides et les apports réguliers de fertilisants acidifiants, augmentent la mobilité des métaux lourds dans la solution du sol.

Selon ces mêmes auteurs, l'action du pH sur la mobilité et la solubilité des métaux lourds diffère en fonction de la texture du sol. Cela est aussi confirmé par Tiller et al (1984). Anderson et Konilsson (1974), affirment que le pH du sol est important par son effet sur la réactivité des complexes

(sorption et désorption). Ils constatent que la diminution du pH augmente la solubilité et la mobilité du cadmium beaucoup plus dans un sol organique que dans un sol minéral.

III.5.2-La matière organique

La matière organique est considérée comme un facteur fertilisant du sol. Sa présence dans ce dernier affecte la disponibilité de certains éléments, en agissant comme un agent complexant. Son rôle dans la pédogenèse est très important. Sa maturation se traduisant par le rapport acide fulvique/ acide humique.

Pour Diehl (1975), la fraction fulvique forme des complexes stables avec les métaux lourds, qui sont cependant moins stables que les complexes humiques correspondants.

Elliot et al (1986), montrent que dans deux sols différents contenant 20 à 40 g/kg de carbone organique, l'adsorption par ordre des métaux est comme suit: $Pb > Cu > Cd > Zn$. Selon les mêmes auteurs, la matière organique augmenterait la rétention préférentielle du plomb à celle du cuivre et à celle du cadmium à celle du zinc. De ce fait, ils constatent que la diminution de la matière organique (MO) du sol entraîne la réduction de l'adsorption des quatre métaux cités précédemment, par contre, elle favorise leur disponibilité pour les plantes, ce qui peut provoquer des phénomènes de toxicité (Hodgson, 1963 in Sahraoui, 1999).

III.5.3-Le potentiel redox

Le potentiel redox est l'un des paramètres les plus utilisés pour rendre compte des propriétés oxydantes (sols aérés) ou réductrices (sol hydromorphes) du milieu.

Pour Kiekens et al (1983), dans les conditions oxydantes, la solubilité des métaux lourds augmente généralement lorsque le pH diminue. Entre pH 3 et 7, le cadmium est plus soluble que le plomb.

Dans des conditions réductrices, la solubilité de quelques métaux augmente : le Mn^{++} et le Fe^{++} sont plus solubles que leur forme oxydée.

Selon les mêmes auteurs, la solubilité du cadmium et du plomb, dans les conditions réductrices, à pH alcalin, est nettement plus importante que dans les conditions aérées. Ceci en raison de la formation de complexes organo-métalliques solubles.

Par ailleurs, et en milieu acide (pH 4-6) leur solubilité est faible. Ceci peut s'expliquer par la formation de sulfures insolubles et de complexes organo-matalliques insolubles.

III.5.4-La présence d'autres minéraux

La précipitation du phosphore (P) par la calcium (Ca^{++}) est responsable de la diminution des prélèvements des éléments suivants: Fer (Fe), Bore (B), Zinc (Zn) et Manganèse (Mn). La sélectivité de quelques ions a lieu à travers la chélation sur les surfaces organiques et généralement, elle est en fonction de la valence ionique et du rayon hydraté. La sélectivité des métaux diminue toujours avec la dimension de l'ion hydraté.

Les interactions entre métaux peuvent être à l'origine d'une toxicité ou d'une déficience d'un ou plusieurs éléments. Les métaux peuvent exercer des actions additives, synergiques ou antagonistes. Selon Anderson et Konilsson (1974), les oxydes métalliques n'adsorbent pas le cadmium à $\text{pH} < 4.5$. Cela est du probablement à la charge inverse du complexe adsorbant, le calcium (Ca^{++}) se trouvant toujours en état de compétition avec les métaux lourds sur les sites d'adsorptions.

Christensen (1984), a constaté que l'augmentation du Zn augmente la désorption du cadmium du sol en raison de l'effet de compétition sur les sites de fixation.

III.5.5- Le complexe adsorbant

Il est représenté dans le sol par trois facteurs majeurs responsables de l'adsorption et de la fixation des éléments nutritifs et des éléments traces, ce sont:

- les minéraux silicatés comme différents types d'argiles;
- la matière organique représentée par différents types d'humus;
- les oxydes métalliques.

Anderson et Konilsson (1974), ont constaté que la Kaolinite est un pauvre adsorbant du cadmium par contre la tourbe et d'autre argiles montrent une forte adsorption de cet élément entre pH 4.5 et 5.5 due à leur fortes C.E.C.

Cottenie et al (1979), montrent que les fractions du plomb et du cadmium adsorbées, sont respectivement de 25 et 32% pour le sol limoneux-sableux, de 56 à 22% pour le sol limoneux et de 1 à 10% pour le sol argileux.

Kiekens et al (1983), indiquent que l'adsorption des métaux lourds (Pb, Cd, Zn, Cu) est fortement réduite en présence de CaCl_2 (0.01N), le Ca^{++} se trouve toujours en état de compétition avec les métaux lourds sur les sites d'adsorption. Cette adsorption est beaucoup plus importante pour le zinc et le cadmium que pour le plomb et le cuivre.

III.5.6-La température du sol et le temps

Le temps et la température ont une influence sur les processus biologiques, chimiques et physiques. Ils affectent la solubilité, la disponibilité et le transport des métaux lourds et particulièrement celui du cadmium et du plomb dans les systèmes sol, eau et plante (Rains, 1969 in Sahraoui, 1999)

III.5.7-La distance de la source de contamination

Selon Abdul Rida 1992, les concentrations des éléments traces diminuent avec la distance de la source ; la contamination par le Pb (essentiellement atmosphérique) devient négligeable au-delà de 1500 mètres.

III.5.8-Les biocénoses

Dans le sol, elles jouent un rôle important dans la transformation des formes chimiques des métaux (c'est le cas des micro-organismes), ou en modifiant leur formes chimiques en modifiant les conditions d'acidité et d'oxydoréduction des sols (c'est le cas de la faune du sol et des racines).

III.6-Conséquences de la présence des métaux lourds dans le sol :

Les métaux lourds sont présents dans les sols, l'air et les eaux. Ils contaminent les êtres vivants à leur contact. Un flux continu de métaux lourds est rejeté dans l'environnement, sous forme d'effluents liquides, gazeux ou solides, principalement d'origine industrielle. Ces flux ont amené les sols à des stades de déséquilibre biologique très grave. La chronicité de ces apports et leur abondance provoquent un empoisonnement quasi irréversible des sols. En effet, l'accumulation de ces métaux dans le sol peut diminuer ou ralentir l'activité biologique qui se traduit par le ralentissement de la dégradation de la matière organique. Ce qui peut avoir une conséquence écologique très importante. (Impens et al, 1979).

III.7-Métaux lourds étudiés :

III.7.1-Le plomb (Pb)

III.7.1.1-Généralités :

Le plomb est un élément ubiquitaire qui représente 0.002% de la croûte terrestre, c'est le plus universellement répandu des métaux toxiques et doit être considéré comme un élément étranger à l'organisme (Derrache, 1986).

En général, les concentration en plomb se situent aux alentours de 5 à 25 mg /kg dans le sol, de 1 à 60µg dans les eaux de la nappe phréatique et aux environs de 1 µg/m³ dans l'air (Frank, 1992).

Des concentration plus élevées se rencontrent à certains postes de travail et dans les zones de trafic automobile (Impens, 1974 ; Coullery, 1997).

Le plomb est issu d'un minerai, la galène. L'utilisation de ce métal est directement liée à la métallurgie. La révolution industrielle à entraîné de nouvelles utilisations massives et une augmentation exponentielle depuis un siècle tout en se transformant radicalement. Pendant la première moitié du 20^{ème} siècle, le plomb a été utilisé dans l'industrie, l'imprimerie et les peintures. Dans la seconde moitié, l'utilisation dominante était liée aux carburants automobiles, le plomb étant ajouté à l'essence comme antidétonant. Cette utilisation est aujourd'hui prohibée (Steulet, 2003).

Le plomb a également de multiples applications :

- industrie de la construction : tuyaux de distribution et d'évacuation (Haguenor et Furon, 1982 ; Lauwerys, 1992) ;
- fabrication d'accumulateurs (batteries Pb-acier) : le Pb entre pour environ 70% dans le poids d'une batterie (Abbas et Chaalal, 1995) ;
- fabrication d'objets divers : jouets, caractères d'imprimerie (Pb-Sb), soudure (Pb-acier) ;
- fabrication d'insecticides : arseniate de Pb ;
- utilisation du Pb comme barrière anti-bruit ;

- production d'écran anti-radiation ;
- industries automobiles : polissage des soudures (Pb-Sb) ;
- câbleries ;
- fabrication de munitions (Pb de chasse), etc.

III.7.1.2-Caractéristiques physico-chimiques du plomb :(annexe 1)

III.7.1.3-La toxicité du plomb :

Le plomb n'a aucun rôle physiologique connu chez l'homme, sa présence dans l'organisme témoigne donc toujours d'une contamination. À l'état normal, le milieu biologique de l'homme contient une quantité faible mais non négligeable de plomb. Cette présence provient des conditions d'environnement et de l'ubiquité de ce métal.

Le plomb peut pénétrer dans l'organisme humain par trois voies :

- Par inhalation de vapeur de plomb ou de poussières (oxyde de plomb) ;
- Par ingestion, qu'il s'agisse du plomb d'abord inhalé et ingéré à la suite des processus d'épuration pulmonaire, ou du plomb ingéré directement avec les aliments ou avec les poussières se trouvant sur les mains ou les objets portés à la bouche notamment chez le jeune enfant ;
- Par voie cutanée, plus rarement

L'importance relative de ces différentes voies diffère selon qu'il s'agit d'un enfant ou d'un adulte. (Steulet, 2003).

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 (75 %) est principalement 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 et dans les cheveux. (Steulet, 2003).

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.

Les effets du plomb sur le sang se traduisent par la modification de l'activité d'enzymes impliqués dans la synthèse de l'hémoglobine ; ces effets sanguins aboutissent à une diminution du nombre des globules rouges et à une anémie.

Les effets sur le système nerveux se traduisent par des atteintes neurologiques ; en cas d'intoxications massives, l'effet neurotoxique du plomb peut se traduire par une encéphalopathie convulsivante pouvant aller jusqu'au décès.

L'administration de fortes doses de plomb a induit des cancers du rein chez de petits rongeurs. (Steulet, 2003).

Les premiers effets de la toxicité du plomb commenceraient à 100 µg de plomb par litre de sang chez l'enfant et 150 µg de plomb par litre de sang chez l'adulte. (Miquel, 2001).

Dans les plantes, le plomb empêche la synthèse de la chlorophylle (Beliefert et Perraud, 2001).

Le plomb inhibe la respiration du sol et démine la fertilité de ce dernier (Miquel, 2001).

III.7.2-Le cadmium (Cd)

III.7.2.1-Généralités :

Le cadmium est un élément naturel, présent dans certains minerais (notamment le zinc) sous forme d'impuretés. C'est le 65^{ème} élément naturel le plus abondant de la croûte terrestre. (Dictionnaire encyclopédique, 2009).

Le cadmium n'existe pas à l'état natif. Son minerai, la greenockite CdS, est très rare et inexploité. Il est obtenu industriellement comme sous-produit de la métallurgie du zinc. (OPECST, 2001).

Ce métal était inconnu jusqu'au XIXème siècle, jusqu'à ce que ses caractéristiques physico-chimiques soient mises en évidence et utilisé notamment dans les batteries. Le cadmium a été abondamment utilisé dans des utilisations diffuses pour protéger l'acier contre la corrosion (cadmiage), ou comme stabilisant pour les plastiques et les pigments. (Steulet, 2003).

Ses principaux usages :

- Accumulateurs électriques (« piles » rechargeables) Ni-Cd : employés dans les applications où la résistance interne doit rester faible : moteurs électriques, talkies-walkies ;
- Pigments à base de sulfure de cadmium (jaune avec CdS, rouge avec Cd(S,Se), orange par mélange des deux précédents) : ils ont été utilisés à grande échelle dans les matières plastiques (casques, verres, céramiques...) ;
- Cadmiage : le cadmium est inaltérable à l'air et à un bon comportement en milieu marin. Le cadmiage est effectué par électrolyse, utilisé en particulier pour protéger les rivets d'assemblage en aéronautique ;
- Alliages à bas point de fusion : fabriqués pour brasures de conducteurs électriques et pour fusibles ;
- Absorption de neutrons : le cadmium sert à la réalisation de barres de contrôle dans les réacteurs nucléaires, et est utilisé en tant que protection biologique vis-à-vis de sources de neutrons.
- En combinaison avec de l'or, il fait partie de la famille des métaux "intelligents" et sert donc à fabriquer des lunettes incassables, des tuyaux dans les centrales nucléaires. (OPECST, 2001).

III.7.2.2-Caractéristiques physico-chimiques du cadmium :(annexe 1)

III.7.2.3-La toxicité du cadmium :

Les divers composés du cadmium présentent des effets toxiques variables selon leur solubilité, et donc leur facilité d'assimilation par l'organisme. Ainsi, le chlorure de cadmium, soluble, apparaît plus toxique que le sulfure de cadmium très insoluble.

La principale préoccupation vis-à-vis du cadmium correspond aux possibilités d'expositions prolongées et à de faibles doses. Les principales causes d'exposition sont l'alimentation et le tabagisme.

L'essentiel du cadmium ingéré provient de végétaux à feuillage vert : salades, choux, épinards et dans une moindre mesure des céréales.

Le cadmium pénètre dans l'organisme par les voies digestive ou respiratoires:

-l'absorption d'une faible quantité de ces substances est suivie de troubles gastro-intestinaux (nausées, vomissements, diarrhée). Ces troubles peuvent, dans les cas sévères, se compliquer d'une déshydratation grave de l'organisme ;

-l'inhalation de fumées ou de poussières respirables (d'un diamètre inférieur à 5 microns) à des concentrations supérieures à 200 microgrammes par m³ et de façon plus ou moins prolongée peut provoquer rapidement un trouble pulmonaire grave. (CECAD, 1998).

L'exposition chronique au cadmium, par inhalation ou ingestion, a comme conséquence des atteintes rénales qui peuvent continuer de progresser même après la cessation de l'exposition et des désordres osseux, incluant l'ostéoporose et l'ostéomalacie. L'ingestion à long terme, par une population japonaise, d'eau et de nourriture contaminées par le cadmium, a été associée à une condition incapacitante, la maladie « itai-itai » (aie-aie) : Elle se caractérise par des douleurs au dos et dans les articulations, de l'ostéomalacie (rachitisme adulte), des fractures osseuses, et occasionnellement des défaillances rénales. Cette maladie affecte le plus souvent les femmes et les facteurs de risque sont la multiparité et l'alimentation de pauvre qualité.

Les autres conséquences de l'exposition chronique au cadmium sont l'anémie, la coloration jaunâtre des dents, la rhinite, l'ulcération occasionnelle du septum nasal, les dommages au nerf olfactif et la perte de l'odorat.

Le CIRC (Centre de recherche international sur le cancer) a déterminé qu'il y a suffisamment de preuve chez l'homme quant à la cancérogénicité du cadmium et de ses composés. Il s'avère également que le cadmium a la capacité de modifier le matériel génétique, en particulier les chromosomes. (OPECST, 2001).

La principale voie d'élimination du cadmium est l'urine, mais cette élimination est très lente.

La concentration de cadmium dans l'urine est inférieure à 2 µg/gramme de créatinine. Le risque de toxicité rénale apparaît à partir de 4/5 µg/gramme.

La concentration normale de cadmium dans le sang est de 5 µg/litre. (CECAD, 1998).

III.7.3–Le zinc (Zn)

III.7.3.1-Généralités :

Les anciens qui connaissaient la calamine (minerai carbonaté de zinc) ne paraissent pas avoir utilisé le zinc en tant que métal isolé. C'est l'alchimiste Paracelse qui lui donne ce nom au début du XVI^{ème} siècle.

Les teneurs de minerais de zinc varient de 2 à 12% dans la nature. Le zinc se trouve sous deux formes principales, d'une part les variétés sulfurées : blende ou sphalérite ($Zn S$) et wurtzite ($3Zn (OH)_2$), d'autre part les variétés oxydées : smithsonite ($Zn CO_3$) ; hydrozincite ($2Zn CO_3$) ; franklinite ($Zn, Fe, Mn)(Fe, Mn)_2O_4$; zincite ($Zn O$) ; hémimorphite ou calamine ($Zn CO_3$) ; roillinite ($SiO_2, 2Zn O$).

Les applications du zinc se divisent en quatre groupes principaux :

- protection des aciers ;
- fonderies ;
- obtention des alliages cuivriques ;
- usages du zinc laminé.

Ce sont surtout les composés du zinc qu'on trouve dans de nombreuses applications, nous citons quelques unes à titre d'exemple :

Oxyde de zinc ($Zn O$) est utilisé comme :

- agent indispensable dans le processus de vulcanisation (40% du tonnage mondiale est utilisé dans la fabrication du caoutchouc) ;
- fondant dans la céramique ;
- dans la désulfuration des gaz ;
- dans la pharmacie, pour les problèmes de peau, pour ses propriétés fongicides ;
- oligo-élément dans l'alimentation animale ;
- dans l'électronique ;
- dans la teinture.

Chlorure de zinc ($Zn Cl_2$) :

- galvanisation ;
- piles sèches ;
- traitement du bois ;
- matière première en chimie organique.

Le sulfate de zinc ($Zn SO_4 7H_2O$) :

- dans les lithopones, pigment pour les peintures ;

-viscose ;

-alimentation animale, etc. (Lazzerini, 2007).

Le Zn se trouvant dans les roches, est principalement sous forme de sulfures (ZnS) mais il peut également se substituer au Mg^{++} dans le réseau cristallin.

Les facteurs contrôlant la fixation du Zn dans les sols sont : l'adsorption, l'occlusion, la coprécipitation, la chélation organique et la complexion. (Kabata-Pendias and Pendias in Coullery, 1997).

III.7.3.2-Caractéristiques physico-chimiques du zinc : (annexe 1)

III.7.3.3-La toxicité du zinc :

Le zinc est un métal trace essentiel pour les organismes. Le déficit se traduit par des troubles de la croissance, de la fertilité et des phanères, une baisse de l'état général et des troubles immunitaires (sensibilité aux affections, allergies).

De nombreux sels de zinc, particulièrement le chlorure, sont caustiques pour la peau, les muqueuses et les voies respiratoires.

La toxicité systémique du zinc (anorexie, confusion, pancréatite aigue, fièvre, adénopathies, anémie sidéroblastique, atteinte rénale) résulte de l'ingestion de sels de zinc, ou, beaucoup plus rarement, peut compliquer l'hémodialyse chronique. Elle n'a jamais été décrite en milieu professionnel. (Autissier, 1983).

III.7.4-Le manganèse (Mn)

III.7.4.1-Généralités :

Le manganèse est connu depuis la préhistoire. Des peintures de plus de 17 000 ans utilisent le dioxyde de manganèse comme pigment. Le chimiste suédois Carl Wilhelm Scheele fut le premier à reconnaître que le manganèse était un élément, et son collègue Johan Gottlieb Gahn, isola le manganèse pur par réduction du dioxyde de manganèse avec du carbone.

Les minerais les plus abondants sont la pyrolusite MnO_2 , la psilomelane $[(Ba,H_2O)_2Mn_5O_{10}]$ et la rhodochrosite ($MnCO_3$).

Près de 90 % de la production de manganèse est utilisée pour la préparation d'alliages, principalement d'aciers, comme :

- Acier : rails et notamment aiguillages, outillage, roulements, coffres-forts, socs de charrue. L'acier au manganèse en contient jusqu'à 14 %. Il possède une résistance élevée contre la corrosion et est amagnétique. On utilise également ce type d'acier pour les barreaux et pour les portes de prisons ;
- Aluminium : le manganèse augmente la résistance des alliages d'aluminium et les propriétés frottantes (tribologie) de l'alliage contre les aciers ;

-Piles électriques : On utilise du dioxyde de manganèse dans la pile de Leclanché dite pile saline. L'électrode centrale (positive) de cette pile est garnie de dioxyde de manganèse (MnO_2) qui joue le rôle de dépolarisant ;

-Engrais : Le manganèse est un oligo-élément très important pour beaucoup de plantes, en particulier dans la culture des légumes et des agrumes. Pour compenser un manque de manganèse, on ajoute aux engrais du sulfate de manganèse ($MnSO_4$) ou de l'acétate de manganèse $\{Mn(CH_3COO)_2\}$;

-Biologie : il s'agit d'un oligo-élément indispensable à l'efficacité de la vitamine B1. Il intervient aussi dans certaines métalloprotéines telles que le superoxyde dismutase ;

-Coloration du verre : par addition de dioxyde de manganèse (MnO_2), on obtient une couleur violette, brune ou noire ;

-Pigment noir : Une couleur brun foncé ou noire dans des céramiques (entre autres dans des pierres et dans des dalles) est due à l'addition de dioxyde de manganèse généralement en combinaison avec d'autres oxydes métalliques tels que ceux du fer et du chrome ;

- Bronze : l'addition de manganèse - à raison de 5 à 15 % - augmente la résistance à la corrosion. (OPECST, 2001).

III.7.4.2-Caractéristiques physico-chimiques du manganèse : (annexe 1)

III.7.4.3-La toxicité du manganèse :

Le manganèse est un oligo-élément nécessaire à l'homme pour survivre mais devient toxique lorsque la consommation est trop importante. On le trouve principalement dans le seigle, le riz complet, le soja, l'avocat, les haricots verts, les épinards, les noix, l'huile d'olive, le jaune d'œuf, les huîtres, le thé et les herbes de Provence ;

il est utilisé par le cerveau et le système respiratoire. Il s'agit d'un élément essentiel dans la synthèse d'enzymes importantes dans la lutte contre le stress oxydant ;

il entre également dans la fabrication de la vitamine B1 (thiamine) et de la vitamine E ;

il agit comme cofacteur de plusieurs enzymes qui facilitent une douzaine de différents processus métaboliques. Il participe également à la prévention des dommages causés par les radicaux libres ;

les besoins journaliers pour un adulte sont de 2 à 3 mg. Un excès de manganèse se traduit par des troubles du système nerveux ; (OPECST, 2001).

III.7.5-Le cuivre (Cu)

III.7.5.1-Généralités :

Moyennement abondant dans la croûte terrestre, le cuivre est inégalement réparti à la surface du globe et la plupart des gisements sont situés dans l'hémisphère Sud. Le cuivre existe à l'état natif ou combiné à d'autres corps, comme le soufre. Il existe environ 165 variétés de minerais de cuivre classés en deux types, les minerais sulfurés, les plus répandus, et les minerais oxydés.

Les principales sources de cuivre sont la chalcopryrite et la bornite, sulfures doubles de cuivre et de fer. D'autres minéraux importants, la chalcosite et la covellite, sont des sulfures de cuivre que l'on trouve dans les Etats de l'Arizona et du Nevada, aux Etats-Unis, ainsi qu'en Cornouailles, en Angleterre. L'énargite, arséniate sulfureux de cuivre, est présente dans différentes parties des Etats-Unis. L'azurite, carbonate naturel de cuivre, existe en France et en Australie ; la malachite, autre carbonate naturel de cuivre, se trouve dans les monts Oural. Le cuivre existe également dans la tétraédrite, sulfure d'antimoine, de cuivre et d'autres métaux, ainsi que dans la chrysocolle, silicate hydraté de cuivre. À Cuba, on trouve l'oxyde de cuivre appelé cuprite.

On utilise surtout le cuivre pour sa conductivité électrique, la plus importante de tous les métaux industriels. Ainsi, on l'emploie pour fabriquer des dispositifs électriques, tels que les câbles, les fils ou les appareillages électriques. Le cuivre étant en outre très ductile, on peut l'étirer en fils de diamètres variés.

Du fait de sa grande conductibilité thermique, le cuivre sert à fabriquer des ustensiles de cuisine, des chaudières, des échangeurs de chaleur. On l'utilise également dans les toitures, les canalisations d'eau et de gaz en raison de sa résistance à la corrosion. Il a aussi été employé pendant longtemps pour recouvrir le dessous des navires en bois afin d'éviter leur encrassement.

Des objets d'ornement sont fabriqués en cuivre. Le cuivre est facilement déposé par galvanoplastie, seul ou allié à d'autres métaux. De grandes quantités de cuivre sont utilisées à cette fin, en particulier pour obtenir des galvanotypes destinés à l'imprimerie (Encarta, 2009).

III.7.5.2-Caractéristiques physico-chimiques du cuivre : (annexe I)

III.7.5.3-La toxicité du cuivre :

Le cuivre, à très faible dose, est un oligo-élément indispensable à la vie. Il est notamment nécessaire à la formation de l'hémoglobine et remplace même le fer pour le transport de l'oxygène chez une espèce d'arthropode, le limule, dont le sang est bleu. Chez l'homme et les mammifères, régulé par le foie, le cuivre intervient dans la fonction immunitaire (démonstré chez le rat) et contre le stress oxydant. Il est stocké, excrété via la bile ou distribué vers les organes. Ses propriétés anti-infectieuses étaient déjà connues et utilisées dans l'Égypte antique.

Le cuivre est aussi - à dose plus élevée et sous ses formes oxydées (vert-de-gris, oxyde cuivreux) - un puissant poison pour l'homme, comme - à des doses parfois infimes - pour de nombreux organismes (algues, mousses, microorganismes marins, champignons microscopiques).

A des concentrations extrêmement élevées, le cuivre peut entraîner la nécrose du foie. Associé au plomb, il semble pouvoir aggraver le risque de maladie de Parkinson.

Outre des impacts sur la fertilité du rat, en laboratoire, les auteurs remarquent que cette toxicité pourrait expliquer l'efficacité contraceptive des stérilets en cuivre.

Le cuivre utilisé sur les vignes n'étant pas dégradable, il finit par s'accumuler dans les points bas où il atteint des taux préoccupants dans le sol et l'eau, pouvant localement provoquer la mort d'animaux qui y sont sensibles, comme le mouton. (Scheinberg, 1979).

III.7.6-Le Nickel (Ni)

III.7.6.1-Généralités :

Le nickel figure en 28^{ième} position des éléments les plus répandus. La teneur de la croûte terrestre en nickel est d'environ 0,008 poids %. Le noyau de la terre contient sans doute de grandes quantités de nickel. Le Ni n'existe pas à l'état élémentaire sauf dans les météorites. Les principaux composés naturels du Ni sont les suivants: magnétopyrite, pyrrhotine, garniérite, millérite, nickéline, niccolite et ullmanite.

Le nickel est surtout utilisé pour la fabrication d'alliages durs, malléables et résistant à la corrosion (81%), d'enduits (nickelage, plaqués, 11%), de pièces de monnaie, de catalyseurs, d'appareils et instruments pour laboratoires de chimie, de thermopiles, d'accumulateurs Ni-Cd et de matériaux magnétiques (DIETM, 1989).

III.7.6.2-Caractéristiques physico-chimiques du nickel :(annexe 1)

III.7.6.3-La toxicité du nickel :

L'homme peut être exposé au nickel en respirant, en buvant de l'eau, en consommant des aliments ou en fumant des cigarettes. Le contact de la peau avec des sols ou de l'eau contaminés par du nickel peut être une forme d'exposition au nickel. En petites quantités, le nickel est essentiel mais, quand l'absorption est trop importante il peut présenter un risque pour la santé.

L'absorption de quantités trop importantes de nickel peut avoir les conséquences suivantes:

- Plus de risque de développer un cancer des poumons, du larynx et de la prostate ;
- Nausées, vomissements et vertige après une exposition au gaz ;
- Embolies pulmonaires ;
- Echec respiratoire ;
- Echec de naissance ;
- Asthme et bronchite chronique ;
- Réactions allergiques telles que des éruptions cutanées (principalement avec les bijoux) ;
- Problèmes cardiaques (AEGM, 2005).

CHAPITRE II

Présentation de la zone

d'étude

I- Etat actuel du site et de son environnement :

I.1-situation géographique :

Le site se situe à la limite entre les communes de Jijel et Kaous, au lieu dit « Zkelba ». Il s'étend sur une superficie d'au moins 12 ha, à environ 17 km au sud de la ville de Jijel.

Le site est limité :

- A l'Est et au Sud par la route menant vers Djebra,
- Au Nord par chevelu de chaabat Semmara, affluent de l'Oued El Kantara,
- A l'Ouest par chaabat Habid.

I.2-caractéristiques géologiques et hydrogéologiques:

La géologie de la région de Jijel est caractérisée par une couverture sédimentaire mésozoïque et paléogène qui constituent la dorsale kabyle métamorphique antécambrienne à paléozoïque. Le site de la décharge se trouve à l'endroit du Miocène du Burdigalien imperméable. Cette formation est caractérisée par la présence de silstones, argilites, argiles calcaireuses, marnes, marnes-calcaires, conglomérats à petits galets, grès grossiers, calcaires détritiques.

Le caractère hydrogéologique de cette formation géologique est de très peu perméable, en raison de la présence de petits galets qui favorisent des cheminements pour les eaux de surface, à imperméable.

I.3-caractéristiques hydrologiques :

Le terrain de la décharge contrôlée se présente en deux grandes parties séparées par une importante chaabat de l'Oued Haria. La partie inférieure du terrain est traversée par un chevelu assez important de chaabats.

L'Oued le plus proche au site proposé est un affluent de l'Oued El Kantara : chaabat Ksara. La direction d'écoulement de l'Oued est Sud- Nord et coule vers la mer (exutoire final).

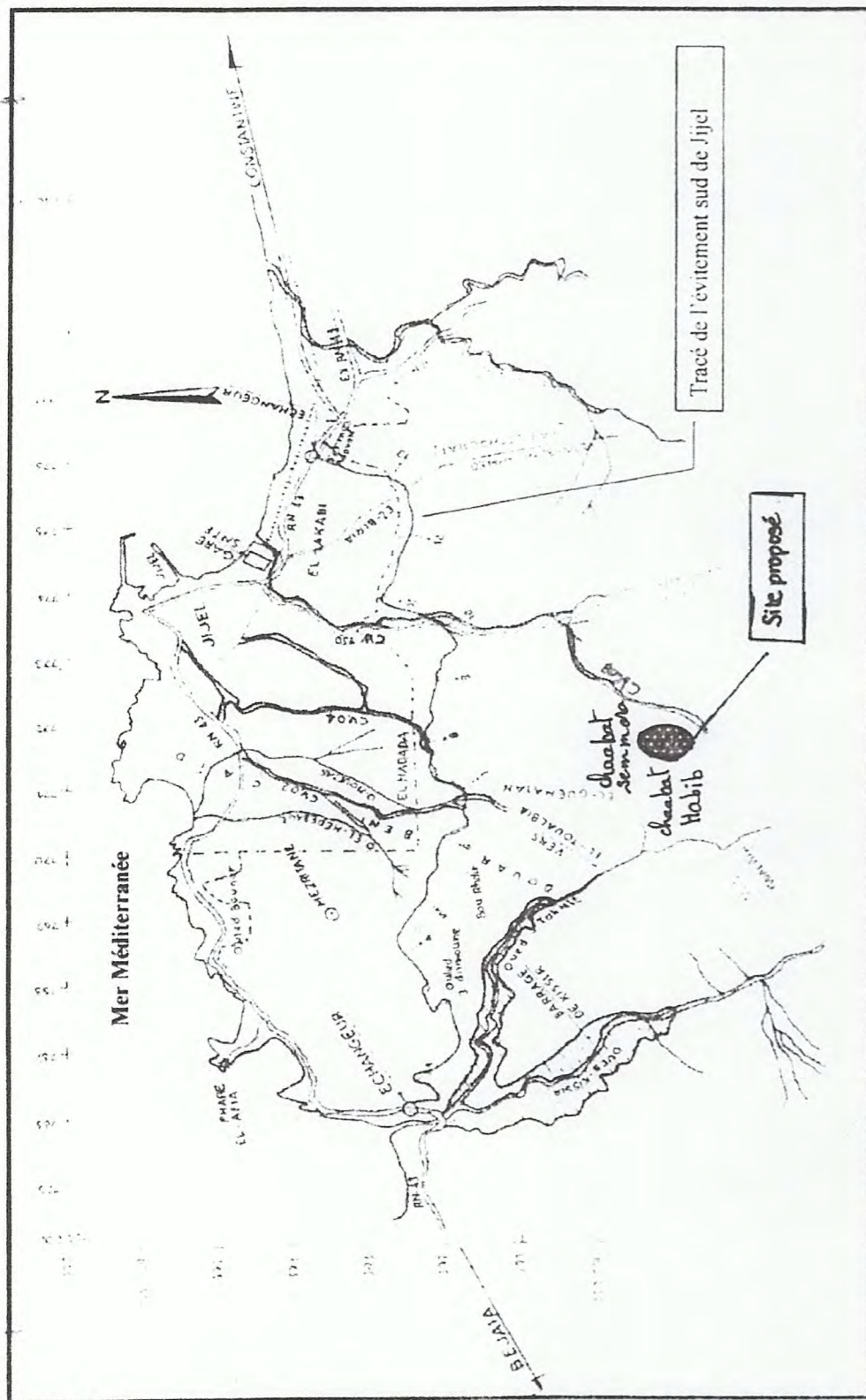


Fig.1: Carte de localisation de la décharge contrôlée de Beni Ahmed
Echelle 1/250000. (Inspection de l'environnement, 2002)

I.4-caractéristiques climatologiques :

La région de Jijel se caractérise par un climat méditerranéen (humide) dont l'hiver est doux et pluvieux et l'été chaud et sec. Le mois le plus chaud est le mois d'août et le plus froid est celui de décembre. La température moyenne mensuelle avoisine les 12,6°C en hiver et les 26°C en été. Le total annuel des pluies dépasse 1200mm.

Les paramètres climatiques considérés pour le projet de décharge sont :

- les précipitations:

Les précipitations peuvent entraîner la pollution des cours d'eau ou des eaux souterraines de la nappe si elles existent, par infiltration des eaux de lixiviat.

Tableau.I: relevé pluviométrique au niveau de Jijel pendant la période de prélèvement

Mois	Avr	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M
P(mm)	18.8	144.7	3.7	0	1.3	86.7	30.8	109.8	145.9	207.9	85.9	78.2

(Source: O.N.M station de Jijel, période 2008-2009)

- La température:

La température intervient dans la fermentation des déchets.

Tableau.II: relevé thermique au niveau de Jijel pendant la période de prélèvement.

Mois	Avr	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M
T(°C)	16.6	18.9	22.3	25.9	26.0	24.2	20.3	15.0	11.9	11.9	11.6	13.2

(Source: O.N.M station de Jijel, période 2008-2009)

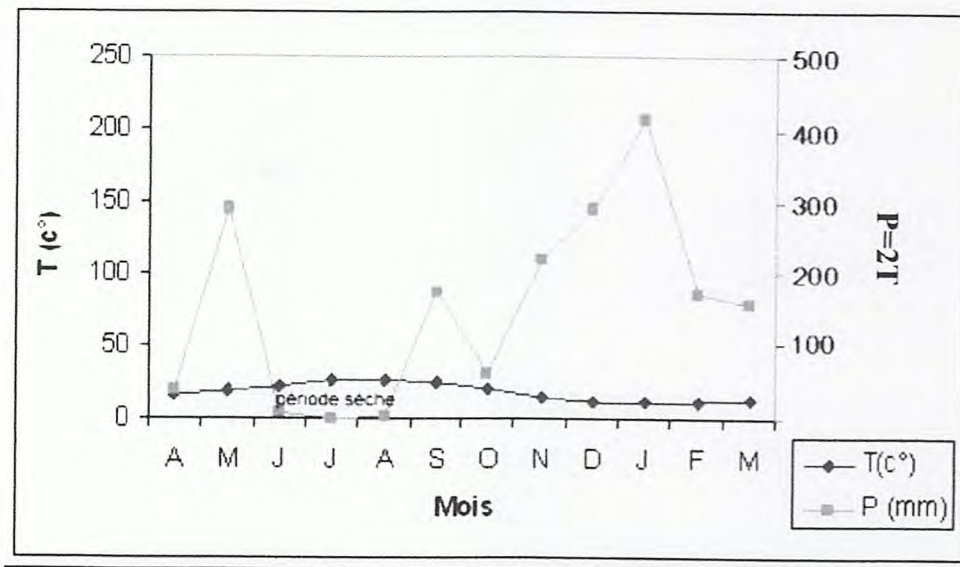


Fig.2: Diagramme ombrothermique de Gausse de la région de Jijel (Avril 2008-Mars 2009)

- Les vents:

Les vents interviennent dans la dispersion des fumées, des odeurs et des déchets légers (papiers, film plastiques, poussières). Deux directions dominantes sont observées : Direction Nord – Est soufflant du mois de Mai au mois de Septembre. La force des vents varie de 2,5 à 4,2 m/s.

I.5-Aménagement paysager :

Le site appartient à une zone où les contraintes sont majeures pour le développement de l'agriculture. Il s'agit d'une texture mauvaise (calcaireuse, marnes et argile), l'ensemble des terres du site est affecté aux cultures fourragères (pâturage).

Sur le plan occupation de l'espace, les habitations les plus proches se trouvent à plus de 250 m du site proposé.

I.6-Faunes et Flores :

Le site de la décharge est envahi par des espèces qui poussent naturellement, nous en trouvons quelques arbres d'olivier sauvage et du palmier nain, nous trouvons aussi une broussaille composée de lentisque et du calycotome.

Les espèces animales observées par le service des forêts de Jijel sont : le sanglier, le lièvre, le lapin, la perdrix, les reptiles, la mangouste, le chacal, le renard et les oiseaux carnivores protégées. (Inspection de l'environnement, 2002).

II-L'aménagement et l'équipement de la décharge contrôlée :

- La mise en place de casiers d'enfouissement adaptés à la configuration du terrain ;
- La réalisation d'un grillage d'une hauteur minimale de 2 m pour retenir les déchets légers (papiers, films plastiques, ... etc.) qui risquent d'être envolés sous l'action du vent ;
- Plantation de rangées d'arbres autour de la clôture pour favoriser l'intégration du site dans son environnement ;
- L'installation d'un portail de 7m de largeur et un poste de gardiennage dont l'objectif est d'interdire l'accès aux personnes étrangères et d'effectuer un contrôle de la provenance des ordures à enfouir. Le portail est muni d'un dispositif de fermeture à clef pour interdire l'accès à la décharge en dehors des heures d'ouverture ;
- L'installation d'un pont bascule de (18m x 3,5m) au niveau de l'entrée de la décharge. Le pont bascule est protégé par un abri bascule (3,7 x 3,7m) ;
- Le bâtiment d'exploitation et le hangar d'engins sont situés à l'entrée de la décharge. Le hangar de stationnement des engins comprend une loge de lavage, une zone de nettoyage des véhicules et un parking ;
- La réalisation d'une étanchéification naturelle (argile ou marne) et la pose d'un film géomembrane afin d'éviter toute éventuelle contamination par infiltration en profondeur du lixiviat en raison du caractère très peu imperméable du sous-sol) ;
- La réalisation d'un système de drainage des lixiviats et leur évacuation dans un bassin pour être pompés et réinjectés sur la surface des déchets en vue d'accélérer la fermentation des déchets et de réduire le volume par évaporation et évapotranspiration ;
- L'installation d'un programme de contrôle des eaux de surface de l'oued Ksara ;
- Réalisation d'un fossé ceinturant l'ensemble des casiers pour la collecte et l'évacuation des eaux de pluie vers un bassin de collecte des eaux pluviales ;
- L'installation d'un système de collecte du biogaz pour éviter le risque d'explosion et les odeurs nauséabondes ;
- Une bonne compaction et un recouvrement quotidien des couches de déchets afin de limiter l'attraction de la faune sauvage. La couverture journalière aura une épaisseur de 10cm pour une hauteur de déchets de 1,5mètres, une couverture intermédiaire de 30cm sera appliquée sur toutes les surfaces exposées pour plus de 24 heures ;
- Recours à des produits chimiques pour la lutte contre les rongeurs, mouches et les oiseaux ;
- Equipement spécifique :

- Matériels mécaniques : un bulldozer pour étaler et compacter les déchets, un chargeur bouteur utilisé pour le réglage dans l'enfouissement des ordures et un compacteur épandeur pour le terrassement.
- Matériels divers : une citerne à eau, une citerne à fuel, des outillages et un écran mobile afin d'éviter l'envol des déchets légers lors du vidage des bennes.
- Moyens de lutte contre l'incendie : réserve d'eau (citerne) ou branchement sur un réseau de distribution. Réserve de terre et appareils extincteurs.

III- Evaluation des capacités du site de la décharge contrôlée :

Les déchets à enfouir au niveau de la décharge sont ceux issus des ménages, de l'activité commerciale, du balayage des voies et places publiques ainsi que la part des déchets assimilés aux déchets ménagers issus des infrastructures de santé et des industries. (Inspection de l'environnement, 2002).

Les résultats de l'étude de caractérisation des déchets de la ville de Jijel sont les suivants :

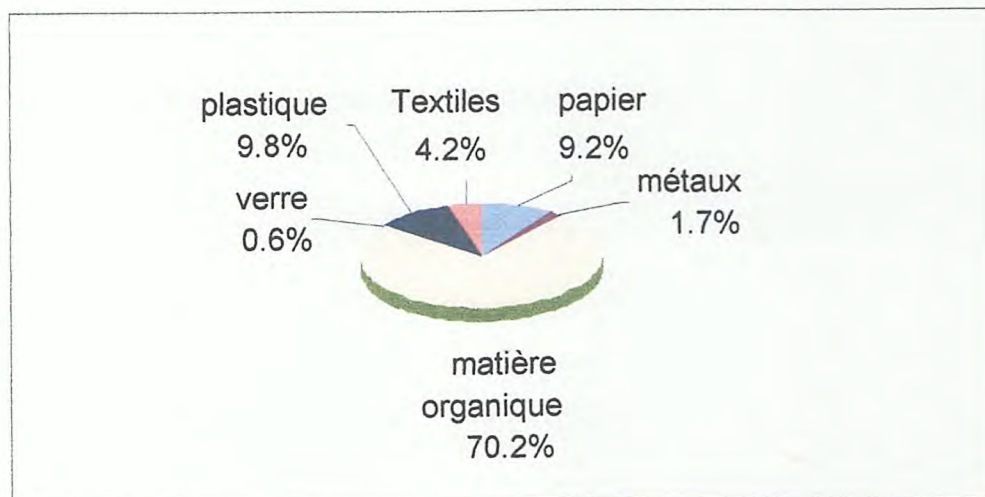


Fig.3 : Caractérisation des déchets de la ville de Jijel
(Inspection de l'environnement, 2002)

CHAPITRE III

Matériels et méthodes

I. protocoles expérimentaux

La partie expérimentale de notre étude englobe deux volets distincts:

- un volet terrain
- un volet laboratoire

I.1- Le terrain

Le travail du terrain est basé sur la prise d'échantillons du sol.

I.1.1- Echantillonnage (choix des dix stations)

Nous avons choisi dix stations au niveau de la décharge de Beni Ahmed et ce choix a été fait en fonction de l'orientation Nord : On a tracé l'axe des dix prélèvements choisis aléatoirement du bassin non fonctionnel.

I.1.2- Prélèvement au niveau des dix stations

Les prélèvements se font à 20cm de profondeur, couche à laquelle se réfèrent les valeurs indicatives de la plupart des pays (Baize, 1997a.OFEFP, 1989).

Nous avons prélevé 30 échantillons (3 échantillons pour chaque station) à la périphérie des dix stations ; à une profondeur de 0 à 20cm, coté gauche vers le Nord (on a prélevé le sol naturel qui est en contact direct avec le bassin, parce que au niveau de ce dernier la géomembrane a été placé).

Nous avons obtenu pour les dix stations :

- Station : 1 à 10 = 10 (stations) x 3 (prélèvements) x 1 (date) = 30 échantillons simples.
- 30 (échantillons simples) : 3 (prélèvements) = 10 échantillons composés.
- 10 (échantillons composés) x 1 (date) = 10 échantillons.

Les prélèvements ont été réalisés le : 15 février 2009.

I.1.3- Technique des prélèvements

Les métaux lourds se rencontrent dans le sol sous forme de traces et présentent de fortes variations de concentrations (OFEFP, 1989). Il est donc important que les échantillons soient toujours prélevés de la même manière avec le même instrument. Il faut éviter les instruments en acier inoxydable, nickelés, laqués. Pour cette raison, on a utilisé une tarière en fer.

Les prélèvements sont mis directement dans des sacs en plastique. Le conditionnement en plastique est obligatoire pour les métaux et pour les produits minéraux parce qu'il n'est pas sensible aux contaminations externes (poussière, humidité.).

La quantité prélevée est de l'ordre de 1kg, quantité suffisante pour l'analyse et la mise en réserve pour d'éventuelles répétitions et stockage.

L'identification des échantillons est nécessaire pour éviter les risques de confusion.

I.2- Le laboratoire

Au laboratoire, il y a deux opérations: -le séchage (à l'air libre).

-le broyage puis le tamissage à 2mm.

Le séchage: une opération nécessaire pour limiter l'évolution biologique, assurer la conservation des échantillons à moyen et à long terme. Il permet une meilleure séparation des agrégats et une meilleure homogénéité à la dessiccation effectuée à l'air, à température ambiante, à l'abri de la lumière solaire directe.

Le broyage: les échantillons peuvent être démontés manuellement et tamisés à sec à une certaine granulométrie (tamis à mailles de 2mm).

I.2.1- Analyse du sol

Pour une meilleure interprétation de la teneur en substances nocives et du comportement de ces dernières, il est nécessaire de compléter le dosage des métaux lourds, par les analyses physiques et chimiques préconisées par (Baize, 1997 et l'OFEFP, 1989), y compris: pH, granulométrie, matière organique, densité apparente.

Seuls les oxydes de fer et phosphate n'ont pu être dosés, recommandés par BAIZE; D (1997a) et les directives de l'OFEFP (1989). Une autre analyse (capacité d'échange cationique) a été réalisée pour mieux interpréter nos résultats.

I.2.1.1- Analyse granulométrique

Elle a été effectuée au niveau de notre laboratoire universitaire, la détermination des fractions fines ($< 20 \mu\text{m}$) est déterminée par soustraction sur un poids de sol connu et dont la fraction sableuse a été obtenu par tamissage.

I.2.1.2- Mesure du pH

La mesure du pH se fait à l'aide d'un pH-mètre, sur une suspension du sol et d'eau distillée dans un rapport de 1/2,5 après agitation pendant 2 minutes et repos une demie heure.

I.2.1.3- Calcaire total

Le calcaire total est dosé par calcimétrie, à l'aide du calcimètre de Bernard dont le principe est basé sur le dégagement de CO_2 provenant de la réaction CaCO_3 avec HCl .

I.2.1.4- Matière organique

La matière organique est déterminée par la méthode Walkley et Black.

I.2.1.5- Capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique est la quantité maximale des cations qu'un sol peut absorber (pour 100g de la matière sèche).

La mesure de la CEC est basée sur la titration par l'acide sulfurique H_2SO_4 de la solution du sol, après l'addition des réactifs (couleur violette). Elle est caractérisée par un point de virage au

niveau d'un volume déterminé de H_2SO_4 titré (s'il fait apparaître une couleur verte) (AFNOR, 1994).

I.2.1.6- Détermination de la conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique, mesure la teneur en sels solubles totaux d'une solution. Elle est mesurée dans l'extrait 1/5 à l'aide d'un conductimètre.

I.2.1.7- Détermination de la densité apparente

La densité apparente est déterminée par la méthode de la motte enrobée de paraffine, pesée sous eau en déterminant la force ascendante.

I.2.1.8- Dosage des métaux lourds

I.2.1.8.1- Extraction

Une étape obligatoire qui précède le dosage des métaux. Elle consiste à récupérer les métaux condensés de la solution du sol par une attaque à l'eau régale (HCl , HNO_3) avec les proportions de (3/1), le tout est porté à ébullition pendant 20 mn dans un bain de sable. La suspension est filtrée et récupérée dans des fioles pour analyses.

I.2.1.8.2- Le dosage

Etape finale et indispensable pour atteindre notre objectif. Les métaux à étudier sont dosés par spectrométrie d'absorption atomique (S.A.A) de marque Shimadzu AA-6200 Atomique Absorption Flamme Emission au laboratoire de l'université de Jijel.

-Les gammes d'étalons utilisées pour le dosage du plomb sont de 5, 20 et 10 ppm à la longueur d'onde $\lambda = 405.8 \text{ nm}$;

-Les gammes d'étalons utilisées pour le dosage du cadmium sont de 0.2, 0.4, 1, 10 ppm à la longueur d'onde $\lambda = 326.1 \text{ nm}$;

-Les gammes d'étalons utilisées pour le dosage du zinc sont de 0.2, 0.4, 1, 2, 4 ppm à la longueur d'onde $\lambda = 636.2 \text{ nm}$;

-Les gammes d'étalons utilisées pour le dosage du manganèse sont de 0.5, 1, 2, 4, 8 ppm à la longueur d'onde $\lambda = 403.3 \text{ nm}$;

-Les gammes d'étalons utilisées pour le dosage du cuivre sont de 0.5, 1, 2, 8 ppm à la longueur d'onde $\lambda = 324.8 \text{ nm}$;

-Les gammes d'étalons utilisées pour le dosage du nickel sont de 0.5, 1, 2, 8 ppm à la longueur d'onde $\lambda = 352.5 \text{ nm}$.



I.2.1.8.3- Justification du choix de l'extraction des teneurs totales

Le raisonnement sur les teneurs totales présente un certain nombre d'avantage et d'inconvénients (Baize, 1997a). La détermination des teneurs totales en tel élément trace est une mesure d'un stock à un moment donné, mais elle ne permet pas de distinguer les formes chimiques en présence.

Rappelons que la plupart des normes, sont actuellement exprimées sous formes de teneurs totales.

L'inconvénient c'est que les teneurs totales ne donnent malheureusement aucun renseignement sur la mobilité vis-à-vis des organismes vivants (Cooks et Heudershat, 1996, in Baize, 1997a).

I.2.1.8.4- Justification du choix de la méthode d'extraction à l'eau régale

Pour mesurer des teneurs véritablement totales, il faut que le processus analytique soit capable d'extraire toutes les formes de l'élément chimique que l'on veut doser, particulièrement celles intégrées dans les réseaux cristallins des minéraux primaires et secondaires silicatés.

Plusieurs extractifs sont considérés comme donnant des teneurs «totales» Ce sont l'acide fluorhydrique (HF), l'acide Nitrique (HNO_3), l'acide chlorhydrique (HCL), ou une combinaison de plusieurs acides (eau régale, réactifs triacides). Mais il semble bien que seul l'acide fluorhydrique soit capable d'extraire de l'échantillon de sol la totalité d'un élément.

Mais dans la littérature internationale, on rencontre différentes méthodes d'extraction. Certains laboratoires utilisent l'association d'HF et l'acide perchlorique ($\text{HF} + \text{HClO}_3$) pour dissoudre totalement la phase minérale. D'autres préfèrent les méthodes à l'acide nitrique (HNO_3 2M) à chaud, ou à l'eau régale.

La méthode pour laquelle nous avons opté (l'eau régale) nous a paru moins contraignante à mettre en œuvre d'une part et d'autres parts des comparaisons avec d'autres méthodes (HF) ont donné de faibles différences de résultats (Coullery, 1997 ; Baize, 1997b).

CHAPITRE IV

Résultats et discussion

I.RESULTATS

Les résultats des analyses physico-chimiques (granulométrie, calcaire total, matière organique, pH, conductivité électrique, densité apparente, capacité d'échange cationique) caractérisant les échantillons de sol prélevés sont donnés dans le tableau III.

Les résultats concernant les teneurs totales en métaux lourds sont consignés dans le tableau IV.

Une illustration par des histogrammes (fig. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) des analyses physico- chimiques des échantillons du sol et (fig. 11, 12, 13, 14, 15, 16) des teneurs totales en métaux lourds permet de mieux visualiser le comportement de ces métaux dans ces derniers.

Il ressort de ces tableaux une variabilité au niveau des différents paramètres mesurés. Ainsi on observe que: la teneur globale en sels, exprimée par la conductivité électrique, les teneurs en calcaire total, la matière organique, la capacité d'échange cationique et les teneurs en métaux lourds changent d'une station à une autre. Ceci est tout à fait logique si on sait que dans le sol l'hétérogénéité est plutôt la règle que l'exception.

Autre observation qu'on peut émettre à la lumière des résultats obtenus, c'est que les variations entre les différents paramètres ne sont pas assez importantes. Ceci est également logique dans la mesure où les distances entre les échantillons prélevés sont moins considérables.

Tableau. III:**Principales caractéristiques physico-chimiques des différentes stations**

Paramètres Stations	Fractions granulométriques(%)			pH	CaCO ₃	MO(%)	CEC (meq/100g)	CE (μs/cm)	Da (g/cm ³)
	S	A	L						
1	30	20	50	8	13.93	6.85	140	340	0.91
2				8.06	8.96	6.59	94.44	126	0.89
3				8.18	7.96	6.79	250	165	0.90
4				8.13	13.93	6.81	50	163	0.89
5				8.10	5.97	6.48	250	147	0.90
6				8.30	17.91	6.78	125	152	1.05
7				8.24	19.90	6.82	275	133	0.93
8				8.23	23.88	6.70	250	135	0.93
9				8.42	15.92	6.52	350	147	0.90
10				8.17	9.95	6.73	25	147	0.92

L: Limon;**A:** Argile;**S:** Sable;**MO:** Matière organique;**CEC:** Capacité d'échange cationique;**CE:** Conductivité électrique;**Da:** Densité apparente.

Tableau.IV:**Teneurs totales en métaux lourds des différentes stations**

Teneurs (ppm) Stations	plomb	Cadmium	Zinc	Manganèse	Cuivre	Nickel
1	0.54	0.02	1.28	5.27	0.80	0.05
2	0.71	0.07	1.03	6.30	0.08	0.002
3	0.48	0.08	1.11	5.98	0.68	0.04
4	0.10	0.02	1.06	4.07	0.16	0.14
5	0.57	0.10	1.02	6.79	0.04	0.13
6	0.28	0.16	1.36	7.76	0.53	0.39
7	0.63	0.007	0.97	6.63	0.15	0.10
8	0.27	0.19	1.22	4.66	0.11	0.14
9	0.15	0.11	1.07	6.008	0.13	0.13
10	0.81	0.27	0.99	5.84	0.16	0.09

A la lumière des résultats obtenus nous pouvons qualifier les sols de notre parcelle ou plus exactement les horizons supérieurs (0-20cm) de limoneux. Les valeurs de pH des dix stations sont plus ou moins homogènes. Le pH du sol est toujours alcalin et se situe entre 8 (valeur minimale, station 01) et 8.42 (valeur maximale, station 09).

Le taux du calcaire total présente des valeurs hétérogènes d'une station à une autre, avec un maximum de 23.89 et un minimum de 5.97 (respectivement pour les stations 08 et 05).

Le taux de la matière organique présente des valeurs homogènes, avec un maximum de 6.85 (station 01) et un minimum de 6.48 (station 05).

La capacité d'échange cationique varie entre deux valeurs, maximale 350 meq/100g de sol, dans la station 09 et minimale 25 meq/100g de sol pour la station 10.

La conductivité électrique présente une valeur maximale de 340 $\mu\text{s}/\text{cm}^3$ (station 01) et une valeur minimale de 126 $\mu\text{s}/\text{cm}^3$ (station 02).

La densité apparente présente des valeurs plus ou moins homogènes d'une station à une autre. La valeur maximale est de 1.05 (station 06) et la valeur minimale est de 0.89 (stations 02 et 04).

Les teneurs totales en Pb, Cd, Zn, Mn, Cu et Ni dans les dix stations étudiées sont plus ou moins homogènes.

Sur le plan qualitatif, le manganèse représente le cation dominant par rapport aux autres métaux.

Les teneurs les plus élevées en Pb, Cd, Zn, Mn, Cu et Ni se rencontrent dans les stations suivantes :

- (01) pour le Cu avec 0.80 (ppm) ;
- (06) pour le Zn avec 1.36 (ppm), le Mn avec 7.76 (ppm), et le Ni avec 0.39 (ppm) ;
- (10) pour le Pb avec 0.81 (ppm) et le Cd avec 0.28 (ppm).

Les valeurs minimales se rencontrent dans les stations :

- (02) pour le Ni avec 0.002 (ppm) ;
- (04) pour le Pb avec 0.10 (ppm) et le Mn avec 4.07 (ppm) ;
- (05) pour le Cu avec 0.04 (ppm) ;
- (07) pour le Zn avec 0.97 (ppm) et le Cd avec 0.007 (ppm).

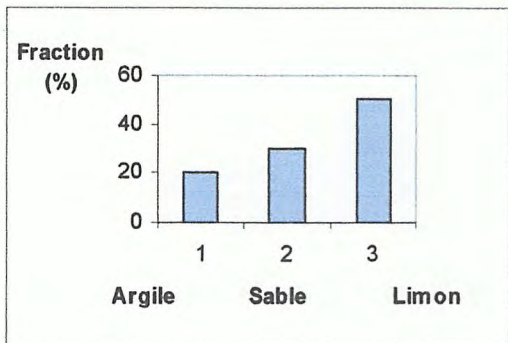


Fig.4: pourcentage des fractions granulométriques

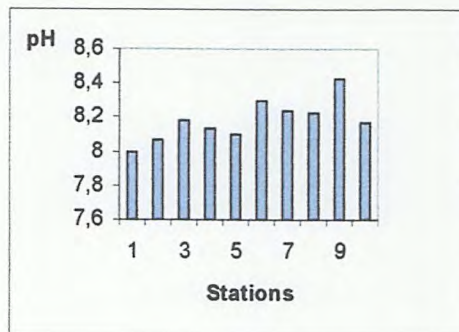


Fig.5 : Variations du pH en fonction des stations

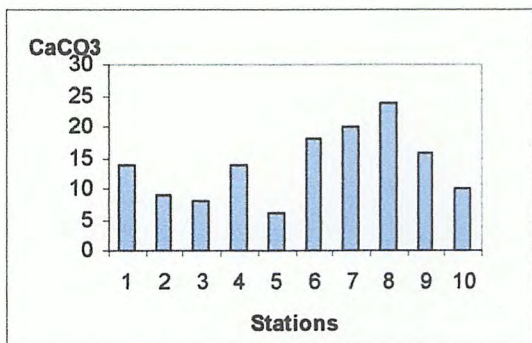


Fig.6 : Variations du calcaire total en fonction des stations

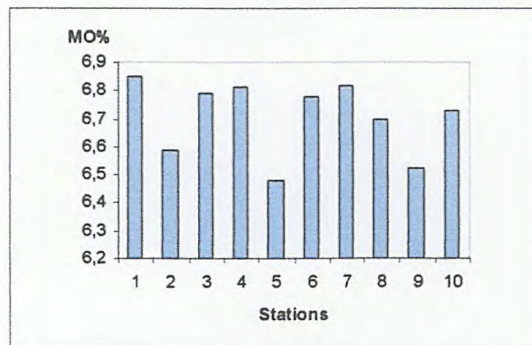


Fig.7: Variations de la matière organique en fonction des stations

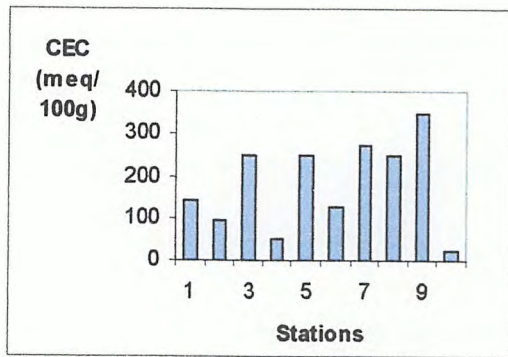


Fig.8: Variations de la CEC en fonction des stations

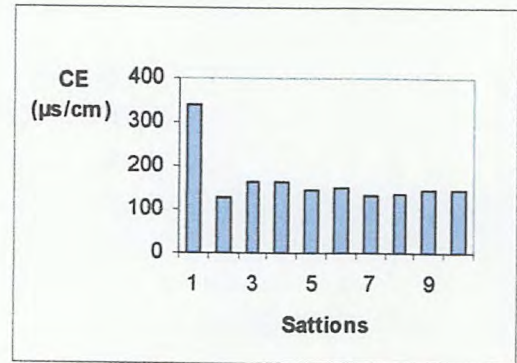


Fig.9: Variations de la conductivité électrique en fonction des stations

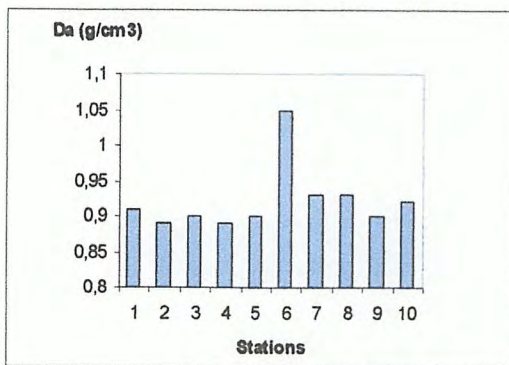


Fig.10: Variations de la densité Apparente en fonction des stations

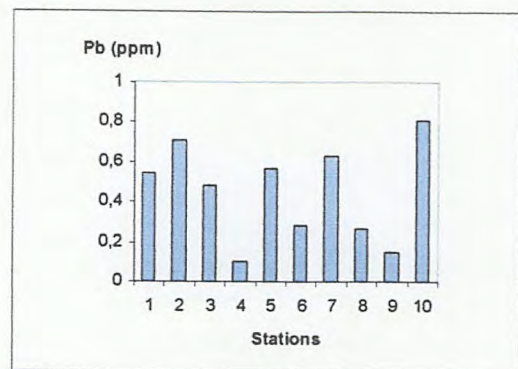


Fig.11: Variations des teneurs en plomb en fonction des stations

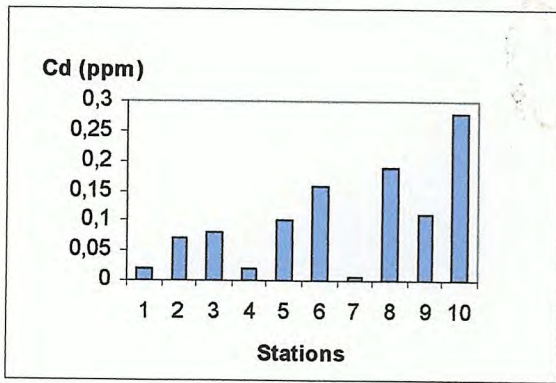


Fig.12 : Variations des teneurs en Cadmium en fonction des stations

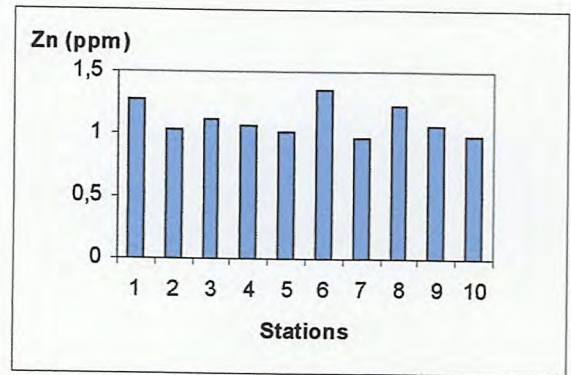


Fig.13 : Variations des teneurs en Zinc en fonction des stations

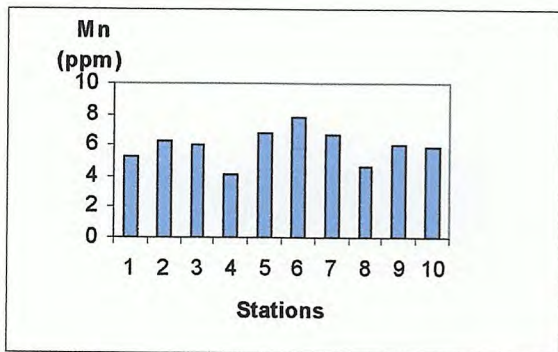


Fig.14: Variations des teneurs en Manganèse en fonction des stations

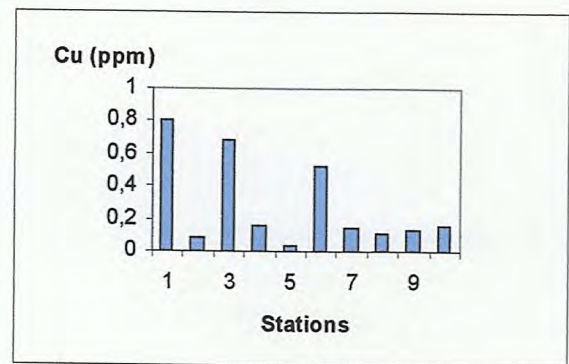


Fig.15 : Variations des teneurs en Cuivre en fonction des stations

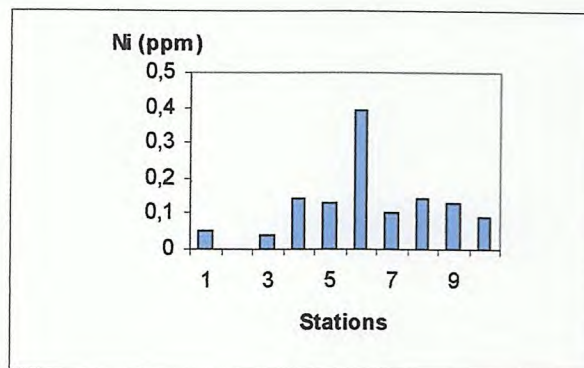


Fig.16: Variations des teneurs en Nickel en fonction des stations

2. DISCUSSION

1. Teneurs en métaux lourds

Tableau.V: propositions pour des << seuils d'investigation>> teneurs totales (Thévenet and Riou, 1997)

Métaux lourds	Valeurs seuils de la norme AFNOR U44-041	<<Seuils d'investigation>> proposés (en mg/kg)
Cd	2.0	0.70
Cu	100	35
Ni	50	70
Pb	100	60
Zn	300	150
Mn	/	/

En se référant à la norme AFNOR et aux seuils d'investigations proposés, nous constatons que quelque soit la norme prise en considération, les dix stations ne présentent aucun signe de contamination par les ETMs.

Pour bien interpréter nos résultats il faut d'abord prendre en considération que les dix stations représentent un sol vierge (le bassin dont nous avons prélevé nos échantillons n'a pas encore commencé à fonctionner).

La mobilité des ETMs dans les sols est la résultante d'un grand nombre de processus aux mécanismes variées et complexes. Elle dépend des divers paramètres physico-chimiques des sols à savoir: le pH, MO, CEC, CE, ainsi que la texture des sols (Calvet, 2003).

Les teneurs en ETMs sont en effet corrélées aux différents paramètres (pH, CE, MO, CEC, CaCO₃, texture), (Fig.17).

2. Texture du sol

On fait la projection des résultats de l'analyse granulométrique sur le triangle textural américain (Duchaufour, 1997), on trouve la texture du sol limoneuse.

Selon Baize, (1997b), dans de nombreux types de sols, les horizons supérieurs sont plutôt appauvris en argile, en fer et en la plupart des éléments traces.

Globalement, il y'a une forte relation entre la granulométrie de l'échantillon étudié et les teneurs en ETMs. Les matériaux et horizons très sableux ou très limoneux sont naturellement les plus pauvres (Baize, 1997b).

3. Le pH du sol

Le pH est un élément de grande importance car il contrôle la mobilité des métaux lourds dans le sol. Il résulte essentiellement d'un équilibre entre les ions libérés dans la solution du sol et ceux qui sont fixés par les colloïdes.

D'après les résultats obtenus le pH dans les dix stations est basique avec des valeurs comprises entre 8 et 8.42. (Tab.III).

Pour Tietgen; (1975), la mobilité des métaux lourds dans les sols contaminés augmente avec l'augmentation de l'acidité.

La solubilité d'un élément trace dépend tout d'abord du pH. Un pH bas augmente généralement la phytodisponibilité des éléments traces, car l'ion H^+ a une plus grande affinité pour les charges négatives sur les colloïdes, et rentre alors en compétition avec les ions métalliques vis-à-vis de ces sites, ce qui induit un relachage des éléments tracés dans l'eau des pores du sol (Loué, 1986).

Les teneurs en ETMs dans le sol et le pH des dix stations sont corrélées positivement pour le Cd, Zn, Mn et Ni avec des coefficients de corrélation $r = 0.28, 0.06, 0.27$ et 0.52 respectivement ; négativement pour le Pb et Cu avec des coefficients de corrélation $r = -0.50, -0.22$ respectivement. (Fig.17).

4. Calcaire total

D'après Baize (1988), les sols sont classés selon leurs teneurs en calcaire total comme suit:

Tableau.VI: Normes d'interprétation du calcaire total selon (Baize, 1988)

Teneurs en calcaire total en %	Types de sol
<1	Sol non calcaire
1-5	Sol peu calcaire
5-25	Sol modérément calcaire
25-50	Sol fortement calcaire

En comparant les teneurs en calcaire total des dix stations aux normes d'interprétation citées ci-dessus, nous pouvons les classer dans la classe des sols modérément calcaire.

En sol calcaire les carbonates de calcium sont les constituants majeurs qui interviennent dans la fixation des éléments traces, soit par absorption ou par précipitation d'hydroxyde ou de carbonates, ou encore par insertion dans le réseau de $CaCO_3$ (Perron, 1999).

Le calcaire total joue un rôle important dans les sols, son équilibre de dissolution contrôle partiellement le pH et une teneur élevée en carbonates rend le sol alcalin, favorisant, ainsi

l'ensemble des méthodes de fixations; de plus la surface de CaCO_3 est le siège de précipitation, d'adsorption et d'absorption (Plassard, 1999).

Donc la forte teneur en calcaire fait que le milieu est basique $\text{pH} > 7$.

Les coefficients de corrélation des teneurs en calcaire totale et en teneurs en ETMs dans le sol sont :

Positifs pour Cd, Zn et Ni ($r = 0.03, 0.41, 0.43$ respectivement) ;

Négatifs pour Pb, Cu et Mn ($r = -0.47, -0.05, -0.18$ respectivement). (Fig. 17).

5. Matière organique

Tableau.VII: Normes d'interprétation de la matière organique d'après (Schaefer, 1975 in Roula, 2005)

Taux de la matière organique(%)	Terre
<1	Très pauvre
1 à 2	Pauvre
2 à 4	Moyenne
>4	Riche

Pour Singh et al, (1997) la matière organique joue un rôle important dans la mobilité des métaux lourds dans le sol.

Il y'a une grande liaison entre le taux de matière organique et la teneur totale d'éléments traces métalliques qu'un sol peut contenir, puisque ces ETMs sont adsorbés par la matière organique ce qui réduit leur mobilité vers les plantes et la nappe phréatique.

Aussi, d'après Choudhry, (1994) la matière organique des sols se caractérise comme les argiles par une grande surface spécifique et par son pouvoir gonflant permettant la pénétration de l'eau et la diffusion de molécule de petites tailles qui peuvent ainsi se lier avec les substances humiques.

Par ailleurs, Bride, (1989); a cité que la liaison métallique de la matière organique peut être vue comme un processus d'échange ionique H^+ et les ions métalliques sur les groupes fonctionnels acides.

Duthil (1970), affirme que le taux de matière organique est normal lorsqu' il est de 2 à 4 %.

D'après le même auteur lorsque le sol dépasse un taux de 4% il est considéré comme humifères; c'est le cas des dix stations.

Les teneurs en ETMs dans le sol et les valeurs de la matière organique sont corrélés positivement pour le Zn, Cu et Ni avec $r = 0.34, 0.62$ et 0.11 respectivement ; négativement pour le Pb, Cd et Mn avec $r = -0.02, -0.20$ et -0.25 respectivement. (Fig. 17).

6. La capacité d'échange cationique (C E C)

La capacité maximale d'éléments traces métalliques qu'un sol peut renfermer devrait être en fonction de sa capacité d'échange cationique c'est-à-dire de sa capacité de retenir des ions des métaux lourds (Webber et Seigh in Laib, 2003).

Tableau.VIII: Normes d'interprétation pour la (C E C) (INRA)

Classes	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevés
(CEC) meq/100g du sol	<5	5-10	10-15	15-20	>20

D'après ce tableau nous constatons que les valeurs de la C E C de tous les échantillons analysés sont très élevés avec des valeurs de 25meq/100g à 350meq/100g. (Tab.III).

Les valeurs de la C E C dépend de la charge superficielle des argiles, des oxydes, mais aussi de celle des matières organiques. Les contributions sont additive de sorte que:

$$C E C_{\text{sol}} = C E C_{\text{argile+ oxyde}} + C E C_{M.O}$$

Donc plus un sol est riche en matière organique stable, plus son pouvoir tampon est fort et plus sa capacité d'échange est élevée.

La CEC augmente avec la teneur en argile du sol. Nos résultats montrent un pourcentage de 20% d'argile cela justifie les valeurs très élevées de la CEC par rapport aux normes dans les différentes stations étudiées et le faible potentiel de contamination de cette région.

D'après les coefficients de corrélation une corrélation positive est enregistrée entre la CEC et la teneur en Mn ($r= 0.20$), et une relation négative entre la CEC et Pb, Cd, Zn, Cu et Ni ($r= -0.27, -0.23, -0.05, -0.08$ et -0.03 respectivement). (fig.17).

7. La conductivité électrique (C. E)

Tableau.X: échelle de salure européenne, d'après (Gros, 1979)

Extrait	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé
CE (Ms/cm)	0 à 0.6	0.6 à 1.2	1.2 à 2.4	2.4 à 06	<06



D'après l'échelle de salure européenne, on classe les dix stations dans la classe des sols non salés. Les teneurs en ETMs et la conductivité électrique du sol des dix stations sont corrélés positivement pour Pb, Zn et Cu avec $r= 0.04, 0.47$ et 0.74 respectivement ; négativement pour Cd, Mn et Ni avec $r= -0.32, -0.25$ et -0.19 respectivement. (Fig.17).

❖ Corrélation significative marquée à $P < 0.05$.

	pH	CE	MO	Da	CEC	CaCO ₃	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Ni
pH	1.00											
CE	-0.50	1.00										
MO	-0.20	0.43	1.00									
Da	0.41	-0.08	0.27	1.00								
CEC	0.53	-0.15	-0.38	-0.11	1.00							
CaCO ₃	0.49	-0.05	0.34	0.44	0.26	1.00						
Pb	-0.50	0.04	-0.02	-0.21	-0.27	-0.47	1.00					
Cd	0.28	-0.32	-0.20	0.31	-0.23	0.03	0.16	1.00				
Zn	0.06	0.47	0.34	0.67	-0.05	0.41	-0.42	0.12	1.00			
Cu	-0.22	0.74	0.62	0.28	-0.08	-0.05	-0.02	-0.19	0.65	1.00		
Mn	0.27	-0.25	-0.25	0.57	0.20	-0.18	0.34	0.11	0.08	0.07	1.00	
Ni	0.52	-0.19	0.11	0.90	-0.03	0.43	-0.49	0.31	0.58	0.08	0.42	1.00

Fig.17: Matrice de corrélation entre: les teneurs en métaux lourds (ppm), pH, CE, MO, Da, CEC et CaCO₃ dans les dix stations.

Conclusion

Conclusion

L'objectif que nous nous sommes proposés d'atteindre à travers cette étude est de confirmer ou d'infirmer une éventuelle pollution naturelle par les métaux lourds dans le sol de la décharge contrôlée de Beni-Ahmed.

Dans cette étude six éléments (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni) ont été dosés.

Les résultats auxquels nous avons abouti nous ont permis de tirer les conclusions suivantes:

*Le site étudié ne représente aucun signe de contamination par les six ETMs dosés (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni), dont les teneurs sont inférieures à la normes AFNOR.

En effet la distribution, à quelques exceptions près, des métaux lourds semble stable et homogène en fonction des facteurs du milieu, susceptible d'agir directement ou indirectement sur la solubilisation et la mobilité des métaux lourds tels que: pH, teneurs en matière organique, en calcaire.

Les coefficients de corrélations négatifs ou non significatifs entre les facteurs du milieu (pH, MO, CaCO₃,) et les teneurs totales en ETMs confirment cette hypothèse.

*Les valeurs de concentration en ETMs obtenus dans cette étude sont nécessaires, pour éviter les risques de confusion dans l'interprétation des résultats d'analyse dans l'avenir.

Les travaux de Baize, (1997 b), démontrent bien que les valeurs ne peuvent servir que de <<signal d'alerte>> au dessus duquel une investigation plus détaillée est nécessaire. A titre d'exemple les valeurs de 85 ppm de Pb et 1.35 ppm de Cd inférieurs à la norme AFNOR (respectivement 100 et 2 ppm) sont considérées comme ne devant poser aucun problème.

Pour Baize, (1997 b), ce raisonnement est fallacieux et il démontre que 85 ppm du Pb et 135 ppm du Cd sont dans la plupart des types de sols l'indice de contamination non négligeable car ayant une origine anthropique.

La teneur en tel ou tel élément permet de connaître le stock de cet élément à un moment donné, elle ne donne malheureusement aucun renseignement sur la mobilité dans le sol sur sa disponibilité vis-à-vis des plantes. Il est pourtant suivable de bien faire la part de ce qui est naturel et de ce qui est contamination car le métal des apports anthropiques présente certainement des risques supérieurs au métal naturel, souvent immobilisé sous des formes relativement inertes.

Il est pratiquement impossible de fixer une valeur unique de teneur totale d'un élément ayant une signification de risque utilisable pour tous les types de sol Baize D, (1997 a).

A la lumière de ce qui à été dit, nous constatons que la seule teneur totale ne donne pas une idée juste des risques de contamination, des études complémentaires sont donc nécessaires; comme les études physiques et chimiques de spéciation permettant de mieux comprendre la forme sous laquelle le métal est le plus toxique.

Donc la question qui se pose dans la pollution du sol par les éléments traces métalliques:

- Bien que les éléments traces sont mobiles, ne s'accumulent pas dans les sols, et vont être transférés vers les nappes phréatiques et les plantes, contaminant ainsi la population.
- Ou bien les ETMs ne sont pas mobiles et n'entraînent aucun risque immédiat pour la population, mais conduisent à une contamination durable, voir irréversible des sols. Il s'agit donc d'un choix entre le court et long terme: ou bien les ETMs sont des sources de contamination immédiate, ou bien le problème est rejeté sur la génération future.

Références

Bibliographiques

- (1) **Abbas et Chaalal., 1995.** Contribution à l'étude de la contamination par le plomb et le cadmium de la région d'el Hadjar (W. Annaba). Mém. Ing. Industrie agro-alimentaire. Univer. Constantine, 129p.
- (2) **Abdul Rida A., 1992.** Biosurveillance de la contamination du sol : Apport de l'étude des lombriciens à l'évaluation des risques liés aux éléments traces. Thèse doct. Sci et Techn. Univ. Montpellier, France, 232p.
- (3) **AEGM. 2005.** Annuaire Economique Géopolitique Mondial. L'état du monde 2005.
- (4) **AFNOR. 1994.** Agence Française de Normalisation, qualité des sols. Recueil des normes Françaises, 3ème ed. AFNOR ; Paris ; 534.
- (5) **Andersson A. & Konilsson K.O., 1974.** Influence of lime and soil pH on Cd availability to plants. *Ambio*. 3 (5). 189-200.
- (6) **Autissier N. 1983.** Nutrition et hygiène alimentaire. Eléments métalliques dans les aliments. Lyon Pharmaceutique. Pp 87-90. France.
- (7) **Baize D. 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie. INRA, France imprimé par Jouve, Paris 172p.
- (8) **Baize D. 1997 (a).** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols de France. Référence et stratégie d'interprétation. Ed. , INRA Paris.
- (9) **Baize D. 1997 (b).** Détermination du fond pédogéochimique naturel des sols de la plaine de la Lys (Nord) et de « l'état normal » des sols agricoles. O.Q.S. rapport interne.
- (10) **Beliefert C ; Perraud R. (2001).** Chimie de l'environnement. Ed. De boek. 463p.
- (11) **Billar H. (1999).** Techniques d'ingénieur. N° d'impression : 900201. Ed ISTRAIN.
- (12) **Calvet R., 2003.** Le sol : propriétés et fonctions Tome (1) : constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Ed. France Agricole, p 251.
- (13) **CECAD. 1998.** Collectif pour l'étude du cadmium « Le cadmium en question ».
- (14) **Choudhry, G.G. (1994).** Humic substances; positive interactions ; structural, photophysical and free radical aspects and interactions with environmental chemicals. New York : Gordon and Break sciences publishers. INC, 95-134.
- (15) **Christensen H., 1984.** Cadmium sorption at low concentrations : II, Reversibility, effect of changes in solute composition and effect of soil aging. *W. A. S. P.* 21, 115-125.
- (16) **CNID. (2001).** Centre national d'information indépendante sur les déchets. Les décharges d'ordures ménagères, un danger potentiel près de chez vous. Dossier de synthèse étudié par le CNID en Mai 2001.
- (17) **Cottenie A., 1979.** Trace elements in agriculture and in the environment. *Lab. Anal. Agrochemistry, R.U.G., Ghent*, 73p.

- (18)Cottenie A., Verloo M., Kiekens L., Camerlynck R., Velche G & Dhaese A. (1979). Essential and non-essential trace elements in the system soil-water-plant. Lab. Anal. Agrochemistry, R.U.G., Ghent, 75p.
- (19)Cottenie A., Kiekens L & Van Landschoot G., 1983. Problems of the mobility and predictability of heavy metal uptake by plants. Procidings of the third international symposium held Brighton. September 27 p-30, 9.
- (20)Coullery P., 1997. Comportement de métaux lourds en agrosystèmes tempérés à faible taux de pollution métallique. Thèse d'état. Ecol-poly. Fed. Lausanne. Suisse, 139p.
- (21)Damien A. (2004). Guide de traitement des déchets, Ed : Dunod.
- (22)Delmas J. 1995. La lettre d'information du laboratoire d'analyses et de conseils agronomiques (INRA Bordeaux).
- (23)Derrache R., 1986. Toxicologie et sécurité des aliments. Ed. Lavoisier. Pp 160-178, Paris.
- (24)Dictionnaire encyclopédique, 2009.
- (25)Diehl R., 1975. Agriculture générale. Ed. J.B. Baillière, Paris, 369p.
- (26)DIETM.1989. Droit international de l'environnement-traités multilatéraux.
- (27)Duchaufour Ph., 1997. Abrégé de pédologie : sol, végétation, environnement, collection enseignement des sciences de la terre, 2ème édition, Paris, p291.
- (28)Duthil, J. 1970. Eléments d'écologie et d'agronomie croissance du milieu. Tome I. Ed : J. E. Bailliere et fils, 385.
- (29)Elliot H.A., Liberati R.M. & Huang C.P., 1986. Competitives adsorption of heavy metals by soils. J. Environ. Qual. 15 (3), 214-219.
- (30)Encarta, 2009.
- (31)Faurie C., Ferrà C., Medori P., Devane J., Hemptinne J. L. 1998. Ecologie approche scientifique et pratique. Ed : Tec and Doc. Paris, London, New York, pp293.
- (32)Frank., C. Lu. 1992. Toxicologie : Données générales – procédures d'évaluation organes cibles. Ed, Masson, pp 293-313.
- (33)Gros. 1979. Engrais guide pratique de la fertilisation 7ème Ed : Maison Rustique, p 533.
- (34)Haguenor TM et Furon D., 1982. Toxicologie et hygiène industrielle. T II. Les dérivés minéraux. Ed. Lavoisier, pp 213-218, Paris.
- (35)Impens R. 1974. Présence de plomb dans l'environnement. Annales de Gembloux, pp 173-183, Gembloux.
- (36)Impens R., Delcarte E., Mathy P., Piret T., 1979. Voies de transferts d'éléments traces non essentiels dans les systèmes sol-air-plante. Bull. Soci. Belge de pédologie (3) p 311-323. Gand.
- (37)Inspection de l'environnement, 2002. Wilaya de Jijel.

- (38) **Johnston, H, Carlier F. 1991.** Les déchets domestiques et les polluants industriels. Ed Gamma. Ed du treccarré.
- (39) **Kiekens, L. Verloom et Cottenie A. 1983.** Behaviour and biological importance of trace elements in soil. Lab. Anal. Agrochemic. State university, pp 3-24, Ghent, Belgium.
- (40) **Koller E. 2004.** Traitements des pollutions industrielles, eau, air, déchets, sols, boues. Ed. DUNOD. Pp (351-354).
- (41) **Laib E. 2003.** Evaluation de la contamination de l'eau, des sédiments et des plantes par les effluents résiduaux de la tannerie de Jijel. Thèse magister. Univ, Jijel.
- (42) **Lamoix J. N. et Roy M. L. 1976.** Manuel du technicien sanitaire pp86.
- (43) **Lauwerys R., 1992.** Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. Ed. Masson, pp 136-144; 198-217, Paris.
- (44) **Lazzerini M., 2007.** Effect of zinc supplementation on child mortality, Lancet ; 370 : 1194-1195.
- (45) **London C. 1999.** Techniques d'ingénieur. N° d'impression : 900201. Ed ISTRAIN.
- (46) **Loué A., 1986.** Les oligo-éléments en agriculture, Edition Agr-Nathan, Paris, p336.
- (47) **Mc Bride, M.B, 1989.** Reaction controlling heavy metal solubility in soils. In advances in soil sciences, volume 10, New York: spring-verlag, pp.1-6.
- (48) **Miquel G. 20. 2001.** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport 261 (2001/2002). Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques. 365p.
- (49) **Murat M., 1981.** Valorisation des déchets et des sous produits industriels. Ed. MASSON. Pp3.
- (50) **OFEFP. 1989.** Directives pour le prélèvement d'échantillons de sols et analyses de substances polluantes. Ed. OCFIM-Berne. 24p.
- (51) **O.F.S. 1997.** Office fédérale de la statistique. Statistique suisse de l'environnement N°6. Les déchets.
- (52) **ONM. (2008/2009).** Office national de météorologie. Station de Jijel-Achwat.
- (53) **OPECST. 2001.** Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Rapport du sénat français : Effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé –Rapport 261.
- (54) **Perron P. (1999).** Les micropolluants métalliques des boues des stations d'épuration urbaines et l'étage agricole. Mempuess, DEP ; Université Picardie, Amiens.
- (55) **Plassard, F, (1999).** Influence de la complexation sur la rétention de trois cations métalliques au sol alcalin application à un bassin d'infiltration d'eaux pluviales, thèse université Claud Bernard, Lyon I. 140p.

- (56) **Ramad F. 2002.** Dictionnaire encyclopédique d'écologie et de l'environnement, 2ème édition, Dunod, Paris, p (187,932).
- (57) **Riou P. and Thevenet G., 1997.** Qualité des sols et qualité des productions agricoles ; p191.
- (58) **Robert M. (1996).** Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Ed. MASSON. 244p.
- (59) **Roula S.E., 2005.** Caractérisation physico-chimiques et valorisation des boues résiduaires urbaines pour la confection des substrats de culture en pépinière hors sol, Thèse Mage, Agro, Université de Batna.
- (60) **Sahraoui R., 1999.** Etude de l'impact de l'irrigation des sols par les eaux résiduaires. Thèse Magister. Chimie de l'environnement, 157p.
- (61) **Scheinberg I.H., 1979.** Human health effects. In : Nriagu, J. (Ed), copper in the invironnement. Willey, London, p.17-39.
- (62) **Singh, B, R., Aval R.R., Almas A. (1997).** Residual effect of organic matter on cadmium uptake by plats and iys distribution in soil. Paris-France, 21p.
- (63) **Steulet J, SSIE. (2003).** Analyse de la concentration en plomb du sol sur et aux bords des pistes des aérodromes.
- (64) **Tietgen C., 1975.** Principal problems of the soils bulletin use of city wastes for crop production. F.A.O. (27), 221-226.
- (65) **Tiller K.G., Gerth J. & Brummer G., 1984.** The affinities of Cd, Ni and Zn for different soil lay fractions and goethite. Geoderma, 34 : 17-35.
- (66) **Vedy J.-C., 2002.** Eléments traces métalliques, p (12-25).
- (67) **Verloo M. 1974.** Influence of soil organic matter on the bihaviow of heavy metals in soils and sediments. Lab. Anal. Agrochemistry, R. U. G., Ghent, pp 7-22. Ghent, Belgium.

Annexes

ANNEXE I

Caractéristiques physico-chimiques des métaux lourds étudiés :

Nom Symbole Numéro	Plomb Pb 82	Cadmium Cd 48	Zinc Zn 30	Manganèse Mn 25	Cuivre Cu 29	Nickel Ni 28
Série chimique	Métal pauvre	Métal de transition	Métal de transition	Métal de transition	Métal de transition	Métal de transition
Groupe, période, Bloc	14, 6, p	12, 5, d	12, 4, d	7, 4, d	11,4, d	10, 4, d
Masse volumique (Kg/m ³)	11340	8650	7140	7470	8920	8908
Couleur	Blanc Gris	Métallique	Gris bleuté	Blanc argenté	Orange cuivré, métallique	Blanc argenté, reflet gris
Propriétés atomiques						
Masse atomique	207.2 u	112.411 u	65.38 u	54.938 u	63.546 u	58.6934 u
Rayon atomique(pm)	180(154)	155 (161)	135(142)	140(161)	135(145)	135(149)
Rayon de covalence (pm)	147	148	131	117	138	121
Rayon de Vander waals	202	158	139	126	140	163
Electrons par niveau d'énergie	2, 8, 18, 32, 18, 4	2, 8, 18, 18, 2	2, 8, 18, 2	2, 8, 13, 2	2, 8, 18, 1	2, 8, 16, 2
Etat(s) d'oxydation	4, 2	2	2	7, 6, 4, 2, 3	2, 1	2, 3
oxyde	amphotère	base faible	amphotère	Acide fort	Faiblement basique	Faiblement basique
Structure cristalline	Cubique face centrée	hexagonal	hexagonal	Cubique A12	Cubique face centrée	Cubique face centrée
Propriétés physiques						
Etat ordinaire	Solide	Solide	Solide	Solide	Solide	Solide
Température de fusion (°C)	327.5	321.1	419.5	1243.9	1084.4	1454.9
Température d'ébullition(°C)	1748.9	766.9	906.9	1961.9	2566.9	2912.9
Energie de fusion (Kj/mol)	4.799	6.192	7.322	12.05	13.05	17.47
Energie de vaporisation (Kj/mol)	177.7	100	115.3	226	300.3	370.4
Volume molaire (m ³ /mol)	18.26 x 10 ⁻⁶	13.00 x 10 ⁻³	9.16 x 10 ⁻⁶	7.35 x 10 ⁻⁶	7.11 x 10 ⁻⁶	6.59 x 10

Divers						
Electronégativité	2.33	1.69	1.65	1.55	1.9	1.91
Chaleur massique (j/(Kg-k))	129	233	390	480	380	440
Conductivité électrique (s/m)	4.81×10^6	13.8×10^6	16.6×10^6	0.695×10^6	59.6×10^6	14.3×10^6
Conductivité thermique (w/(m-k))	35.3	96.8	116	7.82	401	90.7

Annexe II

I. Mode opératoire des paramètres étudiés

I.1- Mesure du pH

-Peser 10g de terre tamisé (2 mm) dans un bécher de 50 ml et ajouter 25 ml d'eau distillée exactement mesurée.

-Agiter 2 minutes.

-Laisser reposer 1/2 heure.

-La mesure du pH se fait à l'aide d'un pH mètre sur la solution du sol.

I.2- Mesure de la conductivité électrique

-Peser 10g de sol tamisé (2 mm) dans un bécher de 100 ml et ajouter 50 ml d'eau distillée.

-Agiter 2 minutes.

-Laisser reposer 1/2 heure.

-Effectuer les mesures de la conductivité à l'aide d'un conductimètre électronique sur la solution du sol.

I.3- Détermination de la densité apparente

-Peser une motte de terre dans un verre de montre (P_1).

-Attacher la motte à un fil de 30 cm de longueur, faire cette opération au dessus du verre de montre.

-Plonger la motte dans la paraffine liquide. La paraffine doit être assez liquide pour qu'elle puisse soigneusement enrober la motte entière, mais assez froide pour qu'elle se fige directement au contact de la surface (environ 40 C°). L'immersion doit être de courte durée car autrement l'air de la motte s'échauffe trop et se dilate en créant des cavités entre le fil et la motte.

-Peser le verre de montre avec les particules de terres détachées (P_2).

-Peser la motte de terre enrobée de paraffine (P_3).

-Peser la motte sous l'eau: la motte de terre est suspendue dans un bécher d'eau qui repose sur une balance; la différence de poids entre le bécher d'eau avec la motte immergée et le bécher d'eau est égale à la force ascendante selon la loi d'Archimède (P_4).

Calcul

Densité apparente de la motte sèche : $d_a = P_m / V_m$

- Poids de la motte: $P_m = P_1 - P_2$

- Volume de la motte : $V_m = V_m' - V_p$

I.4-Détermination du calcaire total

-Introduire 1g de terre tamisée à 2 mm dans un pilulier.

-Introduire prudemment dans cet pilulier un tube à hémolyse rempli de 2 ml de HCL (avec une micropipette).

-Fermer le pilulier et déterminer le volume du à l'enfoncement du bouchon après avoir équilibré les niveaux de la solution dans les deux bras du manomètre.

Noter : V_t = volume témoin.

-Agiter le pilulier pour que HCL prenne contact avec l'échantillon (terre) et continuer à remuer jusqu'au moment où le liquide arrête de descendre dans le calcimètre.

-Le volume de gaz se lit après la mise à niveau sous pression atmosphérique (noter V_e : volume de l'échantillon).

$$V_{\text{corrigé}} = V_e - V_t$$

Remarque

Avant de faire ce mode d'opération, on fait l'étalonnage du calcimètre, c'est-à-dire on détermine la relation entre les qualités connues de carbonates et les volumes de CO_2 dégagés.

Pour cela on remplace le 1g de terre par 15g de CaCO_3 pur et on suit le même mode opératoire.

I.5- dosage de la matière organique

-Introduire 1g de terre tamisée à 2mm dans un erlenmeyer de 500 ml.

-Ajouter 10 ml de dichromate à la burette et 20 ml d'acide sulfurique à l'éprouvette. Agiter pendant 1 minute et laisser reposer durant 30 minutes.

-Ajouter 200 ml d'eau distillée, puis 10 ml d'acide phosphorique à l'aide d'une pipette munie d'une poire propipette. Compléter d'un ml d'indicateur.

-Titrer avec la solution de FeSO_4 (dans une burette de 50 ml). Le virage est atteint quand la couleur change du violet au vert.

-Faire en double et un essai à blanc (mêmes opérations en absence du sol).

Calcul

$$\text{Matière organique \%} = \frac{4 \times 1,725(a-b)}{a}$$

a = volume en ml de la solution FeSO_4 ajoutée au blanc

b = volume en ml de la solution FeSO_4 ajoutée au sol : prendre la moyenne des deux répétitions.

I.6- Analyse granulométrique

Elle permet de connaître en taille des particules des sols :

Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Gravier	Cailloux
2 μ	20 μ	200 μ	2mm	20mm	

La méthode utilisée pour la détermination des fractions granulométriques est la méthode internationale; à la pipette de Robinson (norme AFNOR x 31-107, Juillet 1983).

Elle consiste à séparer la partie minérale du sol en fonction de diamètre des particules et à déterminer, les proportions relatives à ces fractions.

-Les fractions grossières; sont séparées par tamissage, tandis que les fractions fines (limons, argiles) sont séparées par sédimentation. Le prélèvement de ces dernières se base sur la relation liant, le temps de sédimentation et le diamètre des particules données par la loi de Sticks. On prélève un petit volume connu de la suspension dont on pèsera le résidu solide après évaporation du liquide.

Il est à noter, qu'avant toute analyse granulométrique, on doit procéder à :

- Une destruction de la matière organique avec 100ml de H₂O₂ (110 V), ainsi que celle du calcaire avec 100ml de HCL (0.2 N).
- Une dispersion des colloïdes par l'adjonction d'un agent défloculant (peptisant) : l'héxamétaphosphate de sodium.

I.7-Mesure de la C.E.C

Mettre 2 ml de la solution du sol. Ajouter 2 ml de NaOH et 38 ml d'eau distillée, plus quelques gouttes de phénol phtaléine dans un ballon d'un litre, met le dans un chauffe-ballon. Dans le bécher de collection, mettre 8 ml d'acide borique plus quelques gouttes d'indicateur de Tachiro, dans la colonne de titration, on met la solution de H₂SO₄. Au moment où le virage de la couleur du violet vers le vert est effectué on commence la titration par H₂SO₄, puis on applique la formule de calcul suivante:

$$T = \frac{(V_2 - V_1) \times C \times 50 \times 2 \times 100}{m.v}$$

V₂ : volume du témoin.

V₁ : volume de l'échantillon.

C : concentration de H₂SO₄ = 0.025 mol/l.

m : prise d'essai = 0,5g de sol.

v : prise d'essai = 2 ml de la solution du sol.

I.8-Méthode de dosage des métaux lourds

I.8.1- Préparation des extraits de sol

Les teneurs totales en métaux lourds sont extraites de la façon suivante :

- On ajoute 3ml d'HCl et 1ml d'HN₃ à 1g de sol dans un bécher ;
- Le tout est porté à ébullition dans un bain de sable durant 20 minutes ;
- Après refroidissement, on y ajoute 100ml d'eau distillée ;
- Le contenu est filtré et récupéré dans des fioles pour analyses.

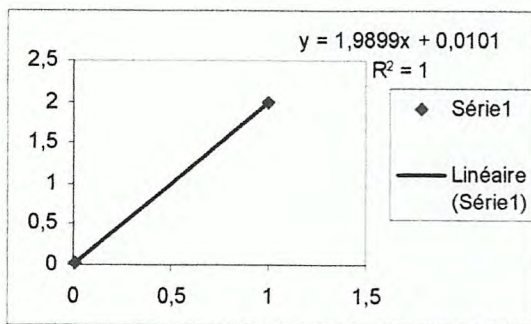
I.8.2-Préparation de la gamme d'étalonnage

A partir d'une solution mère de 1000 ppm, des solutions filles à 100mg/l diluées dix fois ont été préparées. Ces solutions intermédiaires servent à préparer la gamme d'étalonnage pour les métaux étudiés (tableau).

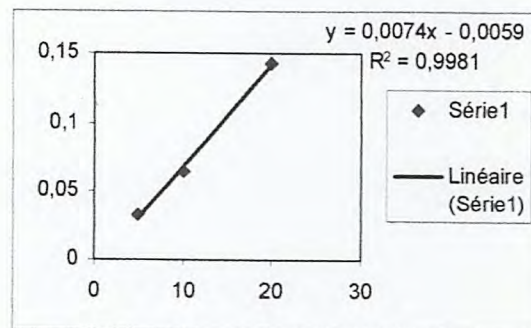
Eléments Etalons	Plomb	Cadmium	Zinc	Manganèse	Cuivre	Nickel
0.2		0.0054	0.0266			
0.4		0.0210	0.0499			
0.5				0.0364	0.0200	0.0228
1		0.0522	0.1130	0.0876	0.0527	0.0394
2			0.2644	0.1742	0.1307	0.0782
4	0.0328		0.4910	0.3842		
5						
8				0.7330	0.5257	0.2928
10	0.0650	0.5698				
20	0.1424					



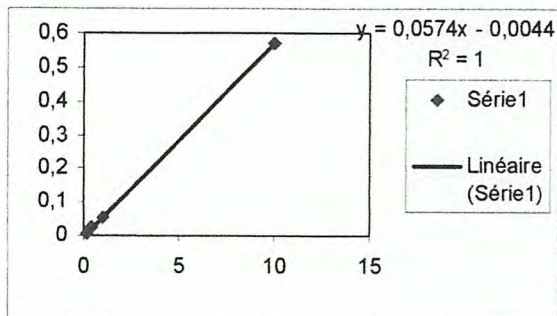
ANNEXE III



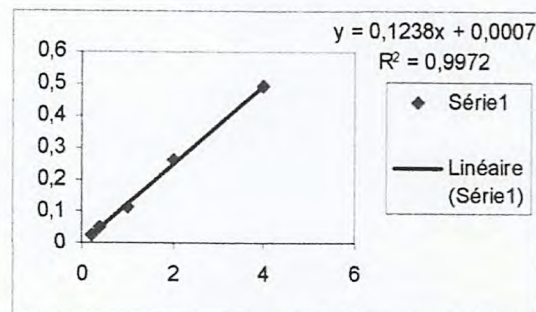
Courbe d'étalonnage du calcaire total



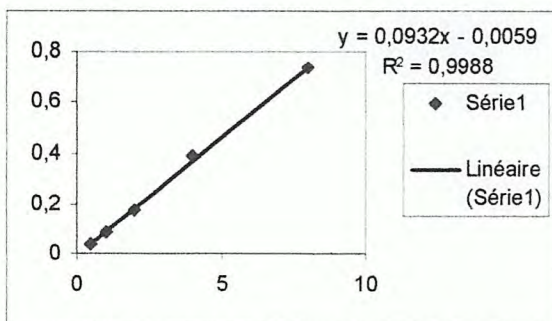
Courbe d'étalonnage du Plomb



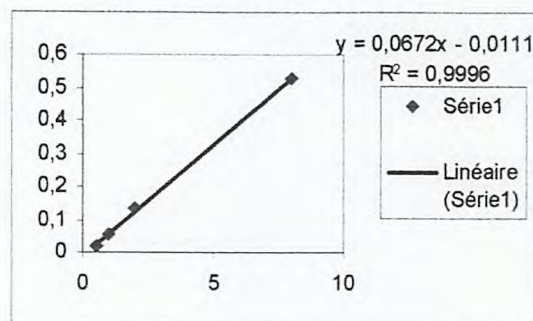
Courbe d'étalonnage du Cadmium



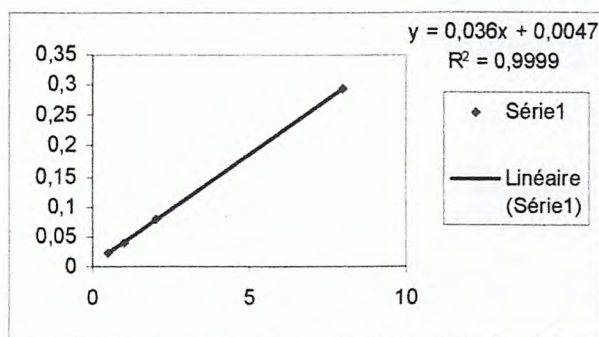
Courbe d'étalonnage du Zinc



Courbe d'étalonnage du Manganèse



Courbe d'étalonnage du Cuivre



Courbe d'étalonnage du Nickel



Thème

Contribution à l'évaluation des teneurs totales en métaux lourds du sol au niveau du site de la décharge contrôlée de Beni Ahmed (risque d'une pollution géogène).

Les Membres de jury:

- Mr Mayache.B :Président;
- Mr Krika. A :Examinateur;
- Mme Benfridja.L: Encadreur.

Présenté par:

- Bencharif Naila
- Riah Ryma

Résumé

En matière d'éléments traces métalliques (ETM) dans le sol de la décharge de Beni Ahmed, il est souhaitable de bien faire la part de ce qui est naturel (fond pédo-géochimique) et de ce qui est contamination. Notre travail consiste à faire:

1) L'étude des caractéristiques physico-chimiques du sol;

2) Dosage de six éléments traces métalliques (plomb(Pb), cadmium(Cd), zinc(Zn), cuivre(Cu), manganèse(Mn), et nickel(Ni) dans le sol par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique.

Les resultants montrent que le site étudié n'est pas contaminé par les six ETMs, doses (Pb, Cd, Zn, Cu, Mn, Ni) qui ne dépassent guère les normes.

Mots clés: Décharge, sol, éléments traces métalliques, fond pédo-géochimique, contamination, plomb, cadmium, zinc, cuivre, manganèse, nickel, spectrophotométrie d'absorption atomique.

Summary

In terms of metallic trace elements in the soil of discharge Beni Ahmed, it is desirable to do from what is natural (melts pedo-geochemic) and what is contamination. Our job is to:

1) The study of physicochemical characteristics of soil;

2) Determination of six metallic trace elements (Lead(Pb), cadmium(Cd), zinc(Zn), copper(Cu), manganese(Mn) and nickel(Ni) in the soil by atomic absorption spectrophotometry.

Results show that the site is not contaminated by the six ETM assayed (Pb, Cd, Zn, Cu, Mn, Ni) which not exceed standards.

Key words: Discharge, soil, metallic trace elements, melts pedo-geochemic, contamination, lead, cadmium, zinc, copper, manganese, nickel, atomic absorption spectrophotometry.

ملخص

فيما يخص المعادن الثقيلة في تربة موقع التفريغ لبني احمد، إنه من المستحسن التمييز بين ما هو طبيعي(العمق البيوجيوشيمي) و ما هو تلوث. عملنا يتمثل في:

1) دراسة الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للتربة.

2) معايرة المعادن الثقيلة: الرصاص(Pb), الكاديوم(Cd), الزنك(Zn), النحاس(Cu), المنغنيز(Mn) و النيكل(Ni)

في التربة بالسبكتروفوتومتر للامتصاص الذري.

النتائج توضح أن الموقع ليس ملوثا بالمعادن الثقيلة التي لا تتجاوز المعايير المعترف بها عالميا.

الكلمات المفتاحية:

التفريغ، التربة، المعادن الثقيلة، العمق البيوجيوشيمي، التلوث، الرصاص، الكاديوم، الزنك، النحاس، المنغنيز، النيكل، سبكتروفوتومتر للامتصاص الذري.