

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

*Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou*

*Faculté des Sciences Biologiques et des  
Sciences Agronomiques*

*Département des Sciences Agronomiques*



# *Mémoire*

## *de fin de cycle*

En vue de l'obtention du diplôme de *Master en Agronomie*

*Spécialité : sol, plantes et environnement*

*Thème:*

*Teneurs en Éléments Traces Métalliques des sols  
agricoles de la Wilaya de Tizi Ouzou*

*Réalisé par :*

**M<sup>r</sup>. OUALI KHALED.**

Devant le jury composé de :

<b>M<sup>me</sup>. ALKAMA-MESSOUS N.</b>	<b>M.C.A</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Présidente</b>
<b>M<sup>r</sup>. CHERFOUH R.</b>	<b>M.A.A</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Promoteur</b>
<b>M<sup>r</sup>. BOUDJEMA S.</b>	<b>M.A.A</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Co-promoteur</b>
<b>M<sup>r</sup>. MERROUKI K.</b>	<b>M.C.B</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Examineur</b>
<b>M<sup>elle</sup>. OMOURI O.</b>	<b>M.A.A</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Examinatrice</b>

**Promotion 2015 - 2016**

# Remerciements

*Nous remercions « Dieu Tout Puissant » de nous avoir donné la santé, la patience et la volonté pour réaliser ce modeste travail.*

*C'est avec un grand plaisir que nous exprimons notre gratitude et nos sincères remerciements à notre*

*Promoteur: Mr CHERFOUH.R et Co-promoteur: Mr BOUDJEMA .S*

*Pour leurs orientations judicieuses et encadrement, leurs conciles qui nous ont guidé dans l'élaboration de ce mémoire de Master.*

*Nous remercions M<sup>me</sup> ALKAMA - MESSOUS. N qui nous fait honneur de présider le jury*

*Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements aux égards des membres de jury M<sup>elle</sup> OUMOURI .O, Mr MERROUKI. K pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.*

*Nous remercions Mr IMASSOUDENE. A qui nous a aidé à réaliser ce travail.*

*Nous remercions M<sup>me</sup> AMIRAT. Y qui nous a aidés à réaliser l'analyse statistique des résultats.*

*J'adresse un très grand merci à l'étudiante M<sup>elle</sup> ILLIMI. H pour son bien et son soutien morale.*

*Nos remerciements vont également à tout le personnel de :*

- ❖ *Laboratoire Physique du sol de l'Université « ZIANE ACHOUR, DJELFA » de nous avoir autorisé à réaliser notre expérimentation au sein de cette établissement ;*
- ❖ *Office National d'Assainissement de BARAKI, ALGER*

*A tous ceux qui ont contribué à notre formation, particulièrement les enseignants de département d'Agronomie de Tizi-Ouzou, trouvent ici notre profonde reconnaissance.*

*Nous tenons à exprimer tout au fond de nos cœurs, nos reconnaissances à nos familles pour toute leur aide morale et financière.*

*Enfin, un grand merci pour tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de ce modeste travail.*

## *Je dédie ce modeste travail ;*

*Ce que vous tenez entre vos mains est en quelques sortes le couronnement d'un très long parcours ; de travail, d'ambitions, de succès ou de déceptions. Qu'il honore ou pas toutes ces années, je tiens à le dédier :*

*A mes très chers parents, ma chers «TATI » à qui je dois ce que je suis aujourd'hui, que Dieu les protèges et l'entoure de sa bénédiction.*

*A mes sœurs SALOUA, MOUNA et leurs enfants aux quels je souhaite une vie prospère et pleine de joie;*

*A mon frère youyou a qui je souhaite un avenir prometteur*

*A la mémoire de mon oncle « Khali MOMOH », ma grande mère « yaya OOVERDIA », ma tante « Khalti NOURA » et mes amis « NASSIM et SEDIK »*

*A mes oncles ABDELATIF, HADJE ALI REMDANE et sa femme FATMA et leurs enfants, sans oublier mes tantes MABROUKA, DJAMILA ;*

*A goldo DADI et bat VOVANE ;*

*A mon binôme d'ingénieur 2014 M<sup>me</sup> RADJA. L et toute sa famille ;*

*A tous mes amis (es) surtout «SOFIANE, BOUKHA, YAZID, RABEH<sup>2</sup>, MASSI, HASSINA, FATEH, FOUED, DJILLALI, MOULOUD, RAHMA, SYFAX, SOHIB, ASSIA, LAMIA, KARIM, FARID, AMINE, OUALID ;*

*A tous mes collègues (es) de travail « HAMID<sup>3</sup>, SALEM, RABAH, SOHIB, HAND, ALIOUAT, MOUAD, M'HANA, BOUDJEMA, SALAH, BANDJI, BRUNO<sup>2</sup>, MALIKA, HAKIM, KARIM, TAHAR, FEDALA, YUCEF, YAHIA, Malek, AKLI, TOUFIK, MND AMEZIANE ;*

*A tous ceux que je connais et ont cru en moi*

*A la promotion « Sol, Plante et Environnement » (Les innocents) et toute les promotions de l'agronomie 2015/2016.*

*A tout le personnel du département d'agronomie de Université de Mouloud Mammeri Tizi Ouzou.*

*OUALI KHALED*

## Liste des abréviations

**a** : Profondeur de 0 à 10 cm

**ADEME**: Agence de l'environnement et la Maîtrise de l'Energie, (France)

**AFNOR**: Association Française de la Normalisation

**Ag**: Argent

**Al**: Aluminium

**Ar**: Argon

**Au** : Or

**b** : Profondeur de 10 à 25cm

**c** : profondeur de 25 à 45 cm

**° C** : Degré Celsius

**CE** : Conductivité électrique

**CEC** : Capacité d'échange cationique

**CM** : Carré moyen

**Cm** : Centimètre

**Co** : Cobalt

**C<sub>org</sub>** : Carbone organique

**CPCS** : commission de pédologie et de cartographie des sols

**Cr** : Chrome

**CTO** : Compose trace organique

**Cu** : Cuivre

**DBK** : Draa Ben Kheda

**DEC** : Décembre

**E** : Est

**Eh** : Potentiel d'oxydoréduction

**ETM** : Eléments Traces Métalliques

**FNRDA** : Fonds National de Régulation et de Développement Agricole

**ha** : Hectare

**Hg** : Mercure

**g** : Gramme

**K** : Potassium

**Km<sup>2</sup>** : Kilomètre carre

**M (°C)** : Moyenne des températures maximales mensuelles

**m (°C)** : Moyenne des températures minimales mensuelles

**mg** : Milligramme

**Mg** : Magnésium

**mm** : Millimètre

**(M+m) /2** : Moyenne de températures mensuelles

**MO** : matière organique

**N** : Azote

**N** : Nord

**Ni** : Nickel

**Nov** : Novembre

**NTK** : Matière Organique Azoté

**Oct** : Octobres

**ONA** : Office National de l'Assainissement.

**ONM** : Office National Météorologique

**OTV** : Omnium de Traitement et de Valorisation

**P** : Précipitation annuelles en mm

**Par** : Parcelle

**pH** : Potentiel hydrogène

**PPM** : partie par million

**PROF** : Profondeur

**Q<sub>2</sub>** : Quotient pluviothermiques

**SAA** : Spectrométrie Absorption Atomique

**SAT** : Superficie Agricole Totale

**SAU** : Superficie Agricole Utile

**SEP** : Septembre

**STEP** : Station traitement des eaux polluées

**TO**: Tizi-Ouzou

**USDA**: United States Department of Agriculture

**V**: Verger

**Zn** : Zinc

.

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 01</b> : Variation des températures moyennes mensuelles en (°C) pour la période (2001-2011).....	10
<b>Tableau 02</b> : Moyennes des précipitations mensuelles et total des précipitations annuelles de la région de Tizi-Ouzou pour la période allant de : (2001 a 2011) .....	11
<b>Tableau 03</b> : Définition des classes de CEC (Martin et Nolin 1991). .....	22
<b>Tableau 04</b> : Composition générale des boues d'épuration (Dudkowski,2000).....	27
<b>Tableau 05</b> : Les paramètres de la 1 <sup>ère</sup> parcelle. ....	39
<b>Tableau 06</b> : Les paramètres de la 03 <sup>ème</sup> parcelle .....	40
<b>Tableau 07</b> : Les paramètres de la 4 <sup>ème</sup> parcelle .....	40
<b>Tableau 08</b> : Les paramètres de la 05 <sup>ème</sup> parcelle .....	41
<b>Tableau 09</b> : Les paramètres de la 06 <sup>ème</sup> parcelle. ....	42
<b>Tableau 10</b> : Les paramètres de la 7 <sup>ème</sup> parcelle .....	42
<b>Tableau 11</b> : Les valeurs de Cuivre dans les différentes parcelles étudiées.....	56
<b>Tableau 12</b> : Les teneurs du Chromes dans les différentes parcelles étudiées en fonction des profondeurs.....	58
<b>Tableau 13</b> : Les valeurs du Cadmium dans les différentes parcelles étudiées en fonction des profondeurs.....	60
<b>Tableau 14</b> : Les teneurs en Fer dans les différentes parcelles étudiées en fonction de la profondeur.....	61
<b>Tableau 15</b> : Les teneurs en Nickel dans les différentes parcelles étudiées.....	63
<b>Tableau 16</b> : Les teneurs en Plomb dans les différentes parcelles étudiées en fonction de la profondeur.....	65
<b>Tableau 17</b> : proportion des éléments dans les parcelles étudiées.....	67
<b>Tableau 18</b> : les teneurs des ETM des parcelles étudiées en fonction des Horizons prospectées.....	68
<b>Tableau 19</b> : Matrice des corrélations entres les Eléments Trace Métalliques étudiées...	69

<b>Tableau 20</b> : les corrélations positives entre les ETM (Ni, Cd, Cr).....	70
<b>Tableau 21</b> : Résultats des différents tests utilisés dans l'analyse statistique des teneurs des ETM.....	71
<b>Tableau 22</b> : les différents groupes homogènes et les groupes hétérogène.....	72
<b>Tableau 23</b> : Teneurs en Traces métallique des eaux d'irrigations E01, E02.....	75
<b>Tableau 24</b> : les résultats du pH, la granulométrie des sols agricoles étudiés.....	77

## Listes des Figures

<b>Figure 01</b> : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de Tizi Ouzou pour la période : (2001-2011) .....	12
<b>Figure 02</b> : Situation de la wilaya de Tizi-Ouzou sur le climagramme d'Emberger .....	13
<b>Figure 03</b> : Proportion moyenne des divers constituants du sol (Soltner, 1998) .....	15
<b>Figure 04</b> : Triangle des textures minérales (USDA, 1975) .....	16
<b>Figure 05</b> : Fonctionnement du système sol-plante .....	16
<b>Figure 06</b> : La matière organique et les minéraux essentiels pour la plante ( Jacques et al., 2005) .....	18
<b>Figure 07</b> : Effets des matières organiques sur les propriétés des sols .....	20
<b>Figure 08</b> : Schéma de principe d'une filière de traitement des boues.....	24
<b>Figure 09</b> : Localisation des différentes parcelles échantillonnées via Google Earth (2014).....	38
<b>Figure 10</b> : Profil cultural (2014) .....	38
<b>Figure 11</b> : Image satellite de la 1 <sup>ère</sup> la parcelle (Google Earth, 2016). .....	39
<b>Figure 12</b> : Image satellite de la 3 <sup>ème</sup> la parcelle (Google Earth 2016).....	39
<b>Figure 13</b> : Image satellite de la 4 <sup>ème</sup> la parcelle (Google Earth 2016).....	40
<b>Figure 14</b> : Image satellite de la 5 <sup>ème</sup> la parcelle (Google Earth 2016).....	41
<b>Figure 15</b> : Image satellite de la 6 <sup>ème</sup> la parcelle (Google Earth 2016).....	41
<b>Figure 16</b> : Image satellite de la 7 <sup>ème</sup> parcelle (Google Earth 2016).....	42
<b>Figure 17</b> : Minéralisation par l'attaque acide .....	46
<b>Figure 18</b> : Agitation de la solution à l'aide d'une plaque chauffante .....	48
<b>Figure 19</b> : Schéma de la filtration sous vide.....	49
<b>Figure 20</b> : Filtration des ETM par technique sous-vide.....	50
<b>Figure 21</b> : Exemple de SAA flamme et four (appareil ONA Baraki, Alger). .....	52

<b>Figure 22</b> : La variation du Cu dans les parcelles étudiées en fonction des profondeurs.....	56
<b>Figure 23</b> : La variation Chrome dans les parcelles étudiées en fonction des profondeurs.....	58
<b>Figure 24</b> : La variation du Cadmium dans les parcelles étudiées en fonction des profondeurs.....	60
<b>Figure 25</b> : La variation du Fer dans les parcelles étudiées en fonction des profondeurs.....	62
<b>Figure 26</b> : La variation du Nickel dans les parcelles étudiées en fonction des profondeurs.....	63
<b>Figure 27</b> : La variation du Plomb dans les parcelles étudiées en fonction des profondeurs.....	66
<b>Figure 28</b> : les proportions des ETM dans les parcelles étudiées.....	67
<b>Figure 29</b> : La distribution de la normalité des teneur des ETM en fonction des parcelles.....	73
<b>Figure 30</b> : Distribution de la normalité des teneurs des ETM en fonction de la profondeur.....	74
<b>Figure 31</b> : Teneurs des eaux d'irrigation en ETM.....	76

# Sommaire

<b>Introduction Générale</b> .....	01
------------------------------------	----

## **Chapitre I : Synthèse Bibliographique**

### **Partie I : Etude de Milieu**

I.1.Présentation de la région d'étude .....	03
I. 1.1.Cadre régional.....	03
I.1.2-Cadre local.....	03
I.2-Géologie et la géomorphologie .....	04
I .2.1-Géologie régionale.....	04
I.2.1.1. Chaîne littorale .....	04
I.2.1.2.Socle métamorphique .....	04
I.2.1.3.Chaîne de Djurdjura.....	04
I.2.1.4.Dépôts alluvionnaire .....	04
I.2.2-La géologie locale.....	05
I.2.2.1.La commune de Tizi-Ouzou .....	05
I.2.2.2.La commune de Tadmaït .....	05
I.2.3-La géomorphologie.....	05
I.2.3.1-La géomorphologie régionale.....	05
I .2.2.2-Géomorphologie locale .....	06
I.3- Classes de sols selon la CPCS (1967) dans la région de Tizi-Ouzou .....	06
I.3.1-Classe des sols minéraux bruts.....	07
I.3.2- Classe des sols peu évolués d'apport.....	07
1.3.2.1. Groupe des sols peu évolués d'apport alluvial .....	07
I.3.2.1.1Sous groupes des sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphie.....	07
I.3.2.1.1.Sous groupes des sols peu évolués d'apport alluvial vertiques.....	08
I.3.3. Classe des vertisols.....	08
I.3.4-Classe des sols hydro morphes.....	08
I.3.5- Classe des sols calcimagnésiques.....	09
I.3.6-Classe des sols à sesquioxides de fer ou de manganèse.....	09
I.4.Etude climatique de la wilaya de Tizi Ouzou.....	10

I.4.1-Température.....	10
I .4.2- Précipitations.....	11
I.4.3- Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	11
I.3.4- Quotient pluviométrique et climatique d’Emberger.....	12
Conclusion.....	13

## **Partie II : LE SOL**

II. Généralités sur le sol.....	15
II.1. Définition.....	15
II.2.Texture.....	16
II.3. Structure d un sol fertile.....	17
II.4.Relation sol-Plante.....	17
II.5.Matière Organique.....	18
II.6.Les sols algériens et leur richesse en matière organique.....	19
II.7. Les effets de la matière organique sur les propriétés du sol .....	20
II.7.1.Action de la matière organique sur les propriétés physique du sol .....	21
II.7.2. Action de la matière organique sur les propriétés chimiques du sol .....	21
II.7.3. Effets de la matière organique sur les propriétés physico-chimiques du sol .....	22
II.7.3.1.Capacité d’échange cationique (CEC).....	22
II.7.4.Effets de la matière organique sur les propriétés biologique du sol .....	23

## **Partie III : Les Boues des stations d'épuration des eaux usées**

III.1.Généralité sur les boues résiduaires des stations d’épuration .....	24
III.2.Traitements des boues à la station d’épuration .....	24
III.2.1.Voies d'élimination des boues résiduaires urbaines.....	24
III.2.2.Epandage sur les terres agricoles.....	25
III.2.3.Incinération.....	25
III.2.4.Mise en décharge.....	25
III.3.Intérêt agronomique des boues.....	26
III.4.Composition des boues résiduaires.....	27

III.4.1.Matière organique .....	27
III.4.2.Eléments fertilisants.....	28
III.4.2.1.Azote.....	28
III.4.2.2.Phosphore.....	28
III.4.2.3.Potassium .....	29
III.4.2.4.Calcium .....	29
III.4.2.5.Sodium .....	29
III.4.2.6.Magnésium.....	29
III.4.3.Les composés indésirables et nuisances olfactives.....	29
III.4.3.1 Les micro-organismes pathogènes .....	30
III.4.3.2 Contaminants chimiques inorganiques et organiques.....	30
III.5-Genéralités et Propriétés des ETM .....	31
III.5.1- Définition.....	31
III.5.2.Solubilité.....	31
III.5.3. Stabilité.....	32
III.5.4.Volatilité.....	32
III.5.5.- Mobilité.....	32
III.6.Intérêts et Utilisations des ETM .....	32
III.6.1. Cuivre.....	32
III.6.2.Cadmium (Cd).....	33
III.6.3.Chrome (Cr).....	33
III.6.4.Nickel (Ni).....	34
III.6.5.Plomb (Pb).....	34
III.6.6.Fer (Fe).....	35
III.7 -Cinétique environnementale des ETM.....	36
III.8. Notion juridique de la valorisation des boues résiduaires.....	36
III.8.1.Valeurs limites et admissibles des ETM du copmost en agriculture.....	37

## **Chapitre II: Matériel et méthodes**

II. Échantillonnage du sol.....	38
II.1. Echantillonnage du sol.....	38
II.2.Analyse des échantillons.....	43
II.2.1. Analyse des éléments traces métalliques.....	43

II.2.1.1. Préparation des échantillons avant l'analyse.....	43
II.2.2.Dosage des ETM sur le sol.....	44
II.2.2.1.Présentation de la méthode.....	44
II.2.3.Minéralisation.....	45
II.2.4.Agitation mécanique.....	46
II.2.5.Filtration.....	48
a)-Filtration par gravité.....	48
b)- Filtration sous vide.....	49
II.2.6.Analyse instrumentale.....	50
II.2.6.1.Analyse des ETM.....	50
II.6.1.1.Spectrométrie d'absorption atomique (SAA).....	51
II.3.Prélèvement des échantillons d'eau.....	52
II.4. Analyse statistique.....	53

### **Chapitre III: Résultats et discussion**

III. Résultats des analyses du sol.....	54
III.1.Introduction.....	54
III.1.2.Cuivre (Cu).....	54
III.1.3.Chrome (Cr).....	56
III.1.4.Cadmium (Cd).....	58
III.1.5.Fer (Fe).....	61
III.1.6.Nickel (Ni).....	62
III.1.7.Plomb (Pb).....	64
III.1.8.Proportions de chaque élément par rapport à la quantité totale.....	66
III.1.9.Quantités Totale des éléments traces métalliques.....	67
III.2.Corrélation entre les différents ETM.....	69
III.2.1.Relation entre le Cd et les autres éléments traces (Cu, Pb).....	70
III.3.Analyse statistique.....	71
III.3.1.Représentation graphique de la distribution de la normalité.....	73
III.4.Analyse d'eau d'irrigation.....	75
III.5. Effets du pH, granulométrie sur l'évolution des éléments traces métalliques.....	76
<b>Conclusion Générale</b> .....	78

### **Références Bibliographiques .**

### **Annexe.**



**INTRODUCTION**

**GÉNÉRALE**

La densification des villes et l'industrialisation constante génère des déchets de plusieurs sortes. Les déchets solides, sont souvent mis en décharge alors que les déchets liquides y compris les huiles de vidange sont déversés systématiquement dans le réseau d'assainissement.

Pour éviter la pollution des milieux naturels et préserver leur ressources (eau, sol, air), la gestion des déchets de tout nature particulièrement liquide est passée d'une activité d'élimination, à une activité de valorisation visant à donner une valeur à des matières qui n'en présente, à priori, aucune.

Depuis quelques années, l'enrichissement de l'énergie fossile (nécessaires la synthèse des engrais azotés) et des phosphates naturels, favorisent l'utilisation agricole de déchets riches en éléments fertilisants. La raréfaction du fumier conduit de nombreux agriculteurs à rechercher d'autres amendements organiques. La possibilité de valoriser certaine boues de station de traitement des eaux polluées en agriculture se confirme progressivement et doit transparaître dans la conception de l'amendement.

Ces boues d'épuration appliquées en agriculture en tant qu'amendements ou fertilisants, sont riches en matière organique et en éléments minéraux (Azote, Phosphore, Oligo-éléments), qui permettent d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Sous réserves de respecter certaines règles d'utilisation (techniques d'épandages, doses, périodes et fréquences), les boues résiduaires constituent une alternative à une partie des engrais chimiques, et présentent un réel intérêt économique. Cela paraît donc intéressant pour un pays comme l'Algérie dont les rejets annuels d'eaux usées sont estimés à près de 2,3 milliards de M<sup>3</sup> (**Degrement, 1998**).

Le processus d'épuration génère inévitablement des boues résiduaires qui constituent une nouvelle menace pour l'environnement, de par leur forte concentration en charge polluante (Eléments traces métalliques- ETM, Eléments traces Organique – ETO et agents pathogènes).

Dans ces conditions nous n'aurons pas protégé notre environnement, mais uniquement transféré la pollution des eaux de rejets vers un nouveau sous-produit inconnu, dangereux et difficile à éliminer. Pour cela, de nombreuses recherches menées depuis 30 années environ dans plusieurs pays (France, Belgique, Tunisie, Algérie) montrent que le moyen le plus adéquat pour l'élimination des boues résiduaires serait leur valorisation agricole (**Benmouffok, 1980** **Sommelier et al., 1996** ; **Guivarach et Zerrouk, 1993**)

comparativement aux autres procédés tels que l'incinération, l'enfouissement ou la mise en décharge.

Dans le domaine de l'épandage agricole, chaque Etat a établi ses propres réglementations ou recommandations sur les teneurs limites en ETM dans les boues et dans les sols. Il existe notamment de très fortes différences entre les valeurs limites appliquées sur les ETM en France, et celles qui le sont au Danemark ou aux Pays-Bas, par exemple. Ces variations s'expliquent, en grande partie, par l'absence de normalisation dans les méthodes d'analyse.

Dans cette optique, notre sujet de recherche à pour objectif une caractérisation des sols de six (06) parcelles ayant reçu un apport de boues résiduaires issues de STEP Est de la ville de Tizi Ouzou. Il est donc apparu nécessaire de connaître et de déterminer les teneurs en ETM dans les sols, afin d'accompagner de façon durable le développement de la valorisation agricole des boues résiduaires.

Pour cela nous avons subdivisé notre travail comme suit :

Chapitre I : synthèse bibliographique qui s'articule sur les aspects suivants :

- ✓ Présentation générale de la zone d'études.
- ✓ Généralités sur les caractéristiques des sols
- ✓ Généralités sur les matières organiques exogènes et les propriétés des ETM.

Chapitre II : fait référence au travail réalisé sur le terrain qui présente l'échantillonnage des sols, et les méthodes utilisées au laboratoire pour la détermination des teneurs des ETM et l'analyse statistique.

Chapitre III : expose les résultats et discussions qui présentent une synthèse des analyses globales sur les teneurs des Eléments Traces Métalliques des sols amendés par les boues résiduaires.

En fin une conclusion générale couronne ces trois chapitres, elle fait état de l'ensemble des renseignements tirés de cette étude et préconise les recommandations jugées nécessaires pour améliorer l'approche méthodologique et la prise en charge de la caractérisation des sols.

# CHAPITRE I

## *Synthèse Bibliographique*

## I. ETUDE DE MILIEU

### I.1.Présentation de la région d'étude

L'étude du milieu qui entoure le végétal représente une connaissance indispensable à l'agronome puisque, c'est à travers ce milieu que le végétal pourra exprimer ses capacités individuelles (**Duthil, 1979**). Dans cette partie, nous allons décrire les facteurs de formations du sol dans notre zone d'étude à savoir : la géologie, la géomorphologie, l'hydrologie et le climat.

Notre zone d'étude représente une partie du grand bassin versant du Sébaou qui se situe dans la wilaya de Tizi-Ouzou et s'étend sur une superficie de 22477 ha.

Administrativement elle représente le chef lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou, c'est une zone fortement urbanisée.

#### I. 1.1.Cadre régional

La wilaya de Tizi-Ouzou est située à l'Est d'Alger, et s'étend sur une superficie de 2957,93Km<sup>2</sup>. La wilaya est limitée au Nord par la mer méditerranée avec 70 Km de côte, au Sud par la wilaya de BOUIRA, à l'Est par la wilaya de BEDJAIA et à l'Ouest par la wilaya de BOUMERDES. Cette région est traversée de l'Est à l'Ouest par l'Oued SEBAOU qui recueille à travers ses affluents l'essentiel des eaux en provenance du DJURDJURA. Le bassin versant de cet Oued occupe à lui la moitié de la surface de cette régional (**Saadi, 1970**).

#### I.1.2-Cadre local

##### ❖ La Commune de Tizi-Ouzou

Cette commune est le chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou, est limitée :

- Au Nord : par la commune de Ait Aissa Mimoun et la commune de Sidi Naman.
- A l'Est : par la commune de Fréha.
- A l'Ouest : par la commune de Draa-Ben-Khedda et commune de Tirmatine.
- Au Sud : par la commune de béni Zemenzer et la commune de Ait-Aissi.

La superficie de cette commune est de 10236 ha.

**❖ Commune de Tadmaït**

Cette commune occupe l'amont de la vallée du bas Sébaou. Elle est située à 17 Km à l'Ouest de chef lieu de Tizi-Ouzou. Elle est limitée :

Au Nord par l'Oued Sébaou, à l'Est par la commune de Drâa-Ben-Khedda, à l'Ouest par la commune de Naciria et au Sud par la commune d'Ait Yahia Moussa.

La superficie totale de la commune est de 3482 ha avec une SAT de 3351 ha, dont une superficie SAU de 2926 ha.

**I.2-Géologie et la géomorphologie****I .2.1-Géologie régionale**

D'après **Yakoub. (1996)**, la lithologie de la région est dominée par des formations géologiques imperméables. On relève une large répartition du socle cristallophyllien essentiellement constitué de marne, de calcaire et de flysch. On distingue quatre unités géographiques :

**I.2.1.1. Chaîne littorale**

C'est un vaste synclinal parallèle à la mer, elle est constituée de terrains oligomiocènes. Les éléments constituant ces terrains sont essentiellement des flysch et des grès numidiens rapportés au crétacé (mésozoïque).

**I.2.1.2.Socle métamorphique**

Les terrains sont cristallophylliens de nature magmatique (granite, pegmatite) et métamorphique (micaschistes, quartzites) d'âge paléozoïque.

**I.2.1.3.Chaîne de Djurdjura**

Elle représente un relief important dominant toute la Kabylie, de nature calcaire reposant sur des terrains d'âge primaire. Elle recoupe la chaîne littorale du massif de Tamgout.

**I.2.1.4.Dépôts alluvionnaire**

Ce sont des formations alluvionnaires du quaternaire. Ils sont caractérisés par six niveaux de terrasses sous forme emboîtée ou étagée.

**I.2.2-Géologie locale****I.2.2.1.Commune de Tizi-Ouzou**

La zone d'étude située dans la vallée de l'Oued de Sébaou au pied du Tamgout et sur la partie orientale du flanc Sud de la chaîne littorale. On y distingue trois grandes zones et régions :

✓ **Les alluvions récentes et anciennes**

Se superpose en gradins et forment des talus, parfois importants. Ces alluvions donnent les meilleures terres agricoles et doivent être protégées de la stérilité des développements urbains.

✓ **Zone des argiles**

Elles forment les flancs de la dépression du Sébaou. Les sols conviennent bien à la céréaliculture.

✓ **La région des piémonts et de la montagne ou des éboulis**

Constituent la couche supérieure. Ce que les études géologiques différentes ont appelé flysch du haut Sébaou, on rencontre aussi des flysch argilo-calcaires ou micacés qui donnent des chaos ou des formes douces

**I.2.2.2.Commune de Tadmait**

Située au niveau de la dépression, entourée de collines composées de marnes, granites, micaschistes et gneiss ; produits d'érosion rencontrés au niveau des alluvions des quaternaires, en aval (**Bourbia, 1996**).

**I.2.3-Géomorphologie****I.2.3.1-Géomorphologie régionale**

Du point de vue relief, la wilaya de Tizi-Ouzou est constituée de sept grands ensembles morphologiques, orientés sur un axe Est-Ouest qui sont :

- La chaîne côtière ;
- La vallée du Sébaou ;
- Le massif montagneux de grande Kabylie ;
- La zone collinaire de Tizi-Ouzou ;
- La zone collinaire de Tizi-Gheniff ;

- La dépression de Draa-El-Mizan ;
- La chaîne de Djurdjura de type calcaire.

Les principales formes de reliefs de la grande Kabylie sont : Les massifs montagneux, les collines et les plaines.

✓ **Massifs montagneux**

Ils s'étendent de la côte jusqu'au pied du Djurdjura et sont découpés par les vallées profondes.

✓ **Collines**

Elles s'étendent jusqu'au massif Kabyles ; elles marquent la transition entre les terres dénudées des bas fonds et les premières pentes de montagnes. Elles sont de relief arrondi avec des pentes très douces de natures marneuses.

✓ **Plaines**

Ce sont les plaines alluviales souvent associées aux collines qui les entourent.

#### **I .2.2.2-Géomorphologie locale**

❖ **Commune de Tadmait**

Elle forme la dépression qui va de la région de Boukhalfa jusqu'au village de kaf-Lâagab. Cependant, cette dépression n'est pas totalement fermée, elle présente un exutoire vers le nord avec une pente très douce qui suit le trajet de l'Oued Sébaou.

❖ **Commune de Tizi-Ouzou**

Se trouve au flanc sud du couloir de Tizi-Ouzou, limité par des alluvions aquifères du Sébaou et de l'Oued Aïssi (**Yakoub, 1996**).

#### **I .3- Classes de sols selon la CPCS (1967) dans la région de Tizi-Ouzou**

Les sols de la wilaya de Tizi-Ouzou sont de plusieurs natures. On trouve les sols peu évolués, les sols minéraux bruts, les sols calcimagnésiques, les sols sesquioxides de fer rouge et les vertisols (**Mesrouk, 1984**).

### **I.3.1-Classe des sols minéraux bruts**

D'après **Cherfouh. R et Ghomras. (1991)**, cette classe de sols représente 124 ha soit 7,31% de l'ensemble des terres de leur région d'étude, ce sont essentiellement des sols minéraux d'apport alluvial. Ils occupent tout le lit majeur de l'oued de Sébaou et de ces affluents et forment la plus basse terrasse inondable qui est donc sollicitée à chaque crue par de nouveaux apports empêchant le sol de se former. Ces sols se rencontrent sur une pente douce (2 à 5%), et ne présentent aucun caractère d'évaluation, les coupes naturelles laissent apparaître des niveaux de textures différentes allant des sables grossiers aux galets traduisant les phases successives d'alluvionnement de l'oued.

Ces sols sont presque complètement dépourvus de matière organique (0,75%) et de calcaire (0 à 1,5%). Leurs charges de surface est importante (<30%) de pierres et de blocs. Ces sols sont inaptes aux cultures, il convient cependant de les boiser en vu de leur stabilisation.

### **I.3.2- Classe des sols peu évolués d'apport**

Il s'agit des sols alluviaux et colluviaux. Les deux groupes se distinguent d'une part par leur position géomorphologique et leur origine d'autre part par leur régime hydrique.

#### **I.3.2.1. Groupe des sols peu évolués d'apport alluvial**

C'est la classe de sols la plus répondeue. Elle occupe environ 624 ha soit 36,8% dans le haut sébaou (**Cherfouh et Ghomras, 1991**) et 18% dans le moyen sébaou selon **Amadj Et Boudjemai (1991)**. Ces sols se caractérisent par un profil non différencié type AC (horizon A humifère peu épais). La matière organique peu abondante (ne dépasse guère 1,9%), ils ne se forment pas de complexe organo-minéral permettant l'élaboration des structures. La texture est très hétérogène varie d'un point a un autre, une grande porosité et une bonne aération superficielle. En dehors de ces caractères communs ils se différencient par leur degré d'évaluation et les caractères secondaires qui les affectent (hydromorphie, vértisolisation, la couleur ... etc.)

##### **I.3.2.1.1.Sous groupes des sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphie**

Ce sont les plus représentés dans toute la vallée du Sébaou, leur profil est affecté par les phénomènes d'hydromorphie.

Selon **Duchaufour (1983)**, ces sols se situent généralement sur la première terrasse de l'oued fréquemment dans les dépressions latérales du lit majeur situées à l'intérieur de boulets bordant les berges, leur profondeur est déterminée par le lieu de dépôt et leur texture est fonction de la roche mère, du type d'altération et la distance du point d'alimentation.

#### **I.3.2.1.1. Sous groupes des sols peu évolués d'apport alluvial vertiques**

Ils sont faiblement représentés dans la région. Leur profil se caractérise par une texture très fine et le caractère vertiques se manifeste par des faces de glissement en profondeur.

#### **I.3.3. Classe des vertisols**

D'après **Cherfouh R., Ghomras L. (1991)**, ces sols sont faiblement représentés dans les périmètres, ils occupent environs 506 ha, soit 29,83% de l'ensemble des sols de leur région du haut Sébaou. Ces sols sont caractérisés par un turnover rapide de la matière organique, brassage mécanique de l'ensemble des horizons par les mouvements vertiques liés des variations saisonnières du volume de l'argile ce qui provoque une homogénéisation complète du profil sur 60 à 80 cm, la structure est généralement très grossière formée de prismes séparés en période sèche par de larges fentes de retraits, abondance des surface de friction (Slickenside) témoignage de l'existence des mouvement vertiques (**Dudal 1967, in Duchaufour, 1983**).

Si l'on se réfère à la manière dont l'eau est évacuée de la surface du sol, on distingue deux sous classes :

- S/CL des vertisols à drainage externe possible.
- S/CL des vertisols à drainage externe nul ou réduit.

#### **I.3.4-Classe des sols hydro morphes**

D'après **Cherfouh et Ghomras, (1991)**, Cette classe de sols est assez fréquente dans la région. Elle occupe environ 330 ha soit 19,45 % de l'ensemble des terres et sont surtout localisés à FREHA sur la rive gauche de l'Oued DIS jusqu' à sa confluence avec l'oued Sebaou, sur la rive gauche de l'Oued Straouia et à embranchement route de Mekla. Ce sont essentiellement des hydro morphes sont caractérisés par des phénomènes de réduction ou de ségrégation du fer liée a une saturation temporaire ou permanente par l'eau provoquant un déficit prolongé en oxygène. Sur le plan écologique les sols hydro morphes se rencontrent en

tout climat et constituent des climax stationnels liés à des conditions particulières de matériau ou de mauvais drainage.

Les sondages effectués dans ces sols montrent que leur profondeur est variable allant de 80 à 100 cm. Cette dernière est limitée soit par un plan d'eau soit par un lit continu de galets roulés. La matière organique est faible dont le taux ne dépasse que rarement (2%) et que la teneur en calcaire total atteint (19,4%).

### **I.3.5- Classe des sols calcimagnésiques**

Ils sont très peu répandus dans la région. Ils occupent environ 80 ha soit 4,71% de l'ensemble des terres, et sont localisés à Aguemoune Segsou ex (Ecole ferme René) sur la rive gauche de l'Oued Sebaou.

Ces sols doivent leurs caractères morphologiques à la présence d'ions alcalinoterreux, leur genèse est surtout liée à la richesse en calcium de la roche mère sous forme de carbonates (roches calcaires, marnes ...). Ces sols ont été classés par **SAADI, (1970)** comme sols calcimagnésiques saturés. Selon le profil de ces sols est ou non calcaire on distingue deux groupes :

Le premier est un sol brun calcaire hydromorphe, sur alluvions et colluvions de texture moyenne profonde (>1.50). Ce sol est situé sur une pente environ 20%. le profil est calcaire (14 ;16% de calcaire total) ; le taux de matière organique est faible (1 ;14%) et le pH légèrement alcalin (7 à 8).

Le second est un sol brun calcique vertique noirci sur alluvions anciens peu profonds (90 cm) ; ici le profil n'est pas calcaire (49% calcaire total) ; la teneur en matière organique est élevée (3,6%) et le pH est toujours entre 7 et 8.

### **I.3.6-Classe des sols à sesquioxides de fer ou de manganèse**

Ils sont très faiblement représentés dans la région ; ils n'occupent que 32 ha soit 1,9 % de l'ensemble des terres. Ce sont essentiellement des sols fersialitiques sans réserve calcique ; lessivés sur la rive gauche de l'Oued Straouia dérivée le complexe industriel de FREHA.

La profondeur de ce sol est limitée à 1,35 m par la présence d'un lit de cailloux. Le sol présente sur des structures polyédriques bien individualisées ; et reposant sur des alluvions anciens. L'horizon de surface ou le recouvrement présente une texture légère à moyenne ; la réaction du sol est acide où le pH atteint parfois 5 ; le profil n'est pas calcaire (0 à 1,6% du calcaire

total) ceci est du au fait que le matériau originel n'est pas calcaire et au lessivage ;le taux de matière organique est faible (0,1 à 0,7%).

#### I.4-Etude climatique de la wilaya de Tizi-Ouzou

La région de Tizi-Ouzou est dominée par un climat de type méditerranéen, qui se caractérise par un climat à deux saisons bien contrastées : un hiver humide et froid et un été sec et chaud. Le climat méditerranéen est un climat de transition entre la zone tempérée et la zone tropicale avec un été très chaud et très sec. Tempéré seulement en bordure de la mer, l'hiver est très frais et plus humide. Ce climat est qualifié de xérothermique (**Benabadji et Bouzza, 2000**), le climat de la wilaya de Tizi-Ouzou, qui révèle de la région méditerranéenne est caractérisé par des étés chauds et sec, des hivers humides et assez froids.

##### I.4.1-Température

Nous remarquons à partir de « tableau n°01 » que la température maximale est enregistrée durant le mois de juillet (35,8°C) et la température minimale durant le mois de janvier (6,5°C). La température moyenne annuelle est de (19,1°C).

Selon **Saadi (1970)**, un mois chaud étant défini comme un mois ayant une température moyenne annuelle à 20°C. La période chaude s'étale du mois de mai (20°C) au mois d'octobre (21,7°C) ; tandis que la période froide définie comme étant la période ayant des températures moyennes inférieures à 20°C s'étale du mois de novembre (15,4°C) au mois d'avril (16,4°C).

**Tableau 01 : Variation des températures moyennes mensuelles en (°C) pour la période (2001-2011)**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
M °C	30,9	27,6	20	16,4	15,3	16,3	19,6	21,9	26	32	35,8	35,6	24,7
m°C	18,5	15,9	10,8	7,7	6,5	7,16	8,9	11	14,1	18,2	21,5	21,8	13,5
(M+m)/2	24,7	21,7	15,4	12,05	10,9	11,7	14,2	16,4	20	25,1	28,5	28,7	19,1

Source : ONM, station de Tizi-Ouzou

M(C°) : Moyenne des températures maximales Mensuelles

m(C°) : Moyenne des températures minimales mensuelles

(M+m)/2 : Moyenne des températures mensuelles

### I.4.2- Précipitations

La wilaya de Tizi-Ouzou est relativement bien arrosée, il y a un gradient pluviométrique qui évolue du littoral vers le massif de Djurdjura, et un autre qui augmente avec l'altitude. Les précipitations sont irrégulières et varient d'une année à une autre, lors de la dernière décennie, la pluviométrie annuelle moyenne de la Wilaya à varier entre 500 et 900 mm.

**Tableau 02 : Moyennes des précipitations mensuelles et total des précipitations annuelles de la région de Tizi-Ouzou pour la période allant de : (2001 a 2011)**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
P (mm)	47,53	69,24	140,6	144,92	144,16	79,74	94,17	96,52	75,4	11,08	3,33	7,58	914,3

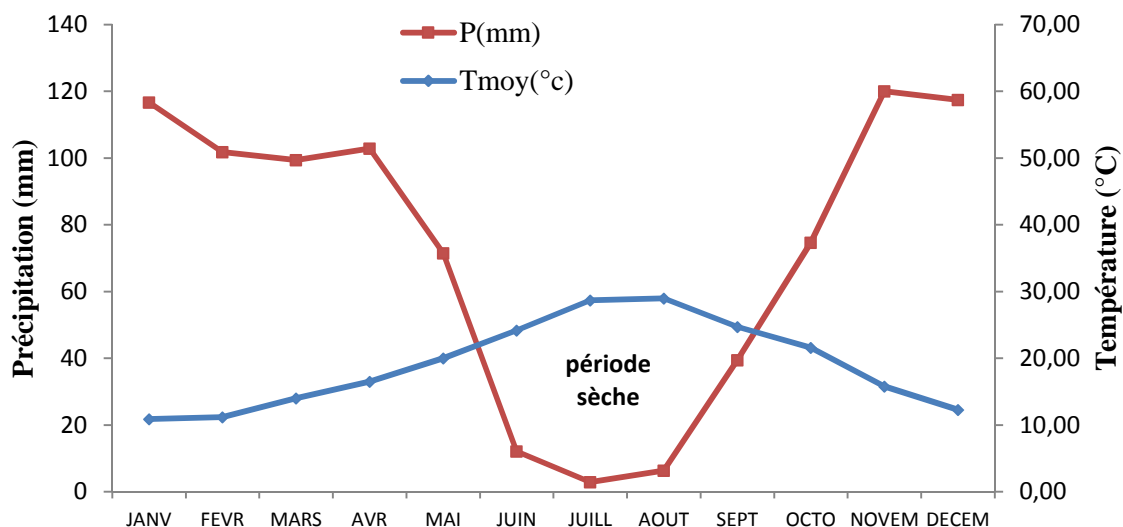
Source : ONM, station de Tizi-Ouzou

Pour la région de Tizi-Ouzou la période allant de 2001 à 2011. La hauteur des pluies la plus élevée est observée au mois de décembre, elle est de 144,92 mm. Alors que la hauteur des pluies la plus faible est enregistrée au mois de juillet, elle est de 3,33 mm. La pluviométrie moyenne annuelle de cette période est de 914,3mm.

### I.4.3- Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Bagnouls et Gausсен, (1953) considèrent qu'un mois est sec quand le total des précipitations (P) en millimètre est inférieur au double de la température (T), c'est-à-dire quand le rapport  $P/T < 2$  ou  $P < 2T$ .

A partir des (tableaux 1 et 2), nous traçons le diagramme ombrothermique en portant en abscisses les mois et en ordonnées les températures moyennes mensuelles et les pluviométries moyennes mensuelles avec une échelle double pour la première. Lorsque la courbe des précipitations passe au-dessous de la courbe des températures, la période qui s'étale entre les abscisses des points d'interaction des deux courbes correspond à la durée de la période sèche. En se référant aux données récapitulées dans les tableaux précédant nous avons établi de diagramme ci-dessous : comme l'indique la figure (01), la saison sèche s'entend de mi-mai à mi-septembre.



**Figure 01 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de Tizi Ouzou pour la période : (2001-2011)**

**I.3.4- Quotient pluviométrique et climatique d’Emberger**

Afin de classer le climat méditerranéen en fonction de la sécheresse globale et le froid hivernal, EMBERGER propose le quotient pluviométrique (Figure02) prenant en considération les paramètres ci-dessous

P : Précipitations annuelles e mm

M : Moyennes des maxima du mois le plus chaud en degré de Kelvin

m : moyennes des minima du mois le plus froid en degré de Kelvin

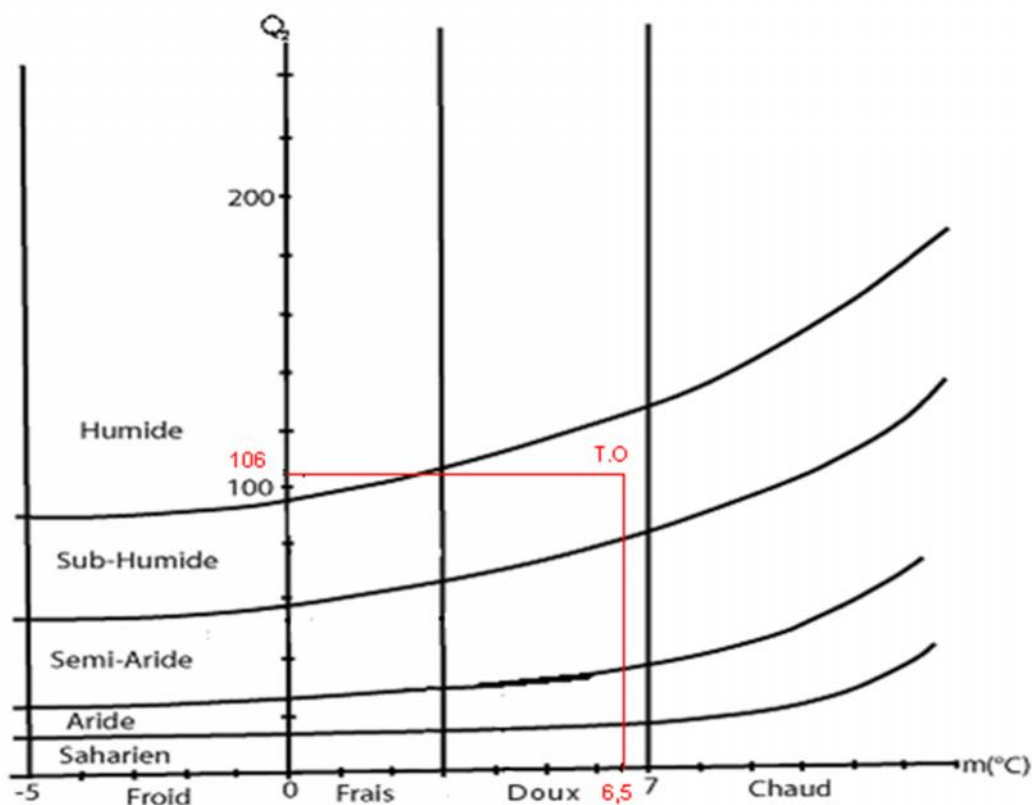
La formule utilisée pour le calcul est la suivante :

$$T^{\circ}K = T^{\circ}C + 273,2$$

$$Q_2 = 200 * P / (M^2 - m^2)$$

Pour notre région d’étude ce quotient est calculé à base des données fournies par la station météorologique de Tizi-Ouzou durant la période 2001-2011.

$$Q_2 = 106$$



**Figure 02 : Situation de la wilaya de Tizi-Ouzou sur le climagramme d'Emberger**

L'intersection de ces deux paramètres  $Q_2$  et  $m$  sur le climagramme d'EMBERGER, va nous permettre de situer l'étage bio climatique et la rigueur de l'hiver de notre région d'étude ; La projection des valeurs de ces deux paramètres sur le climagramme d'EMBERGER, notre zone d'étude occupe l'étage bioclimatique subhumide à hiver doux.

### Conclusion

Les sols de la vallée du Sébaou constituent le véritable potentiel foncier agricole de la wilaya de Tizi-Ouzou. Deux classes de sols apparaissent comme étant dominantes, il s'agit des sols d'apport alluvial et des vertisols. Du point de vue textural, les trois principaux types sont représentés auxquelles s'associe une charge pierreuse assez importante. Il est à noter que du point de vue de la teneur en matière organique, les sols de la région sont faiblement pourvus d'où la nécessité de préconiser à chaque campagne un apport organique au sol.

L'étude climatique, montre que les précipitations annuelles varient en deux saisons bien distinctes, une saison sèche et chaude et une autre humide et froide.

Le déficit hydrique et l'augmentation des températures apparaissent sur le long de la saison sèche et chaude, par contre la saison humide et froide, on remarque une présence des précipitations importante et une diminution remarquable des températures. Selon le climatgramme d'EMBERGER nous trouvant que Tizi-Ouzou est sous l'influence d'un climat méditerranéen en subhumide à variante tempéré.



## Partie II : LE SOL

### II. Généralités sur le sol

#### II.1-Définition

Définir un sol constitue un défi, si l'on veut que cette définition soit simple et complète. Pour cette raison les définitions des sols sont nombreuses et reflètent l'approche établie de différentes écoles de pensées.

Le sol est le produit de l'altération, du remaniement et de l'organisation des couches supérieures de la croûte terrestre sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergie qui s'y manifestent, (**Aubert et Boulaine ,1980**).

Le sol est la couche la plus externe, marquée par les être vivants de la croûte terrestre. Il est le siège d'un échange intense de matière et d'énergie entre l'air, l'eau et les roches. Le sol en tant que partie de l'écosystème, occupe une position clef dans les cycles globaux des matières. (**Société Suisse De Pédologie 1997**).

Le sol pourrait se définir aussi, comme la mince couche de terre où les plantes fixent leurs racines et puisent une partie de leurs nutriments. Ce qui se passe dans un sol est déterminé par ses propriétés physiques, biologiques et chimiques (**Calibrix, 2005**).

Le sol vivant représente tout un milieu vivant complexe et dynamique, en évolution constante due au climat, à la végétation et à l'action de l'homme. Le sol est le résultat d'un très lent processus d'altération et d'évolution de la roche mère. D'après **Soltner (1998)**, le sol peut être réparti sur quatre parties : l'eau, l'air, la matière minérale (argiles, limons et sables) et la matière organique (Figure 03).

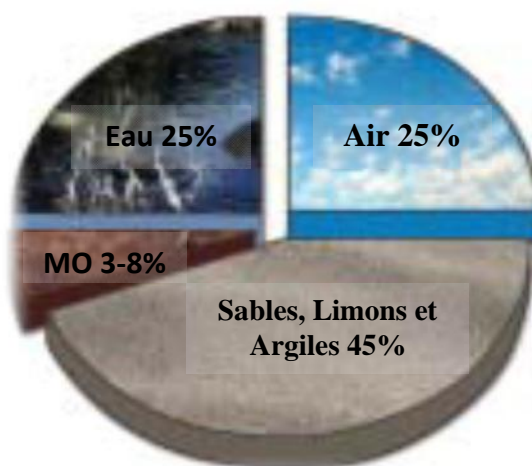


Figure 03 : Proportion moyenne des divers constituants du sol (Soltner, 1998)

## II.2- Texture

Les différents types de sols se caractérisent par leurs textures pédologique, des particules minérales proviennent le plus souvent de l'altération de la roche mère sous l'effet de processus physiques chimiques biologiques où ont été apportées par l'eau et le vent conduisant à la formation du sol. La texture d'un sol correspond à la composition granulométrique du sol définie par les proportions de particules minérales de taille inférieure à 2mm. On distingue Cinque types de particules minérales selon leur diamètre : des argiles inférieures à 2 $\mu$ m, les limons fins entre 2 et 20 $\mu$ m, les limons grossiers entre 20 et 50 $\mu$ m, les sables fins entre 50 $\mu$ m et 200 $\mu$ m, enfin les sables grossiers entre 200 et 2000  $\mu$ m. la texture du sol est déterminée en fonction de la proportion relative d'argiles de limons et de sables par rapport à un référentiel : le triangle des textures (Figure 04) (USDA 1975).

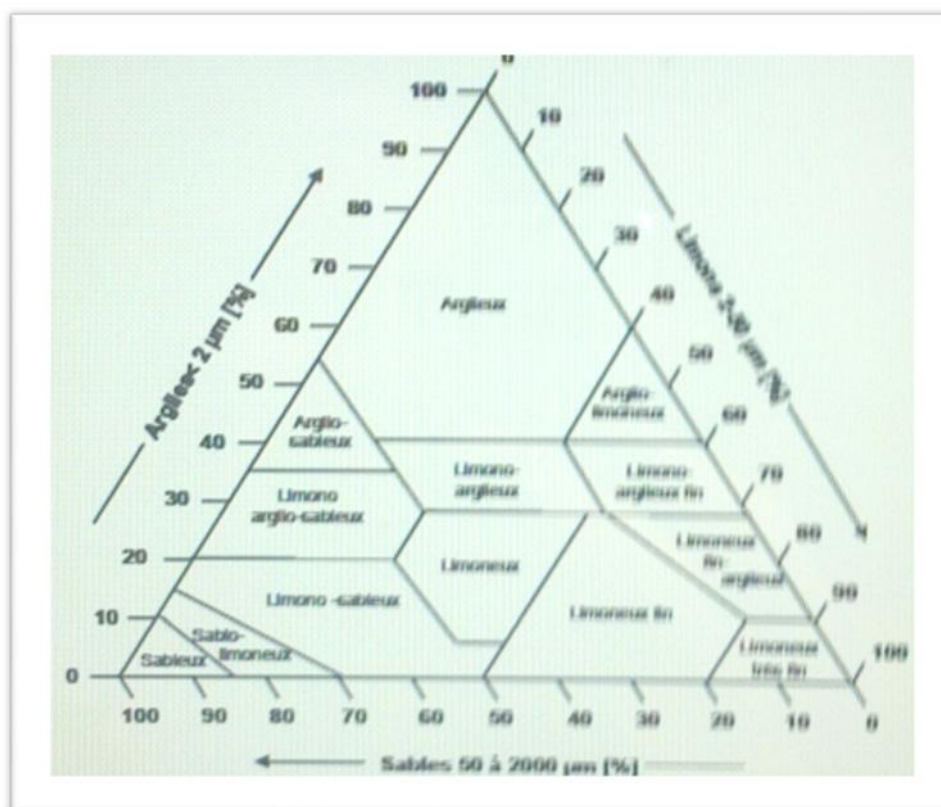


Figure 04 : Triangle des textures minérales (USDA, 1975)

### II.3- Structure d un sol fertile

L'eau et l'air sont les deux éléments dont les racines et les micro-organismes du sol ont le plus besoin. La structure à un impact direct sur la productivité d'un sol puisqu'elle facilite la circulation de ces deux éléments. Préserver et entretenir la structure du sol, c'est favoriser un équilibre air-eau permettant une exploration maximale du sol par les racines. En retour, la pénétration des racines facilite la circulation de l'air et de l'eau, stimulant du coup l'activité microbienne. L'augmentation de la surface de contact entre le sol et les racines permet d'optimiser l'efficacité des engrais minéraux et des amendements minéraux et organiques.

### II.4- Relation sol-plante

Pour se nourrir, la plante a besoin d'un système racinaires développé et de nutriments solubles, lesquels ne seront libérés que par une activité biologique et chimiques adéquate.

Le développement racinaire et l'activité biologique du sol nécessitent une bonne aération du sol en profondeur. Ces constatations résumées à la (Figure 05), posent les bases de la fertilité des sols et sont autant, sinon plus importantes, que les quantités et les formes de fertilisants et amendements à apporter pour obtenir de bonnes et belles récoltes (Jacques et al., 2005).

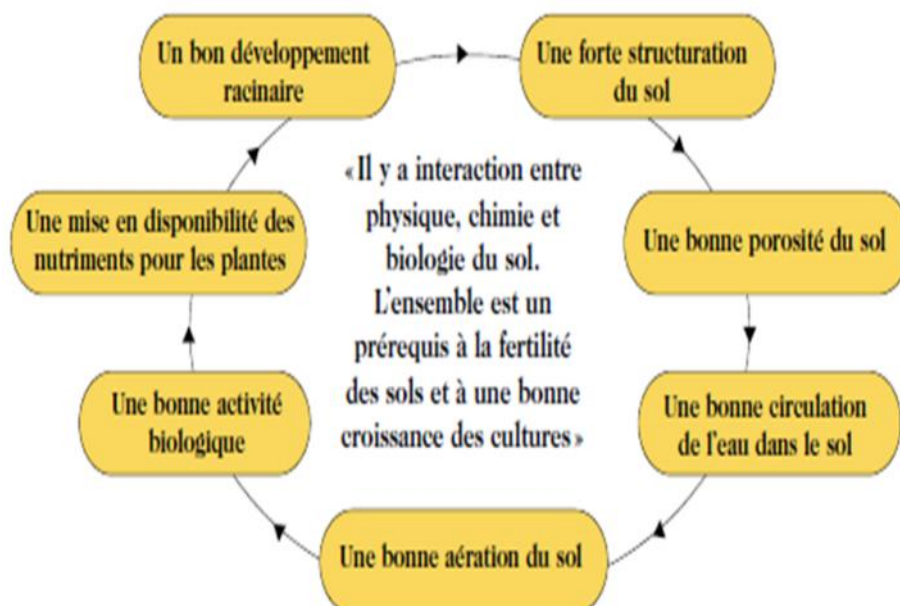


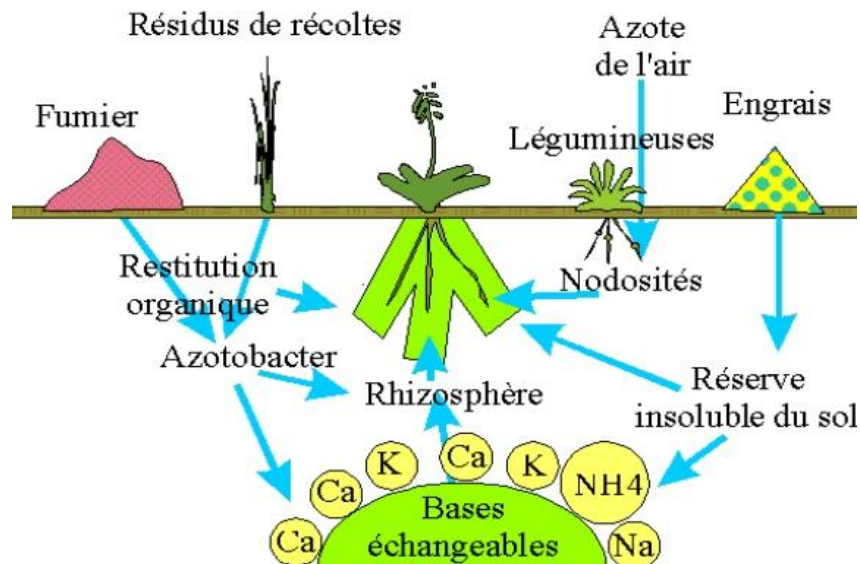
Figure 05 - Fonctionnement du système sol-plante

## II.5. Matière organique

**Soltner (1979)** définit la matière organique comme étant l'ensemble de substances carbonées provenant des débris végétaux, des déjections et des cadavres animaux.

D'après **Chamayou et Legros (1989)**, la matière organique correspond à un ensemble de substances organiques de nature et de propriétés variées. Sur ces deux définitions nous relevons le terme organique, donc matière dégradable, qu'on peut considérer comme des composés susceptible d'être incorporés au sol, en vue d'en conserver ou d'en améliorer la qualité.

Pour réaliser la fumure organique et l'entretien de la matière organique au sein d'un système de culture, un éventail de pratiques est envisageable, telles que agroforesterie, jachère, fumure par des matières organiques non transformées ou transformées par l'animal ou par compostage. Pour de nombreuses matières organiques (par exemple résidus de récoltes, fumiers et déchets urbains) la transformation par compostage est nécessaire pour en améliorer la qualité. L'ensemble des matières induites dans le sol quelles soient organiques ou minérales subissent avant d'atteindre "l'ultime" étape une diversité de processus physiques, chimiques et biologiques dans l'essentiel est rapporté par la (Figure 06).



**Figure 06 : La matière organique et les minéraux essentiels pour la plante ( Jacques et al., 2005)**

## II.6. Les sols algériens et leur richesse en matière organique

A l'instar des sols méditerranéens, les sols d'Algérie sont généralement caractérisés par leurs faible taux en matière organique, conséquence du type de climat qui règne dans nos régions et des systèmes culturaux pratiqués qui ne sont pas favorables à la reconstitution de réserve organique du sol.

La matière organique à tendance à disparaître dans les sols Algériens. Cette diminution résulte de :

- La spécialisation des exploitations agricoles
- Les conditions favorables de température et d'humidité qui activent la minéralisation rapide de l'humus dans le sol.
- Le développement de la mécanisation dans les zones à agriculture intensive, éliminant les animaux de trait, source d'une quantité appréciable de fumier.
- La disparité entre les zones d'élevage et de production.

La restitution du stock de matières organiques est une préoccupation importante dans l'objectif d'inscrire l'exploitation des terres dans un contexte de développement durable. De nombreuses études ont montré que les substrats organiques de différentes nature tels que les boues (**Boulahbal et al., 2001; Benmouffok, 1994 ; Dridi et Toumi, 1986**) et les fientes de volailles (**Lounici, 1980 ; Sahnoun, 1986**) constituent une source très intéressante en carbone organique et en éléments fertilisants pour le sol. En raison de la faible teneur en (M.O), l'utilisation du fumier doit être judicieusement raisonnée afin d'optimiser son emploi.

La matière organique est la source première de nourriture pour les vers de terre et les micro organismes du sol. En retour, ces derniers libèrent dans le sol des minéraux assimilables par les plantes. La matière organique améliore la structure du sol, contribue à son aération et augmente sa résistance à la compaction. En agissant un peu comme une éponge, la matière organique constitue une réserve d'eau servant de véhicule à la nourriture des plantes. Enfin, la matière organique, comme l'argile, retient les éléments minéraux et limite le lessivage (Figure 07).

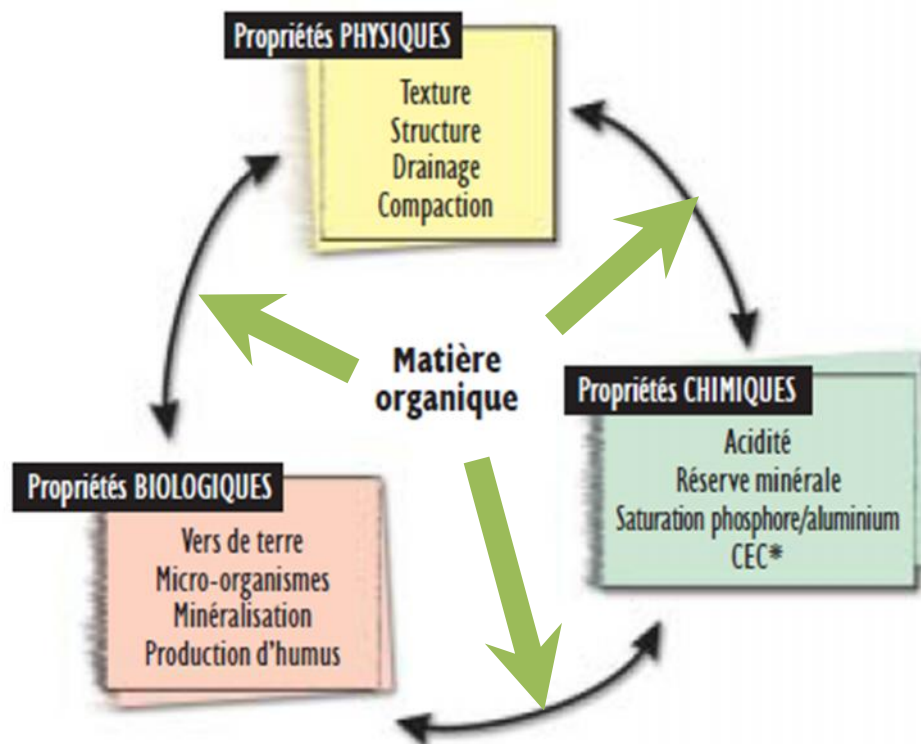


Figure 07 : Effets des matières organiques sur les propriétés des sols

## II.7. Les effets de la matière organique sur les propriétés du sol

D'après (Pierre, 2005) La matière organique du sol joue trois rôles essentiels :

- Énergétique, comme source de carbone
- Physique, comme élément majeur de la structure du sol
- Nutritionnel, pour l'alimentation des plantes.

Ces trois rôles dépendent des types de composés organiques, de leur quantité et de leur Transformation.

Le carbone de la matière organique du sol est la source énergétique des microorganismes hétérotrophes, c'est-à-dire ceux qui ne tirent pas leur énergie de la lumière du soleil (c'est le cas de la majorité des microorganismes).

La minéralisation de la matière organique libère les éléments nutritifs (N, P, K, S) contenus dans les molécules organiques. Ces éléments contribuent à l'alimentation des plantes.

La totalité de l'azote mobilisé par une végétation naturelle vient de la minéralisation naturelle de la matière organique du sol (sauf les légumineuses qui fixent l'azote atmosphérique). Pour une culture fertilisée, une moitié de l'azote prélevé proviendrait de la minéralisation naturelle de la matière organique du sol et l'autre moitié serait apportée par les fertilisants, que ce soient des engrais minéraux ou des apports organiques (Pierre ; 2005).

### II.7.1 Actions de la matière organique sur les propriétés physiques du sol

La M.O grossière, à la surface du sol, atténue le choc des gouttes des pluies et permet à l'eau pure de s'infiltrer lentement dans le sol ; l'écoulement en surface et l'érosion sont ainsi réduits (**Donahy, 1958**).

Les M.O assurent la cohésion des autres constituants du sol entre eux et contribuent à la structuration du sol et à la stabilité de la structure. Ceci est dû au grand nombre de liaisons électrostatiques et surtout de liaisons faibles que les M.O peuvent assurer (**Balesdent, 1996**). Dans les terres manquant de colloïdes minéraux et où l'absence de phénomènes de gonflement « limons ou sables » l'élévation du taux d'humus coïncide avec une certaine tendance à l'agrégation (**Duthil, 1973**).

La capacité du sol pour l'eau est en effet liée à la teneur en M.O en raison de l'hydrophilie extrêmement accusée des colloïdes qui la composent (**Duthil, 1973**). Cette matière retient d'autant mieux l'eau qu'elle humifie et régularise le bilan de l'eau dans le sol. Selon **Monnier et Gras (1965)** et **Hillel (1974)** son affinité pour l'eau se manifeste par :

- une force de succion élevée.
- des phénomènes de contraction et d'expansions des sols, au cours de leur dessiccation-humectation.
- La quantité d'eau retenue dans le sol est en fonction de la nature du sol et surtout de la teneur en M.O et son degré d'humification.

### II.7.2. Actions de la matière organique sur les propriétés chimiques du sol

Les MO contribuent classiquement à la fertilité chimique des sols. Elles sont une réserve d'éléments nutritifs, principalement pour l'azote, le phosphore et le soufre (**Balesdent, 1996**).

Elles sont dans leur ensemble par leur minéralisation, une source d'aliments de certains éléments nutritifs et la facilité de leur utilisation suite à la libération par oxydation de l'humus et de gaz carbonique (**Grissa et Ben kheder, 2000**).

Selon **Duthil (1973)**, cette décomposition progressive est doublement intéressante

✓ D'une part, elle s'étale sur la quasi-totalité de la période de végétation, ce qui correspond bien à une alimentation régulière et continue et évite des pertes par lessivage ou par insolubilisations.

✓ D'autre part, elle apparaît « complète » que la destruction microbienne des débris végétaux enfuis libères aussi bien N, P, K, Ca, S que d'autres éléments moins connus ou moins évidents Mg, Zn, B, Cu, Fe, Al, Si,.. Etc.

### II.7.3. Effets de la M.O sur les propriétés physico-chimiques du sol

#### II.7.3.1. Capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique dépend de la teneur du sol en argile et en humus. Dans les sols sableux dépourvus d'argile, cette capacité d'échange, liée uniquement à la teneur en matière organique, est d'autant plus élevée que le taux d'humus est plus important. ). La CEC est une valeur généralement stable. Elle peut cependant varier légèrement à long terme, si le taux de matière organique diminue. Elle peut également servir de critère dans un modèle d'évaluation de la vulnérabilité des sols aux pertes d'éléments nutritifs vers les eaux souterraines.

Dans de tels sols, il faut maintenir la capacité d'échange à un niveau suffisant, pour permettre le stockage du potassium, calcium et magnésium, et éviter les pertes par lessivage, (**Dellas, 1977**). Les colloïdes humiques augmentent la capacité d'échange du sol dont un gramme fixe environ 5 fois plus de cations qu'un gramme d'argile (**Soltner, 2003**). Cette propriété rend la M.O dans certains milieux comme les sols sableux, la principale réserve des bases disponibles ( $K^+$  et  $Ca^{++}$ ) (**Balesdent, 1996**). Au niveau du sol, cinq classes de CEC sont préconisées par **Martin et Nolin (1991)** (Tableau 03).

**Tableau 03 : Définition des classes de CEC (Martin et Nolin 1991)**

Classe CEC (meq/100g) de sol	
Très faible	<6
Faible	6 - 12
Modérée	12 - 25
Élevée	25 - 40
Très élevée	>40

**II. 7.4. Effets de la matière organique sur les propriétés biologiques du sol**

Les apports organiques de matières facilement fermentescibles permettent d'améliorer l'activité biologique (**Parr, 1973**). Les MO représentent un véritable substrat énergétique pour les micro-organismes pour synthétiser leurs propres protéines ainsi que pour former des métabolites (**Ribiero, Moureaux, Novikoff, 1976**).

La matière organique est l'aliment des vers de terre et des arthropodes (insectes, acariens...). Les matières organiques, en améliorant la structure et l'aération du sol, favorisent le développement des bactéries aérobies, indispensables à la minéralisation et aux échanges dans la rhizosphère (**Soltner, 2003**).

Par son rôle capital dans la fourniture des éléments majeurs et des oligo-éléments. Les M.O favorisant la croissance et la résistance des plantes aux parasitismes (**Soltner, 2003**).

## PARTIE III / LES boues des stations d'épuration des eaux usées

### III.1. Généralités sur les Boues résiduaires des stations d'épuration

Une station d'épuration urbaine a certes pour premier objectif d'épurer une eau résiduaire en vue de rejeter un effluent de qualité convenable pour le milieu récepteur, mais il faut ajouter une deuxième finalité : la fabrication d'un sous-produit : les boues, qui soient aptes par leurs caractéristiques physique, chimique et biologique à une éventuelle valorisation agricole. Cependant, l'utilisation de cette fumure soulève différentes contraintes : agronomiques, environnementales et sanitaires. En effet, si cette ressource constitue un potentiel de matière fertilisante (N, P, K, C), sa teneur en métaux lourds et la présence d'agents pathogènes, représentent néanmoins des risques pour la santé humaine à prendre en considération.

### III.2. Traitements des boues à la station d'épuration

Une fois collectées, les boues doivent subir différents traitements avant leur rejet. Ces traitements ont trois objectifs majeurs : la réduction du pouvoir fermentescible, la réduction de la masse des boues et les risques sanitaires. La figure (08) représente une ligne de traitement des boues, la filière de traitement des boues comprend quatre étapes principales

- l'épaississement :
- la stabilisation :
- le conditionnement :
- la déshydratation :

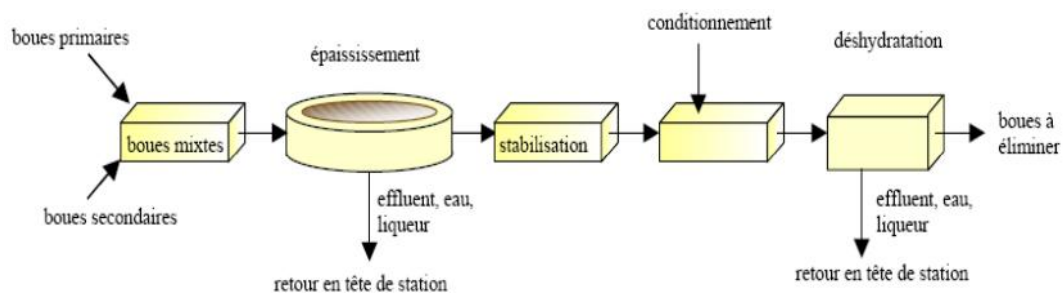


Figure 08 : Schéma de principe d'une filière de traitement des boues

#### III.2.1. Voies d'élimination des boues résiduaires urbaines

Il existe, à l'heure actuelle, trois grandes voies d'élimination des boues produites : la valorisation agricole, la mise en décharge et l'incinération. La nature des boues, la situation géographique ainsi que les conditions économiques et locales guident le choix de la meilleure voie d'élimination.

### III.2.2.Épandage sur les terres agricoles

Les boues d'épuration apportent des éléments fertilisants au sol (minéraux, matières organiques). Elles peuvent être valorisées par épandage agricole. Par leur composition, les boues permettent de couvrir une partie des besoins des cultures en azote, en phosphore, en calcium, en magnésium et en oligo-éléments.

En 1997, en France, environ 60% de la production de boues étaient valorisés en agriculture. L'utilisation de boues d'épuration en agriculture est très réglementée (décret du 8 décembre 1997 et arrêté du 8 janvier 1998). La réglementation impose des traitements, fixe des limites quant à la concentration maximale de certains polluants (métaux lourds par exemple) et interdit ou limite l'épandage sur certaines cultures (**Gomez Palacios *et al.*, 2002**). Cependant, même si cette filière est la plus durable (moins d'émissions et moins d'énergie consommée) (**Suh et Roussaux, 2002**), elle est de plus en plus controversée, compte tenu de l'opinion publique, des difficultés de stockage et de manutention, du problème d'odeurs et des risques sanitaires et environnementaux (présence d'agents pathogènes et de composés toxiques).

### III.2.3.Incineration

Cette méthode consiste à brûler les boues dans un incinérateur, seules ou avec des ordures ménagères. Après oxydation thermique, il reste des sous-produits minéralisés qui, selon leur nature, peuvent être incorporés dans certains bétons, utilisés pour les soubassements des routes ou sont mis en décharge. Du fait des coûts prohibitifs de transport, les boues traitées sont incinérées principalement en zone urbaine (**Spinosa, 2001**). Cependant, cette technique demande de fortes quantités d'énergie et des boues ayant une forte siccité. En 1997, en Europe, environ 15% de la production de boues étaient traités par oxydation thermique (**OTV, 1997**). De plus, il devient indispensable de traiter les rejets gazeux, ceux-ci étant une source de polluants et de composés toxiques.

### III.2.4.Mise en décharge

Cette voie d'élimination traite de la même façon les déchets ménagers et boues des stations d'épuration. La mise en décharge des boues que ce soit dans les sites autorisés ou des centre d'enfouissement techniques cause des nuisances environnementales directes (olfactives, infiltrations des polluants dans le sol et les nappes). En France, en 1997, environ 25% de la production de boues étaient envoyés en décharge (**OTV, 1997**) et depuis le 1er juillet 2002, cette voie d'élimination est désormais interdite par la législation. Seuls les déchets ultimes,

c'est à dire des déchets qui ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, sont désormais acceptés en centre d'enfouissement technique (loi no 92-646 du 13 juillet 1992).

### **III.3. Intérêt agronomique des boues**

L'utilisation des fumiers de ferme a été considérée durant des siècles comme étant la seule source de matière organique pouvant maintenir une bonne fertilité des sols. L'apparition de grandes exploitations agricole a conduit à l'investigation et à la recherche d'autres sources à même de combler le déficit en matière organique.

Par ailleurs, les techniques modernes de production agricole, les pertes accélérées de l'humus (particulièrement dans les milieux méditerranées), le constat sur l'enchérissement constant les intrants agricoles (engrais) conduisant à la recherche de nouvelle source organique susceptible de se substitué aux amendements agronomique classique. Ces matières organiques qualifiées d'exogènes doivent au moins égalé les propriétés tant physiques que chimiques qu'induit l'application de fumier de ferme sur le sol. Parmi ces matières nous avons, les déchets d'épuration des eaux usées, appelés communément (boues résiduaires) qui peuvent de part leur caractéristiques fournir au sol les éléments nécessaires au maintien de la stabilité des sols ainsi que la fertilité de ce dernier. A cet effet, de nombreux auteurs ont montré une nette amélioration des propriétés du sol, suite à un épandage de ces résidus (**Gabatani, 1988; Morel et Jacquin 1980 ; Benmouffok 1994**).

Riches en matières organiques, parfois en calcium, ainsi qu'un certains éléments fertilisants les déchets urbains sont potentiellement intéressant pour améliorer les propriétés des sols. Les boues agissent comme un catalyseur de l'activité biologique et non pas seulement comme amendement et fertilisant.

La valorisation agricole des boues résiduaires peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimique (C, N, P..), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges (**Lambkin et al. 2004**). Les boues résiduaires peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux.

Le tableau (04) tiré du courrier de l'environnement de l'INRA (**Dudkowski,2000**) indique à titre d'exemple le pourcentage des éléments fertilisants ainsi que le pourcentage de la matière organique contenue dans les boues.

Tableau 04 : Composition générale des boues d'épuration (Dudkowski,2000)

Matière sèche (MS)	2 à 95% selon la siccité
Matière organique	50 à 70 % de la MS ( 30% si boue chaulée)
Azote	3 à 9% de la MS
Phosphore	4 à 6 % de la MS
Potasse	< à 1% de la MS
Magnésie	< à 1% de la MS
Chaux	4 à 8% de la MS (25% si boue chaulée)
Carbone/Azote	5 à 12

La disposition du phosphore, de l'azote, et du taux de matière organique des boues est conditionnée par le procédé de traitements utilisé dans la station. Par leur composition, les boues, une fois épandue, augmentent le rendement des cultures. Elles contiennent des nutriments pour les cultures et servent d'amendement organiques et calcique pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol, surtout si elles sont chaulées ou compostées (Benmoufok, 1994 ; Abiven, 2004). Des microorganismes présents en grand nombre dans le sol digèrent en partie les matières organiques apportées par les boues et les transforment en éléments minéraux disponibles pour les plantes. Une autre partie des matières organique est incorporée au sol et contribue à l'entretien d'une structure favorable au développement des racines.

#### III.4. Composition des boues résiduaires

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration (Werther et Ogada, 1999 ; Jarde et al., 2003). Les boues résiduaires représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (Matière organique, éléments fertilisants (N et P...), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes).

##### III.4.1.Matière organique

La concentration en matière organique peut varier de 30 à 80 %. La matière organique des boues est constituée de matières particulaires éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de

métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation) (**Kakii et al., 1986 ; Inoue et al., 1996 ; ADEME, 2001 ; Jarde et al., 2003**). Les boues contiennent surtout du carbone organique, il s'agit en grande partie de corps microbiens ou des produits d'excrétion de ces derniers (polysaccharides) qui confèrent à l'ensemble un aspect mucilagineux. On a identifié dans des digesteurs (bassin de stabilisation) de boues ; des graisses de cire, des huiles, des polysaccharides et des composés protéiniques.

### **III.4.2.Eléments fertilisants**

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, en phosphore, en magnésie, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en potassium (**Zebarth et al., 2000; Su et al., 2004; Warman et al., 2005**). Les éléments en traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux.

#### **III.4.2.1.Azote**

La teneur en azote des boues est un des éléments principaux qui favorisent sa valorisation. Cette richesse en azote (ramenée à la matière sèche) est surtout importante dans la phase liquide serait des composés facilement métabolisables ou tout simplement des composés ammoniacaux directement utilisables par les plantes. Il en résulte que les boues qui ont subi une déshydratation importante notamment par passage au filtre-pressé, perdent une grande partie de leur valeur "engrais azotés solubles ". Par ailleurs, le traitement thermique des boues conduit à des produits plus pauvres en azote que la moyenne (1 à 1,5 % de la matière sèche). Il en est de même des boues qui ont subi un traitement par la chaux pouvant provoquer des pertes importantes d'azote par volatilisation d'ammoniaque.

#### **III.4.2.2.Phosphore**

Le nombre de travaux consacrés à l'étude de la disponibilité pour les plantes de l'acide phosphorique contenu dans les boues, est beaucoup plus restreint que celui ayant trait à l'appréciation de l'assimilabilité de l'azote de se même déchet. Il faut reconnaître que les résultats des expériences culturales réalisées un peu partout dans le monde sont souvent contradictoires; le phosphore des boues étant considéré comme assimilable ou beaucoup moins assimilable que celui d'un engrais phosphaté minéral considéré comme soluble. A vrai dire , nous ne connaissons que peu de chose sur les formes du phosphore qui existent dans les boues 5 à 6% s'y trouveraient sous forme de phosphate organique (principalement inositol-

phosphate), le phosphore minéral étant surtout constitué par des associations avec les composés de fer, de l'alumine, du calcium ou de magnésium qui abondent dans la plupart des boues.

#### **III.4.2.3.Potassium**

C'est l'élément le moins représenté dans les boues dix fois moins que la teneur en azote. Le déficit en potassium des boues résulte de sa solubilisation et dans son entraînement dans l'effluent épuré. Par conséquent, les apports en potassium par les boues sont pratiquement négligeables. Mais la minime quantité contenue semble être rapidement assimilable (**King et Mokris, 1972; Sabey et Hart, 1975**).

#### **III.4.2.4.Calcium**

La forte charge de calcium des boues n'autorise pas à considérer ces derniers comme des amendements calcaires susceptibles d'élever le pH des sols. Il est vraisemblable en effet que le calcium des boues se trouve absorbé sous une forme facilement échangeable et certainement pas sous forme d'oxyde, d'hydroxyde ou de carbonate de calcium. Les boues additionnées par doses importantes de chaux ayant amené leur pH aux environs de 12 à 13, doivent être considérer comme de simples amendements calcaires.

#### **III.4.2.5.Sodium**

Le niveau de sodium dans les boues est relativement important. La teneur en sodium à tendance à augmenter dans un sol après un apport de boue, cependant il est entraîné par lessivage.

#### **III.4.2.6.Magnésium**

La concentration en magnésium des boues est également assez élevée et souvent supérieur de celle que l'on observe dans les fumiers de ferme .Il s'y trouve probablement sous une forme relativement mobile puisque plusieurs auteurs signalent un accroissement du contenu des horizons du sol en magnésium.

### **III.4.3.Les composés indésirables et nuisances olfactives**

Les stations d'épuration recueillent des rejets contenant un très grand nombre de polluants selon les activités raccordées au réseau d'assainissement. Les boues d'épuration peuvent contenir des composés dont les effets sont indésirables, soit pour la conservation des sols, soit pour la qualité alimentaire des cultures, au-dessus d'un certain seuil, peuvent rendre certaines

boues impropres à l'épandage agricole. Les composés indésirables sont les éléments traces métalliques, les composés traces organique et les germes pathogènes.

#### **III.4.3.1. Micro-organismes pathogènes**

Les boues contiennent des milliards de microorganismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration. Seul une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.) et provient en majorité des excréments humains ou animaux (**Sahlström et al., 2004**).

La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur d'activité d'origine: les eaux provenant d'abattoirs ou de toute industrie traitant de produits d'animaux sont très largement contaminées (Ecrin, 2000). Ainsi, par mesure de précaution, et afin d'éviter de propager la maladie de la vache folle, il est interdit d'utiliser les boues d'épuration provenant des eaux usées des abattoirs ou des équarrissages pour fabriquer de la fumure ou du compost (arrêté n°2210 du 30 avril 2004: Abattoirs). D'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture (**Garrec et al., 2003**).

#### **III.4.3.2 Contaminants chimiques inorganiques et organiques**

Ces mêmes éléments traces métalliques (cuivre, le zinc, le chrome et le nickel) indispensables au développement des végétaux et des animaux peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses (**Chang et al., 1992 ; Cripps et al., 1992**). D'autres, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels (**Alloway, 1995; McBride, 2003**). Ainsi, un polluant peut être défini comme un élément ou un composé chimique ordinaire dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration. Aussi, dans les boues, une multitude de polluants organiques (HAP, PCB, etc) peut se trouver en concentrations en général de l'ordre de  $\mu\text{g}/\text{kg MS}$  (**Lega et al., 1997; Pérez et al., 2001**).

La nature et la concentration des eaux usées en polluants organiques et inorganiques sont très dépendantes des activités raccordées au réseau. L'essentiel des contaminations chimiques vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (utilisation de solvants, déchets de bricolage...). Du fait de la décantation lors du traitement, ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à de très grandes concentrations par rapport aux eaux usées (**Klöpffer, 1996**).

Dans le cas des éléments traces métalliques, il faut différencier la part qui résulte de la contamination d'origine humaine (anthropogène) liée aux activités minières et industrielles et la part naturelle (géogène), qui constitue le fond pédo-géochimique local, et provient de la

dégradation des roches ou des émissions volcaniques. 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 (**Khalis et al., 1997 ; Caussy et al., 2003 ; Sekhar et al., 2004**).

Dans ces apports, les boues résiduaires ne sont qu'une source de risques parmi d'autres (**Wong et al., 1985 ; Nicholson et al., 2003**). La présence des métaux dans les boues résiduaires provient de la phase de séparation liquide-solide par décantation due à une rétention par adsorption sur la matière organique, à la formation de complexe insoluble entre cette dernière et la fraction minérale et à la précipitation d'hydroxydes métalliques à partir d'un certain pH (**Guibaud et al., 2003, Karvelas et al., 2003**). Les teneurs des métaux dans les boues montrent toujours un niveau plus élevé que celui des eaux usées entrant dans l'unité d'épuration (**Fars, 1994 ; Karvelas et al., 2003**). Ainsi, pour préserver les teneurs naturelles du sol en ETM lors de l'utilisation de boues en agriculture, des réglementations ont été mises en place car, incorporés au sol, les ETM contenus dans les boues peuvent être absorbés par les plantes et s'incorporer ainsi dans la chaîne alimentaire ou bien migrer vers les nappes d'eau souterraines (**Moreno et al., 1996 ; Wong et al., 1996 ; Gove et al., 2001**).

### **III.5-Généralités et Propriétés des ETM**

#### **III.5.1.Définition**

Selon la définition donnée par la commission économique des nations unies pour l'Europe (CEE), on entend par métaux lourds « les métaux ou, dans certains cas les métalloïdes qui sont stables ont une masse volumique supérieure à 4,5 g/cm<sup>3</sup> et leurs composé », englobe généralement un certain groupe de substances qui présentent une toxicité élevée pour l'homme et l'environnement.

#### **III.5.2.Solubilité**

La solubilité dans l'eau indique la tendance à la mobilisation du métal par lessivage ou par ruissellement. La solubilité dépend de l'élément, des conditions chimiques de la phase aqueuse (pH, potentiel d'oxydoréduction, concentration en ligands) et des phases solides environnantes. La solubilité d'un élément peut varier selon sa spéciation, c'est-à-dire sa répartition entre différents états de valence, qui représente un paramètre essentiel notamment pour l'arsenic et le chrome.

**III.5.3. Stabilité**

Contrairement aux contaminants organiques, les éléments métalliques sont indéfiniment stables en tant que tels et ne se dégradent pas dans l'environnement.

**III.5.4. Volatilité**

La volatilité influe sur la libération par évaporation naturelle des polluants infiltrés dans les sols. D'une façon générale, les métaux sont à considérés comme non volatils à l'exception du mercure.

**III.5.5.- Mobilité**

C'est l'aptitude d'un élément à passer d'un compartiment où il est retenu avec une certaine énergie dans un autre, ou il est retenu avec une moindre énergie.

Un élément peut ainsi passer successivement dans des compartiments d'énergie de rétention décroissante pour aboutir dans la solution du sol, voire dans son atmosphère (cas d'Hg).

C'est dans la solution du sol que les racines des plantes puisent préférentiellement mais d'autres transferts peuvent avoir lieu entre d'autres compartiments et les racines.

le passage des éléments d'une forme à l'autre est soumis à l'influence de plusieurs facteurs à savoir.

- ✓ Une diminution du pH favorise la mobilisation du métal par échange protonique, mise en solution de sels insolubles ou encore destruction de la phase de rétention. Inversement une augmentation du pH provoque l'immobilisation par formation de composés insolubles ou l'accroissement de la CEC (précipitation du cation métallique).
- ✓ Aération et potentiel d'oxydation les conditions d'aération du sol influencent l'état d'oxydation du métal et donc sa mobilité du métal.
- ✓ Flux au niveau du sol
- ✓ L'accumulation des ETM
- ✓ La biodisponibilité.

**III.6. Intérêts et Utilisations des ETM****III.6.1. Cuivre**

C'est l'un des premiers métaux utilisés par l'homme pour fabriquer, entre autres, des armes et des outils. Il est aussi un bon conducteur électrique et est utilisé dans la fabrication des câbles constituant les réseaux de distribution du courant électrique. En agriculture et depuis 1885,

la bouillie bordelaise (mélange de sulfate de cuivre et de Chaux) constitue un apport en Cu comme antifongique fort, essentiellement en viticulture.

Les contaminations anthropiques des sols concernant le cuivre, sont essentiellement liées à l'épandage de déchet agricoles (55% des apports), de déchets urbains (28%) et aux retombées atmosphériques (16%) (**Baize, 1997 ; Bourrelier et berthelin, 1998 ; HLavackova, 2005**).

Dans le cas d'un épandage de boues sur un sol cultivé, la translocation du cuivre au sein de la plante sont étroitement liés de l'état nutritionnel général, et en particulier selon **LOUE (1993)** du métabolisme de l'azote. Le cuivre est relativement immobile pour les plantes souffrant de carence, tandis que sa mobilité est maximale dans le cas d'une consommation de luxe (**Wehrheim et al., 1996**) ont montré que le cuivre était dans un premier temps accumulé au niveau des racines, puis après 14 semaines de culture l'élément était mobilisé vers les parties aériennes.

### III.6.2.Cadmium (Cd)

La source de dispersion naturelle du cadmium dans l'atmosphère est principalement liée à l'activité volcanique. Les principales sources artificielles de dispersion du cadmium dans l'atmosphère, les sols et les systèmes aquatiques sont liées aux nombreuses activités industrielles et à l'épandage d'engrais phosphatés faisant intervenir cet élément (**Martin-Garin et Simon, 2004**). En agriculture l'apport de Cd dans les sols cultivés est essentiellement lié aux apports d'engrais minéraux de type superphosphate naturelles (89%) et un peu à l'épandage des déchets urbains (7%) (**Deneux-Mustin et al., 2003**).

### III.6.3.Chrome (Cr)

La concentration du Cr dans les sols varierait de l'état de traces à 2,4% (**Sittig, 1975 in Afee, 1979**). D'après **Rousseaux (1988)**, le maximum « normal » dans les sols est de 150 ppm la moyenne est de 100 ppm.

Les sols peuvent également être enrichis par les rejets (retombées atmosphériques, les boues de stations d'épuration) en provenance des différentes sources traitant le Cr. Les minerais de Cr ont trois grands domaines d'application. L'industrie métallurgique (ferrochromes, silichromes et autre éléments d'addition). L'industrie des pierres réfractaires (fours métallurgiques et de verrerie, briquetage des hauts fourneaux). L'industrie chimique qui assure en majeure partie la fabrication des diverses combinaisons du chrome, dont la plus importante est le bichromate de sodium.

Ces industries constituent les principales sources de pollution par le biais des rejets de leurs effluents, les fumées etc. (**Boloniaz and Bulinski, 1984 Gristan and Babiy, 2000 kaminski and Landsberger, 2000 Adame et al, 2002**).

Dans la nature, le chrome est principalement concentré dans les roches. Seuls les composés trivalents (chrome III) et hexavalents (chrome VI) sont détectés dans l'environnement en quantités significatives. Les sols riches en chrome sont ceux dérivés de la Serpentine. La présence de chrome dans les boues résiduaire pour origine principale, les eaux provenant des installations de chromage, le tannage du cuir, l'industrie textile, la fabrication des teintures et pigments. Selon leur origine les engrais phosphatés peuvent contenir aussi du chrome entre 71 à 241  $\mu\text{g/g}$  de chrome.

#### III.6.4.Nickel (Ni)

L'activité anthropique est une source importante du nickel, mais aussi les émissions des centrales et des incinérateurs, les combustions du Mazout, la production minière, la métallurgie et l'industrie de galvanisation. Ces sources sont communes à plusieurs activités industrielles.

Dans les sols, la mobilité du Ni est d'autant plus important que le pH est faible. La biodisponibilité est fonction de la texture et de la matière organique dont la présence réduit la mobilité du Ni car il se trouve en grande partie lié Au humines (**Uren NC, 1992**).

Les études sur le transfert du Ni aux plantes indiquent que le transfert est vérifié pour la plupart des plantes. Pour **Denys (2002)**, le transfert varie avec le type de plante et le type de sol. Ainsi, le transfert racinaire du Ni pour le blé est plus important que le trèfle (légumineuse). Sur les sols nickelifères des plantes non accumulatrices comme le betterave possède des concentrations (33,7 ppm de matière sèche) comparativement aux navets (18,2 ppm).

#### III.6.5.Plomb (Pb)

Le plomb est un des métaux les plus mesurés dans l'environnement. Du fait de son interdiction dans certaine utilisation, tels les carburants et les canalisations des eaux potables, les concentrations de l'air en Plomb ont fortement baissé lors des dix dernières années. Les horizons supérieurs des sols (agricoles ou urbains) constituent un milieu d'accumulation important pour les dérivés du plomb.

Le plomb dans le sol provient essentiellement en système non anthropisé de la roche mère. A l'heure actuelle la concentration de Pb des souches pédologiques mondiales est estimée en moyenne à 25 ppm (**Kabata-Pendias and Pendias, 1992**).

Si des apports exogènes non anthropiques sont à l'origine des enrichissements constatés dans tous les horizons de surface, on devrait en retrouver la trace dans les tourbes profondes, au moins pour les éléments comme le Pb dont on sait qu'ils ont de fortes affinités pour la matière organique (**Shotyk et al., 2003 Monna et al., 2004**).

D'après **Juste et al., (1995)** de nombreux auteurs s'accorderaient pour affirmer que les sols non contaminés contiendraient de 10 à 30 mg/Kg (moyenne 15 mg/Kg) tandis que les sols situés loin des centres urbains et industriels mais affectés par des contaminations diffuses présenteraient des concentrations comprises entre 30 et 100 mg/Kg. Des concentrations > 100 ppm de Pb traduiraient l'existence d'une source polluante à proximité.

### III.6.6. Fer (Fe)

Le fer est un élément essentiel pour les végétaux supérieurs qui est impliqué dans des processus physiologiques essentiels tels que la photosynthèse et la respiration (**Marschner 1995**). Bien que cet élément soit abondant dans les sols, sa disponibilité est faible et diminue fortement avec l'augmentation du pH en raison de la faible solubilité des oxydes de Fe<sup>III</sup> (**Lindsay 1979**).

Le fer est un élément majeur des constituants du sol. Il est représenté en quantité mais il assurément le mieux exprimé dans le sol par ces diverses colorations. Grâce à ses propriétés chimiques originales : avec deux degrés de valence, parfois plus ou moins réduit, il constitue un excellent traceur de l'évolution des sols :

- Avec la matière organique, il est le principal responsable de la couleur du sol, il est donc un bon indicateur de l'histoire du sol et un élément essentiel pour la classification.
- Il est insoluble à l'état ferrique et se fixe et s'accumule dans les profils en l'absence de substance complexantes.

La solubilité de Fe dans les sols est largement gouvernée par les oxydes (en fait, rigoureusement, il s'agit à la fois d'oxydes, d'hydroxydes et d'oxyhydroxydes) de Fe<sup>III</sup> (**Lindsay 1979**) qui sont les formes de Fe thermodynamiquement les plus stables et avec une très faible solubilité (**Schwertmann 1991**). Ces minéraux représentent pourtant la source majeure de Fe pour les plantes dans la plupart des sols (**Schwertmann 1991**).

### III.7 -Cinétique environnementale des ETM

Les ETM posant problème pour l'environnement et la santé sont des nanoparticules ou sont généralement associés aux aérosols de petite taille. Quand ils sont présents dans l'air (pollution routière, industrielle, combustion, etc.) **Nriagu, J. O. (1979)**., ils sont principalement évacués du compartiment atmosphérique par dépôt humide. Ils se retrouvent alors dans les sols, les sédiments et l'eau interstitielle (**Gaillard, J.F., Jeandel, C., Michard,G.,Nicolas, E., Renard, D., 1986**) puis dans les organismes et les écosystèmes, auxquels ils peuvent poser problème. Certains invertébrés (vers par exemple) peuvent les fixer grâce à des molécules chélatrices (métalloprotéines en général) et en excréter une partie via leur mucus ou excréments ; ils peuvent alors les remonter en surface du sol ou des sédiments ; ces métaux ou métalloïdes sont alors à nouveau biodisponibles pour les bactéries, les plantes ou d'autres espèces qui peuvent à nouveau les bioaccumuler (**Marinussen, M.P., J. C. van der Zee, E.A. Sjoerd, T. M. de Haan, A.M.Frans ., 1997**).

### III.8. Notion juridique de la valorisation des boues résiduaires

La norme AFNOR U 44-041 date du 11 juillet 1985. Elle concernait les « boues des ouvrages de traitement des eaux usées » considérées comme des « matières fertilisantes » et devant donc répondre à certaines spécifications. Son application a été rendue obligatoire en France par l'arrêté interministériel du 29 août 1988 (n° INDD 8800582A). Ce dernier avait pour but de transposer dans la réglementation française la directive européenne du 12 juin 1986, modifiée le 2 décembre 1988 (n°86/278/CEE).

Cette norme fixait des règles relatives à l'épandage des boues de station de traitements des eaux usées urbaines sur les sols à vocation agricole. Elle précisait notamment des teneurs totales maximales en ETM dans les boues de stations et dans les sols susceptibles de les accueillir.

Il semble que la norme ait repris telles quelles les propositions de **Godin**, faites en 1984. ce dernier, s'inspirant de valeurs émanant des travaux d'une commission AFNOR et de tableaux provisoires analogues établit dans d'autres pays européens (notamment les Pays-Bas), définissait trois types d'usages pour les sols et adoptait quatre concentration de références :

### A)-Trois types d'usage

- (a) usage pour la production maraîchère (le plus exigeant) ;
- (b) usage pour les autres productions agricoles liées à l'alimentation ;
- (c) autre usage.

### B)-Quatre concentrations de références

- (1) seuil d'anomalie : concentration maximale rencontrée dans les sols courants ;
- (2) seuil d'investigation : concentration du sol au-delà de laquelle une étude approfondie du site est nécessaire ;
- (3) seuil de traitement : concentration du sol au-delà de laquelle un traitement est nécessaire ;
- (4) seuil d'urgence : concentration du sol au-delà de laquelle un traitement ou un prétraitement d'attente s'impose dans un délai de trois mois.

Et le rédacteur ajoutait « dans l'état actuel des connaissances, ces seuils de référence en matière de pollution du sol sont donnés à titre de repères. Pour plus de commodité, on a d'ailleurs pris :

- seuil (2) = 2 fois le seuil d'anomalie ;
- seuil (3) = 5 fois le seuil d'anomalie ;
- seuil (4) = 10 fois le seuil d'anomalie ».

La norme AFNOR U 44-041 de 1985 officialisa ces valeurs des « seuils d'anomalie » pour fixer les limites de teneurs du sol, au-delà desquelles on ne devait plus épandre des boues de stations d'épuration.

### III.8.1. Valeurs limites et admissibles des ETM du compost en agriculture

Actuellement, les nouveaux projets ou pré-projets sur les concentrations maximales autorisées tendent à prescrire des niveaux encore plus bas pour le compost de boues résiduaires ou pour d'autres amendements à destination usage agricole. (**Voir Annexe n°01**).

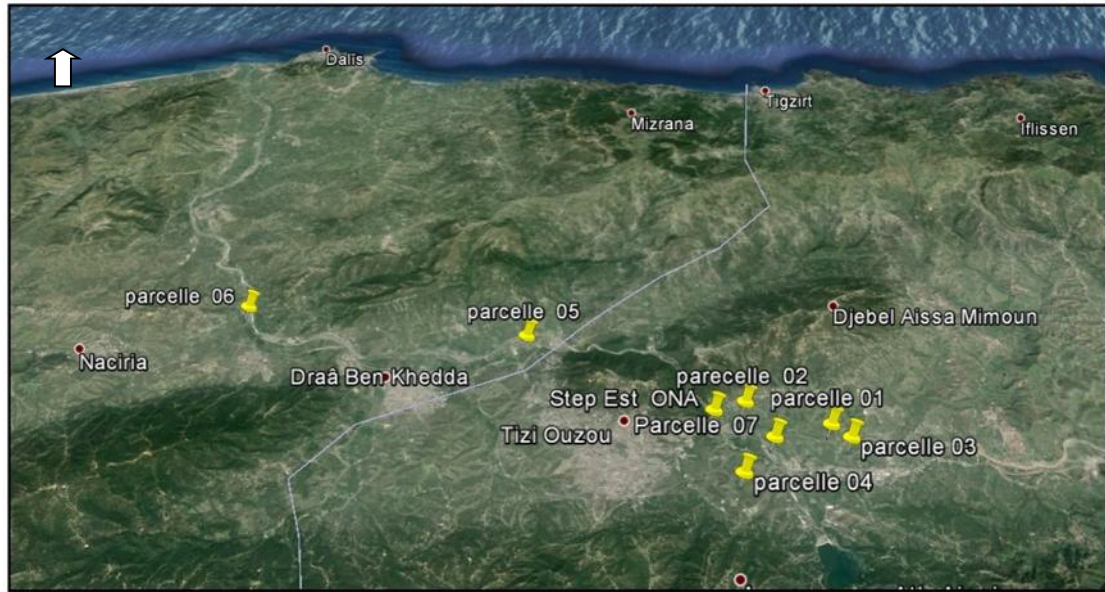
# CHAPITRE II

## *Matériel et Méthodes*

## II. Échantillonnage du sol

### II.1. Echantillonnage du sol

L'échantillonnage du sol a été effectué du mois d'avril au mois de mai 2014 sur (06) parcelles dans les différentes communes de la vallée de Sébaou de la willaya de Tizi-Ouzou. Nous avons observé le terrain avec la collaboration de l'agriculteur et délimité donc les champs des zones de prélèvement (Figure 09).



**Figure 09: Localisation des différentes parcelles échantillonnées via Google Earth (2014)**

La répartition des unités d'échantillonnages dans notre zone de prélèvement a été faite en diagonale de façon à respecter l'homogénéité, la pente de l'exposition et la couleur. Les profondeurs prospectées sont (0 à 10 cm), de (10 à 25 cm) et (25 à 45 cm), (voir figure 10).



**Figure 10 : Profil cultural (2014)**



Figure 11 : Image satellite de la 1<sup>ère</sup> la parcelle (Google Earth, 2016)



Figure 12 : Image satellite de la 3<sup>ème</sup> la parcelle (Google Earth 2016)



Figure 13 : Image satellite de la 4<sup>ème</sup> la parcelle (Google Earth 2016)



Figure 14 : Image satellite de la 5<sup>ème</sup> la parcelle (Google Earth 2016)



Figure 15 : Image satellite de la 6<sup>ème</sup> la parcelle (Google Earth 2016)



Figure 16 : Image satellite de la 7<sup>ème</sup> parcelle (Google Earth 2016)

**II.2. Analyse des échantillons**

Les échantillons prélevés sont acheminés au laboratoire. À leurs réceptions, il est nécessaire de procéder d'abord au séchage puis tamisage avec un tamis de 2 mm, avant tout traitement physique et chimique. Ils sont par la suite conservés dans un endroit sec.

Les sols ainsi obtenus, vont être soumis à une série d'analyse qui consiste en :

- ✓ Attaque acide et minéralisation.
- ✓ Analyse statistique des résultats.

**II.2.1. Analyse des éléments traces métalliques**

L'analyse des éléments traces métalliques sur les échantillons du sol a été effectuée sur (06) parcelles dans les différentes communes de la vallée de Sébaou de la willaya de Tizi-Ouzou.

Les éléments traces métalliques (ETM) sont parmi les plus grandes familles de contaminants rencontrés le plus souvent dans les sols, Pour évaluer la toxicité des éléments métalliques d'origine anthropique, les laboratoires sont amenés à déterminer parfois non seulement la teneur totale de chaque élément mais aussi sa forme chimique. La détermination des teneurs totales des métaux est une donnée importante qui permet d'évaluer le degré de contamination des sols mais qui ne permet toutefois pas d'appréhender les comportements des polluants dans le milieu.

L'analyse de la spéciation opérationnelle, fondée sur des techniques d'extraction séquentielles, et dont l'objet est d'identifier et de quantifier les éléments polluants dans des phases spécifiques du sol, peut s'avérer essentielle pour évaluer leur mobilité et leur impact potentiel sur l'environnement (ex dans le cas du chrome). Néanmoins, la multiplicité des protocoles analytiques rend l'emploi des méthodes de spéciation très discutable (**Pagotto C., 1999**).

**II.2.1.1. Préparation des échantillons avant l'analyse**

L'objectif de la préparation de l'échantillon avant l'analyse est obtenir un échantillon représentatif dans lequel la concentration en ETM est aussi proche que celle présente dans le sol ou le végétale d'origine. C'est souvent l'étape la plus longue et celle qui génère le plus de sources d'erreur dans la chaîne analytique. Elle comprend :

**a)-Quartage** : homogénéisation des prélèvements et sélection d'un échantillon représentatif,

**b)-Séchage** : le séchage des échantillons de sol est le plus souvent réalisé à l'air libre.

**c)-Tamisage** : pour éventuellement éliminer les gros fragments solides qui ne sont habituellement pas considérés comme faisant partie du sol. La fraction conservée pour analyse est généralement celle inférieure à 2 mm (NF X 31-101) puis tamisé à un tamis 0,25 mm.

**d)-Broyage** : réduction des échantillons en poudre fine de façon à favoriser la mise en solution des éléments à analyser (augmentation de la surface spécifique du matériau).

## **II.2.2.Dosage des ETM sur le sol**

### **II.2.2.1.Présentation de la méthode**

Les méthodes de dosage sont relatives à la détermination des teneurs totale des polluants métalliques dans les échantillons.

#### **II.2.2.1.1.Extraction de l'échantillon**

L'extraction des échantillons a pour but de mettre en solution tout ou partie des métaux avant analyse. Deux démarches sont possibles :

- ✓ rechercher la quantité totale de ETM présent (fraction libérale et fraction fixée sur la matrice du sol) en effectuant une extraction aussi exhaustive que possible de l'échantillon ;
- ✓ rechercher dans le cadre d'une étude de comportement, la quantité d'ETM susceptible d'être complexée aux différentes phases porteuses dans le sol et qui indique les risques de relargage dans le milieu.

#### **A)- Extraction totale**

La quantité d'éléments traces métalliques extraite dépend à la fois de la technique d'extraction a composition physico-chimique du sol. Les métaux contenus dans un sol à forte teneur en argile par exemple, seront plus difficiles à mettre en solution que ceux présents dans un sol plutôt sablonneux.

Le risque à cette étape réside dans la perte des composés (par volatilisation, occlusion, et/ou adsorption sur les parois des récipients). La source d'erreur possible est d'autant plus grande que la quantité des polluants recherchés est faible.

Comme pour le prétraitement des échantillons, il existe différentes méthodes d'extraction variables selon les réactifs utilisés.

Les analyses totales évaluent le stock total de tel ou tel élément à un moment donné. Elles ont par contre l'inconvénient de ne fournir aucun renseignement sur la mobilité des éléments dans le sol ni sur leur biodisponibilité vis-à-vis des plantes. Il est possible d'opérer des suivis au cours du temps, pour repérer des variations lentes - dues par exemple à des contaminations diffuses - ou rapides et ponctuelles. On peut comparer les analyses entre elles et les confronter aux normes réglementaires, qui sont, à ce jour, toutes exprimées sous la forme de teneurs totales.

Plusieurs extradants sont considérés comme donnant des teneurs « totales ». Ce sont l'acide fluorhydrique, l'acide nitrique, l'acide chlorhydrique, ou une combinaison de plusieurs acides (eau régale, réactif triacide). Mais il semble bien que seul l'acide fluorhydrique (HF) soit capable d'extraire de l'échantillon de sol la totalité d'un élément. L'acide nitrique n'extrairait que 60% à 80% des éléments traces métalliques selon les cas (**Certu, 2004**).

### **II.2.3. Minéralisation**

Pour les éléments traces métalliques, la méthode de solubilisation la plus utilisée est la minéralisation par attaques acides. Réalisée au milieu ouvert ou fermé et à chaud (>150°C), elle utilise l'eau régale (mélange acide chlorhydrique/acide nitrique) ou un mélange d'acide perchlorique et acide fluorhydrique.

#### **a)-Mode opératoire**

On prend (03) g de sol broyé et tamisé à un tamis de maille de 0.25 mm ; puis on ajoute 20 ml d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>, 70%) et 10 ml d'acide chlorhydrique (HCL 36%) pour humecter tout le sol.

Chauffer dans un minéralisateur à une température d'environ 120 °C pendant (02) heure, ensuite à une température 160°C jusqu'à l'évaporation totale des acides de façon à obtenir une pâte visqueuse (figure 17).



**Figure 17 : Minéralisation par l'attaque acide**

L'extraction par attaque acide, en milieu fermé, présente l'avantage d'éviter les pertes d'éléments volatils (mercure, arsenic, plomb ou cadmium) qui se produisent parfois lors d'une minéralisation par calcination. On passe à l'agitation mécanique après avoir laissé la pâte refroidie.

#### **II.2.4. Agitation mécanique**

##### **a)-Définition**

Un agitateur est un élément d'une unité de procédé ayant pour but d'assurer l'homogénéisation du point de vue des composants du milieu et/ou de la température

Il existe différents type d'agitateur en fonction du milieu, de la configuration de l'unité et de l'effet désiré.

Au laboratoire, l'agitation d'une solution peut être réalisée par une baguette de verre qui permet de remuer une solution dans un récipient. L'agitation est dite manuelle. Son utilisation peut être remplacée par un barreau magnétique en association (ou non) avec une plaque chauffante.

L'agitateur est alors le bloc qui permet d'agiter le barreau magnétique. Il est constitué d'un aimant mis en rotation par un moteur à vitesse variable.

Les agitateurs se classent en fonction de 2 grandes classes de mélange :

❖ **Mélange radial** : Le mélange radial provoque un mouvement au niveau de l'agitateur : le fluide part centre du récipient, est propulsé par l'agitateur vers les parois d'où il est renvoyé vers le centre.

➤ **Type d'agitateur**

- ✓ Turbine.
- ✓ Ancre.
- ✓ Plaque.
- ✓ Grille.
- ✓ Impeller.

❖ **Mélange axial** : Le mélange axial provoque un mouvement dans tout le récipient : l'agitateur agit comme une pompe qui aspire le fluide le long de son axe avant de le rejeter vers le bas. Le fluide remonte alors le long des parois et une fois dans la partie supérieure du récipient est aspiré vers le centre avant de redescendre.

➤ **Type d'agitateur**

- ✓ Hélice
- ✓ Turbine à pales inclinées
- ✓ Agitateur ruban

A l'aide un agitateur automatique (figure 18) on agite de façon mélangé le résidu du sol à l'eau distillée puis on passe à la filtration.



**Figure 18 : Agitation de la solution à l'aide d'une plaque chauffante**

### **II.2.5.Filtration**

C'est une technique de base qui consiste à séparer deux phases : phase liquide d'une phase solide d'un mélange hétérogène. Les particules solides étant retenues par le filtre qui laisse passer le liquide. Selon que le produit soit liquide ou solide, on dira que l'on essore un solide ou que l'on filtre un liquide. Plusieurs méthodes de filtration existent.

#### **a)- Filtration par gravité**

Pour cela on utilise des filtres, généralement en papier, coniques ou plissés, à travers lequel le liquide s'écoule sous l'action de son propre poids.

C'est la technique la plus banale. Un papier filtre dans un entonnoir, un erlenmeyer pour recueillir le liquide filtré.

La filtration se fait le plus souvent à froid. A chaud, il s'agit d'une recristallisation

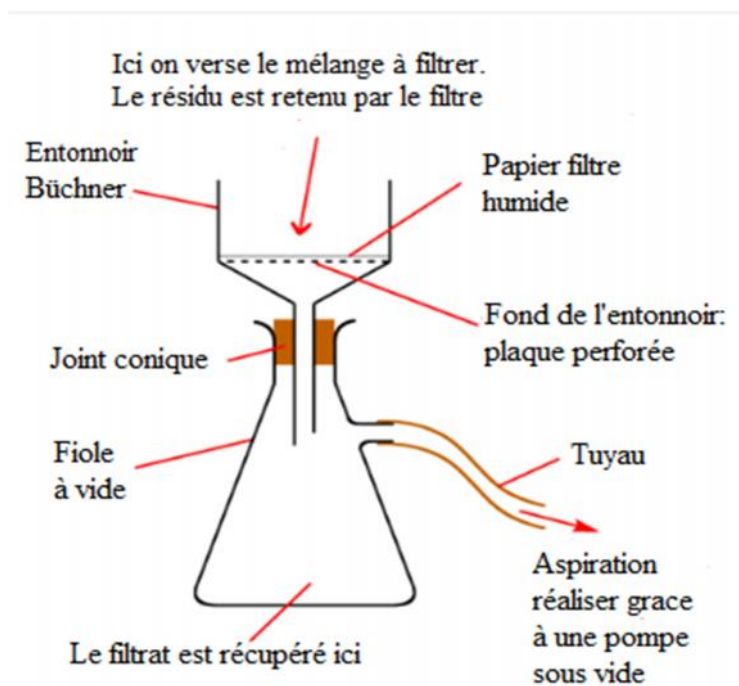
Dans le cas de la filtration par gravité, la technique très délicate consiste à plier un papier filtre rond en quatre, de la mettre dans un entonnoir et d'attendre que le liquide passe.

Cette technique est utilisée quand on cherche à recueillir un liquide. On peut avoir des pertes significatives lorsque la molécule que l'on recherche à isoler reste liée à la cellulose du papier par liaison hydrogène.

**b)- Filtration sous vide**

Le montage de base est constitué d'une fiole à vide et d'un flacon de garde, le tout maintenu sur des supports (surtout la fiole à vide). La fiole à vide est branchée sur une pompe sous vide qui permet d'obtenir un vide relatif (Figure 19 et 20).

Nous utilisons ici la dépression créée par une pompe à vide sous le filtre pour accélérer la filtration



**Figure 19 : Schéma de la filtration sous vide**

❖ **Composition du montage**

- Entonnoir Büchner couvert d'un papier filtre humide.
- Une fiole à vide, de volume supérieur à celui du mélange filtré.
- Un joint conique en caoutchouc, assurant l'étanchéité entre le filtre et la fiole
- Pompe sous vide.
- 

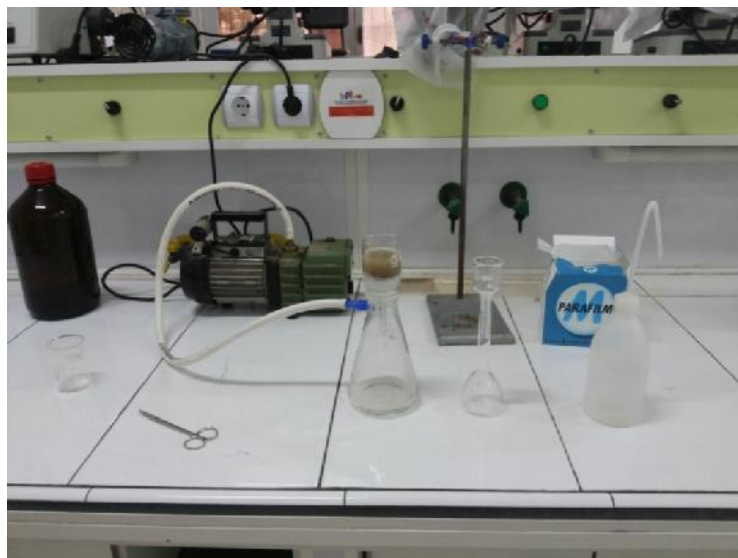
❖ **Filtre de type Büchner :**

En porcelaine, de forme cylindrique avec un tamis à gros trous, on place dessus un filtre circulaire en papier, suffisamment grand pour couvrir la totalité du tamis.

**❖ Quelques remarques a propos de la filtration sur Büchner**

- ✓ Relier la fiole à vide au système d'aspiration.
- ✓ Mouiller le papier filtre avec le solvant (eau distillée).
- ✓ Verser la solution le long du Büchner.

Lorsque toute la solution est écoulee, attendre quelques instants afin de s'assurer de l'élimination totale du liquide.



**Figure 20 : Filtration des ETM par technique sous-vide**

La filtration de la solution se fait à l'aide d'une pompe sous vide et avec l'utilisation d'un filtre à papier de 0,15mm et un ruban (Para-film) pour bien maintenir le dispositif (rôle d'une pince pour le rendre stable). On complète avec l'eau distillée jusqu'à avoir un volume de 100 ml.

**II.2.6. Analyse instrumentale****II.2.6.1. Analyse des ETM**

La quantification des éléments métalliques est réalisée le plus souvent par Spectrométrie d'adsorption atomique (SAA) ou par l'utilisation du plasma couplage inductif associé ou non à une détection par spectrométrie de masse ou d'émission atomique (ICP ou ICP/AES).

Outre la disponibilité matérielle, le type d'appareil à utiliser est déterminé par la nature et la concentration de l'élément métallique recherché car les métaux n'ont pas tous la même sensibilité vis-à-vis du mode d'atomisation employé. A titre d'exemple, le cadmium donnera un signal plus « fort » pour une concentration plus basse en SAA (four) qu'avec la méthode ICP/AES. Le choix dépend également du bruit de fond généré par la matrice et du type de détecteur de l'appareil.

**II.6.1.1. Spectrométrie d'absorption atomique (SAA)**

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

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

**❖ Principe**

La détermination spectroscopie d'espèces atomiques peut seulement être réalisée à partir d'un échantillon à l'état gazeux, dans lequel les atomes individuels comme l'Ag, Al, Au, Fe et Mg sont nettement séparer les uns des autres.

La chaleur nécessaire pour faire passer l'échantillon à l'état gazeux et placer l'élément à doser dans un état « fondamental » est généré par une flamme ou un four de graphite. La SAA de flamme analyse seulement les solutions, tandis que la SAA de four de graphite analyse les solutions, les boues liquides et les échantillons à l'état solide.

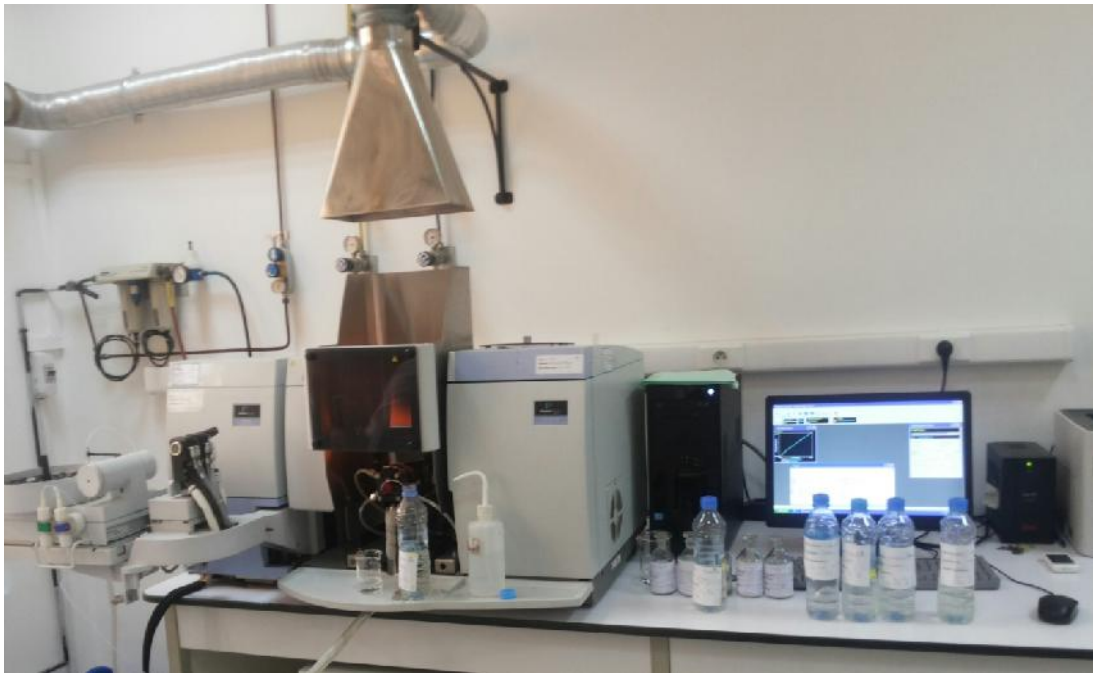
**A)-SAA flamme**

Un atomiseur de flamme consiste en un nébuliseur qui convertit l'échantillon en un aérosol, qui est alimenté dans le brûleur. L'atomisation se produit dans la flamme qui est habituellement alimentée par de l'acétylène et du protoxyde d'azote.

**B)- SAA four**

Un atomiseur électrothermique fournit une grande sensibilité parce que qu'il atomise l'échantillon rapidement. L'atomisation se produit dans un four de graphite cylindrique, ouvert aux deux extrémités et qui contient un trou au centre pour la préparation des échantillons. Deux courants de gaz inertes sont utilisés. Le courant externe empêche l'air de rentrer dans le foyer et le courant interne garantit que les vapeurs générées dans la matrice de l'échantillon sont rapidement éloignées du four. Le gaz le plus communément utilisé est l'argon.

Une fois que l'élément à doser est dissocié, on mesure alors son absorption sur des longueurs d'onde caractéristiques.



**Figure 21 : Exemple de SAA flamme et four (appareil ONA Baraki, Alger)**

### **II.3. Prélèvement des échantillons d'eau**

Du fait qu'elle dissout ce qui est soluble, qu'elle dilue ce qui est toxique et qu'elle déplace ce qui flotte, l'eau accède ainsi au statut peut enviable de véhicule privilégié de la pollution.

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée, il est donc nécessaire de procéder à un choix des points de prélèvement et d'utiliser le matériel convenable.

#### **❖ Choix des points de prélèvement**

2 points d'eau sont échantillonnés au niveau des rivières existantes près des points des sols collectés :

- ✓ E01 point est situé en aval de la zone industrielle d'Oued Aissi à proximité des parcelles étudiées
- ✓ E02 point est appartient à un forage à proximité de la pépinière Oued Aissi.

Les échantillon d'eaux destinés aux analyses sont recueillis dans des flacons en plastique (500ml), rincés avec de l'eau distillée, puis trois(03) fois avec de l'eau à analyser et remplis jusqu'au bord pour éviter l'oxydation et le dégazage, l'eau (E01) est prise a une profondeur de (15 à 30 cm) de la surface de l'eau. Quelques éléments en trace métallique ont été mesurés in situ notamment le cuivre, Plomb, Argent, Fer, Nickel, Cadmium, Cobalt sous la SAA flamme.

#### **II.4. Analyse statistique**

A fin de caractériser les propriétés physico-chimiques des sols des parcelles étudiées, les résultats obtenus sont soumis à un test de normalité des variables, et une fois ce teste confirmé on passe à l'analyse de la variance à un facteur au seuil  $P = 5\%$  en utilisant le logiciel R consol (version 2.14.0). Si la probabilité (P) est :

- $> 0,05$  : les variables ne montrent aucune différence significative.
- $0,05$  : les variables montrent une différence significative.
- $0,01$  : les variables montrent une différence hautement significative.
- $0,001$  : les variables montrent une différence très hautement significative.
- ✓ Dans le cas la normalité n'est pas confirmé, on passe à l'application de test Kruskal-Wallis (test non paramétrique).
- ✓ Dans le cas où les différences sont significatives, nous faisons appel au test Post Hoke de Kruskal a l'aide d'un package "Pgirmess" » afin de déterminer les groupes homogènes et hétérogènes.

# CHAPITRE III

## *Résultats et Discussions*

### III. Résultats des analyses du sol

#### III.1.Introduction

De nombreux sols présentent, naturellement ou en raison d'activités industrielles et agricoles, des teneurs importantes en éléments trace métalliques (ETM). La présence des ETM peut avoir des effets nocifs sur la santé humaine via la chaîne alimentaire.

Parmi les éléments traces métalliques rencontrés dans les sols, les plus fréquemment analysés pour caractériser la pollution d'un sol sont : le Plomb, le cuivre, le zinc, le cadmium, le nickel, le chrome, le mercure auxquels est ajouté un métalloïde lourds l'arsenic (**Jeannot, R., et al., 2001**).

En effet, en matière de métaux lourds, les démarches d'interprétation ne peuvent se passer des concepts de la pédologie. Il n'est pas raisonnable de traiter de ces éléments dans les sols sans se référer aux connaissances acquises par cette dernière (**Baize, 1997**) et sans tenir compte des caractéristiques physiques du milieu d'étude. La dynamique, le comportement (spéciation délocalisation) et la forme chimique (spéciation) de ces éléments sont étroitement liés et tributaires des facteurs du milieu (climat, végétation, organismes vivants, etc...).

#### III.1.2.Cuivre (Cu)

En agriculture et depuis 1885, la bouillie bordelaise (mélange de sulfate de cuivre et de chaux) constitue un apport en Cu comme antifongiques fort, essentiellement pour protéger la production viticole contre les dégâts du mildiou. Les contaminations anthropiques des sols concernant le cuivre, sont essentiellement liées à l'épandage des boues agricoles (55% des apports), des déchets urbains (28%) et aux retombées atmosphériques (16%) (**Baize, 1997 ; Bourrelier et Berthelin, 1998 ; Hlavackova, 2005**).

Les analyses réalisées sur les six (06) parcelles présentées dans (Figure 22). Montrent des teneurs très variables en fonction de la parcelle et de la profondeur prospectée, elles sont comprises entre 12,98 ppm à 84,72ppm.

En fonction de la profondeur, les parties superficielles sont toujours plus accumulatrices en cuivre dans les horizons (0 à 10 cm) des parcelles V01, V03, V05, V07 que les parties profondes qui ont des faibles concentrations. La faible migration est liée d'après (**Baize, 1997**) au pH alcalin et la richesse en argile des sols.

Le cuivre apporté au sol a tendance à s'accumuler près de la surface et à se répartir sous plusieurs porteurs dans la phase liquide, c'est à dire la solution du sol, et dans la phase solide (**McBride, 1981 ; Adriano, 2001**).

D'après l'analyse des eaux d'irrigation on constate que la valeur enregistré dans la parcelle V07 (84 ppm) est due à l'accumulation de cet élément suite à des irrigations fréquentes. En effet, l'analyse de l'eau de du point E01, relève une charge en Cu de (10µg/l).

Dans les deux parcelles V04 et V06 en remarque des valeurs de la teneur élevé dans la profondeur horizon (25-45 cm) 43,73ppm et 30,46 ppm par rapport a l'horizon de la surface 17,82 ppm et 29,20 ppm. Selon **Lund et Fobian, (1991)** cités par **Baize, (1997)** ont décrit au Danemark un cas de haute pollution en cuivre ou la pollution cuprique n'est pas demeurée en surface (des quantités massives de Cu 8000 à 13000 ppm ont été retrouvée dans les horizons profonds calcaires, et les teneurs enregistrées en surface étaient de 6000 ppm).

Pour Cu, la concentration et le pourcentage en espèces ioniques libres diminuent lorsque le pH augmente (**McBride et Bouldin 1984 ; Sauvé et al. 1997, 1998; Vulkan et al. 2000 ; Lofts et al. 2004**). Avec l'augmentation du pH, la matière organique joue donc un rôle contrasté : un ensemble de sites d'adsorption spécifique (matière organique particulaire) diminuant la solubilité et donc la disponibilité de Cu et, un agent complexant naturel (matière organique soluble) augmentant la solubilité de Cu et donc sa disponibilité, particulièrement à pH alcalin (**McBride 1981, 1989 ; Vulkan 2000 ; Adriano 2001**). Ainsi avec l'augmentation du pH, la concentration en espèce ionique libre décroît considérablement au profit d'espèces complexées avec de la matière organique dans la solution du sol qui peuvent représenter plus de 99% de Cu soluble (**McBride et Bouldin 1984 ; Sauvé et al. 1997**). Il est par conséquent souvent considéré que la biodisponibilité environnementale et la phytotoxicité de Cu diminuent avec l'augmentation du pH dans l'hypothèse où les plantes ne seraient sensibles qu'à l'espèce ionique libre.

La concentration du cuivre enregistrés dans ces parcelles sont inférieurs aux normes AFNOR (NFU 44-041). Des concentrations de 200 à 1000 mg kg<sup>-1</sup> sont souvent observées sur les sols agricoles, qui sont bien au-dessus des normes fixées en France après l'épandage de boues de station d'épuration (**Flores-Vélez et al. 1996 ; NFU44-041 1999 ; Baize et Tercé 2002**).

L'épandage des boues des stations d'épuration ne présente pas actuellement par leur apport des risques environnementaux, donc peuvent utiliser comme amendement organique.

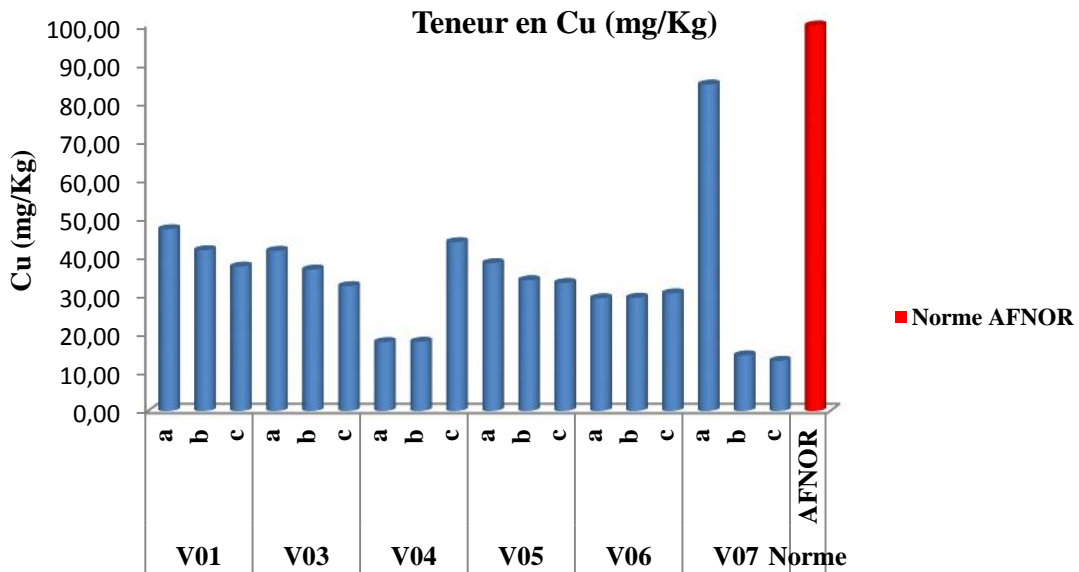


Figure 22 : Variation du Cu dans les parcelles étudiées en fonction des profondeurs

### III.1.3.Chrome (Cr)

Le chrome peut être présent en forte quantité de manière naturelle suite à l'altération des massifs rocheux, mais également suite aux activités anthropiques comme la prospection minière, le traitement du bois, la métallurgie, la chimie (catalyseur) et l'industrie (tannerie, chromage) (Henderson, 1994; Baron et al., 1996; Barnhart, 1997; Berthelin et Leyval, 2000; Shtiza et al., 2005).

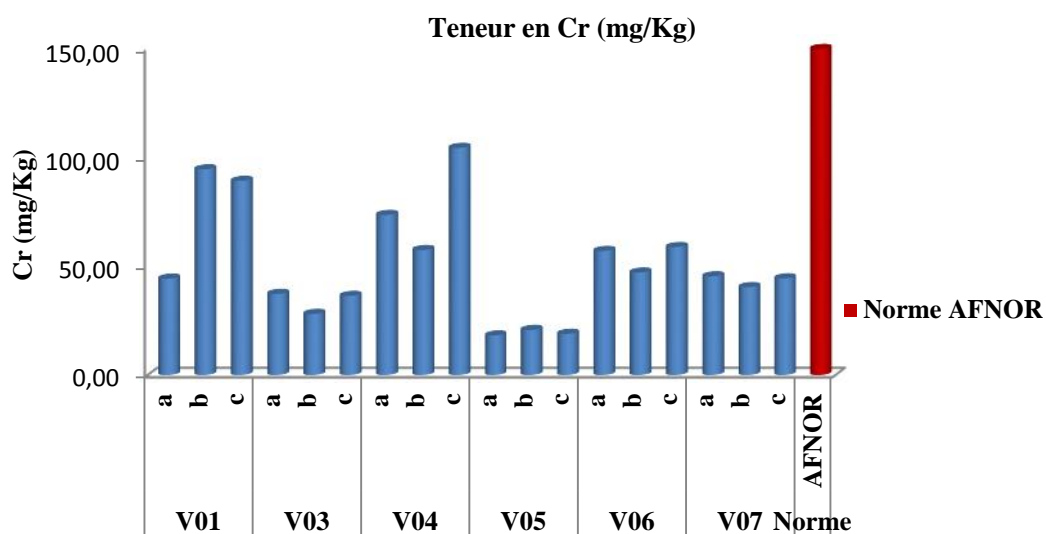
Les résultats obtenus sur les teneurs du Cr au niveau des six (06) parcelles en fonction de la profondeur sont présentés au (Figure 23). On a enregistré des teneurs entre 18,16 ppm à 104,53 ppm, indiquent une concentration moyenne en chrome dans la couche superficielle des horizons (0 à 10 cm) puis diminue dans le second horizon puis une augmentation vers le bas du profil dans les parcelles V03, V04, V06, V07. D'après **Fendorf (1995)**, le Cr se trouve dans le sol sous deux formes : Cr (III) et Cr (VI). Le Cr (VI) est largement transformé en Cr (III) dans les sols et les sédiments (favorisé en conditions anaérobies et pH bas). Le Cr (III) est relativement immobile tandis que Cr (VI) serait mobile. Dans le milieu naturel, seuls les oxydes de manganèse seraient capables d'oxyder le Cr (III) en Cr (VI). D'après **Juste et al.,(1995)**, le Cr est réputé comme présentant une très faible mobilité, qu'il ait une origine naturelle ou anthropique.

Dans l'horizon intermédiaire des deux parcelles V01, V05 on remarque que les teneurs faibles en cet élément mais sont élevées par rapport aux deux autres profondeurs. Il est à noter que cet élément migre peu des horizons aux horizons profonds (**Baize, 1997**) et que les rapports par voie atmosphérique sont limités (**Pereira et Sonnet, 2007**).

La concentration moyenne du Cr dans l'écorce terrestre serait de 100 et 200 mg/kg selon les auteurs. Mais cette concentration varie grandement selon le type de roches.

D'après (**Baize, 1997**) les roches magmatiques ultrabasiques (dunites, serpentine, péridote) sont connues pour être extrêmement riches en Cr (de l'ordre de 1500 à 3000mg/kg). Dans le cas des roches sédimentaires, (qui constitue l'environnement immédiat des sols étudiés), la teneur en Cr est beaucoup tributaire de la teneur en fer et, éventuellement, de la présence de minéraux détritiques riches en Cr (augite, serpentine). La concentration du Cr dans les sols varierait de l'état de traces à 2.4% (**Sittig, 1975 ; in AFEE, 1979**). D'après Rousseaux (1988), le maximum "normal" dans les sols est de 150ppm ; la moyenne est de 100ppm.

La concentration du Chrome enregistrés dans les parcelles étudiées sont inférieurs aux normes AFNOR (NFU 44-041) 150 ppm. Donc L'épandage des boues des stations d'épuration ne présente pas dans la situation actuelle de risque environnementaux et des effets nocifs pour la végétation et la chaîne alimentaire pour cet élément.



**Figure 23 : Variation du Chrome dans les parcelles étudiées en fonction des profondeurs**

#### III.1.4.Cadmium (Cd)

Les principales sources artificielles de dispersion du cadmium dans l'atmosphère, les sols et les systèmes aquatiques sont liées aux nombreuses activités industrielles et l'épandage d'engrais phosphatés faisant intervenir cet élément (Martin-Garin et Simon, 2004). La source de dispersion naturelle du cadmium dans l'atmosphère est principalement liée à l'activité volcanique. En agriculture l'apport de Cd dans le sol cultivés est essentiellement lié aux apports d'engrais minéraux de type superphosphate naturel (89%) et avec une moindre importance un peu à l'épandage des déchets urbains (7%) (Deneux-Mustin et al., 2003).

Les résultats obtenus sur les six (06) parcelles sont présentés dans (Figure 24) montrent des teneurs de très faibles valeurs en fonction des parcelles et les profondeurs prospectées. Les teneurs sont comprises entre 0,41 ppm à 0,83 ppm.

Dans les parcelles V04, V05 les teneurs sont élevées dans les horizons (0 à 10 cm) 0,83 /0,55ppm puis diminuent vers l'horizon (10 à 25cm) 0,69/0,42 ppm puis une légère augmentation pour le dernier horizon à 0,83 /0,55ppm.

Une augmentation des valeurs des teneurs enregistre dans la parcelle V01 de la surface vers le second niveau puis elle devient constante 0,69 à 0,83 ppm.

Dans les parcelles V03 et V06 les teneurs augmentent de la surface 0,55/0,75 ppm vers le second horizon 0,69/0,83 ppm puis elle diminue vers le dernier 0,59/0,75 ppm. Sur le long du profil dans la parcelle V07 les teneurs sont constantes 0,83 ppm. Le Cadmium est fortement adsorbé par les argiles, les matières organiques, les boues et les acides humiques avec lesquels il forme des complexes. Sa rétention par la phase solide croît exponentiellement avec le pH croissant (**Halen, 1993 ; Alloway, 1995**). Ceci implique que la distribution de Cd est tributaire des teneurs en carbone le long du profil du sol.

En d'autres termes la mobilité du Cd dépendrait largement du pH et du Eh, mais **Baize (1997)**, au cours de ses divers travaux, a pu constater plusieurs exemples de migrations en profondeur même en sols à pH neutre ou alcalin.

Dès que le pH du sol baisse, la mobilité, le transfert et l'accumulation du Cd qui en résultent sont favorisés, de même qu'ils le sont lorsque le sol est léger, riche en sable, pauvre en argile et matière organique. Lorsque le pH augmente la mobilité du Cd peut s'accroître au travers de la formation de complexes ou chélates mobiles. Sous ces conditions particulières, on démontre que l'absorption du Cd devient indépendante du pH (**Babich et al., 1978**). Tenant compte des résultats de pH des analyses pédologiques réalisées sur les sols de la région selon **Saadi (1970)**, le Cd se trouverait en situation de précipitation et non solubilisation.

Le cadmium existe dans le sol à très faibles doses (on compte en effet en centième de ppm), mais cet ETM est le plus redouté car très toxique. En outre, c'est l'ETM qui montrerait la plus grande variabilité spatiale (**Wopereis et al ; in Baize D.1997**) considéré comme assez mobile et assez facilement biodisponibles, il risquerait soit de passer dans la chaîne alimentaire par l'intermédiaire des végétaux soit de migrer en profondeur pour aller contaminer les nappes phréatiques.

La présence de Cd dans les sols fut attribuée principalement à des facteurs anthropiques, et de plus particulièrement à la pollution urbaine, la fertilisation des sols et l'épandage des boues d'épuration, selon les travaux d'Atteia et al, (1995).

Dans l'ensemble des parcelles étudiées les teneurs enregistré sur les différents horizons sont inférieure à 02 ppm la norme AFNOR (NFU 44-041). La pratique d'épandage des boues telle que réalisée actuellement sur les sols agricoles étudiés, engendre une accumulation de Cd à des teneurs ne présentant pas de risque environnemental.

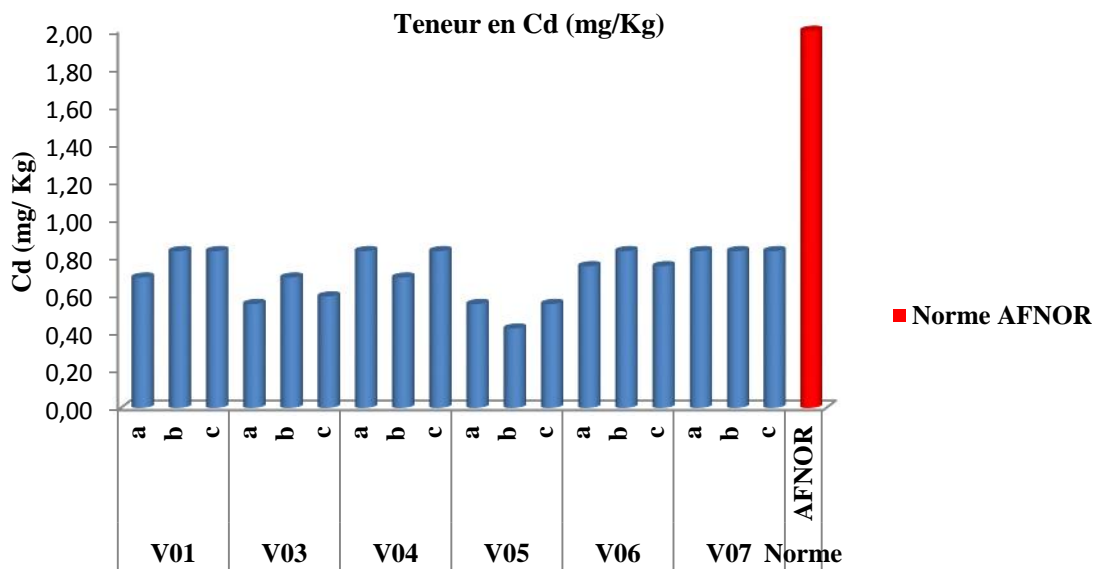


Figure 24 : Variation du Cadmium dans les parcelles étudiées en fonction des profondeurs

### III.1.5.Fer (Fe)

Le fer est un élément essentiel pour les végétaux supérieurs qui est impliqué dans des processus physiologiques essentiels tels que la photosynthèse et la respiration (**Marschner 1995**).

Les régions arides et semi arides, comme les régions méditerranéennes, sont caractérisées par une forte proportion de sols calcaires qui présentent une faible disponibilité en fer (Fe) et en zinc (Zn).

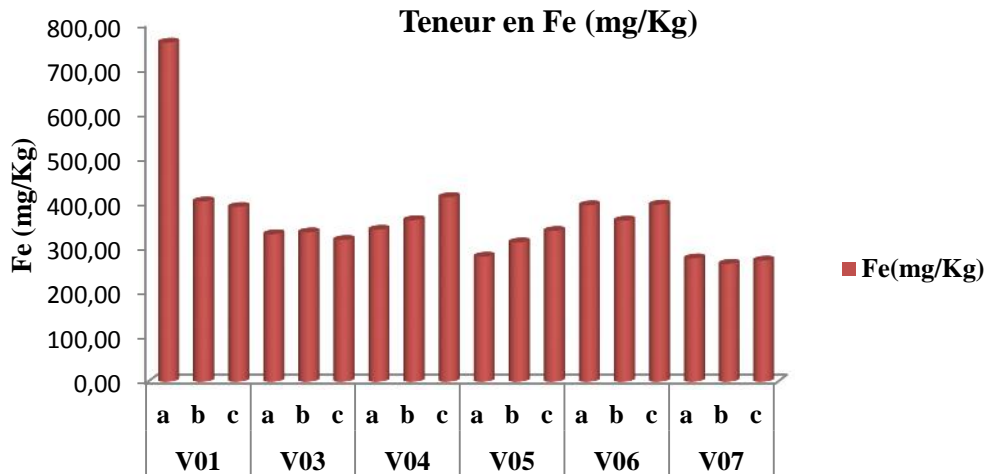
Les sols de notre zone d'études sont très riches en Fer. Les teneurs enregistrées (Figure 25) en cet élément en fonction des parcelles et la profondeur sont des valeurs très élevés et qui varient entre 264,00 ppm à 760,26 ppm.

Dans V01, les valeurs des teneurs diminuent de la partie superficielle 760,26 ppm (valeur maximal) vers les deux profondeurs 404 ppm, puis 391,44 ppm.

Dans les parcelles V04, V05 on remarque que les teneurs en fer augmentent en passant de la partie superficielles 340,41/280 ppm vers le second horizon 362,02 /312,13 ppm puis augmente vers le dernier horizon 413,63/337,70 ppm.

Les teneurs enregistrées dans les parcelles V06, V07, et V03 semblent plutôt stables en fonction de la profondeur, la variation des teneurs est inférieure à 10 ppm. (voir tableau) de l'horizon (0-10cm) 395,29 / 276,07 ppm vers le second 360,93 / 264 ppm puis augmente vers la profondeur 396 ,75 / 271,26 ppm.

Bien que cet élément soit abondant dans les sols, sa disponibilité est faible et diminue fortement avec l'augmentation du pH en raison de la faible solubilité des oxydes de Fe<sup>III</sup> (**Lindsay 1979**). Les concentrations de Fe soluble sont par conséquent généralement bien en dessous de celles requises pour une croissance optimale des plantes qui sont estimées à environ  $10^{-6}$  M, concentrations atteintes à des valeurs de pH inférieures à 3 (**Lindsay 1979 ; Ma 2005**). NB, les pH de nos sols sont assez neutre donc, le pH 3 est seulement indicatif.



**Figure 25 : Variation du Fer dans les parcelles étudiées en fonction des profondeurs**

### III.1.6. Nickel (Ni)

L'activité anthropique est une source importante du nickel, mais aussi les émissions des centrales et des incinérateurs, la combustion du Mazout, la production minière, la métallurgie et l'industrie de galvanisation ces sources sont communes à plusieurs activités industrielles.

Les résultats d'analyse des parcelles amendées par les boues résiduaire indiquent des concentrations du nickel variable en fonction des profils et les profondeurs (Figure 26) qui sont comprises entre 15,55 ppm à 53,55 ppm.

Les teneurs enregistrées sont variable d'une parcelle à l'autre et sont proches dans le même profil dans les parcelles V03 et V07 et à l'exception des parcelles V04, V01 en remarque une augmentation de la concentration vers le dernier horizon (25à 45cm), 52,30 ppm, 53,55 ppm, ce qui indique une possible accumulation de cet élément dans les couches profondes du sol. En effet dans les parcelles V06, V07 les teneurs en cet élément diminuent de la part superficielle vers le second horizon puis une légère augmentation vers le fond du profil.

Dans le sol, la mobilité du Ni est d'autant plus importante que le pH est faible. La biodisponibilité est fonction de la texture et la matière organiques dans la présence réduit la mobilité du Ni car il se trouve en grande partie lié au humines (Uren NC,1992).

D'après **Juste et al., (1995)**, la concentration en Ni des roches sédimentaires serait comprise entre 20 et 40 ppm. Elle dépasserait 100mg/kg dans les roches éruptives mais

serait très faible dans les roches granitiques (< 10ppm). Ni est présent à forte concentration dans les roches ferromagnésiennes où il se substitue partiellement au fer et au magnésium. Les valeurs représentent sont en majorités inférieures la valeur de la norme AFNOR 50 ppm à l'exception des deux horizons ( 0-10 et 25-45) cm de la parcelle V01 et le dernier (25 - 45) cm de la parcelle V04.

Il faut tenir compte la teneur réelle du sol et de l'évolution de cet élément en fonction du temps, de l'activité microbienne et racinaire. Cependant ceci montre que le risque encouru en termes de pollution en nickel semble faible à l'état actuel.

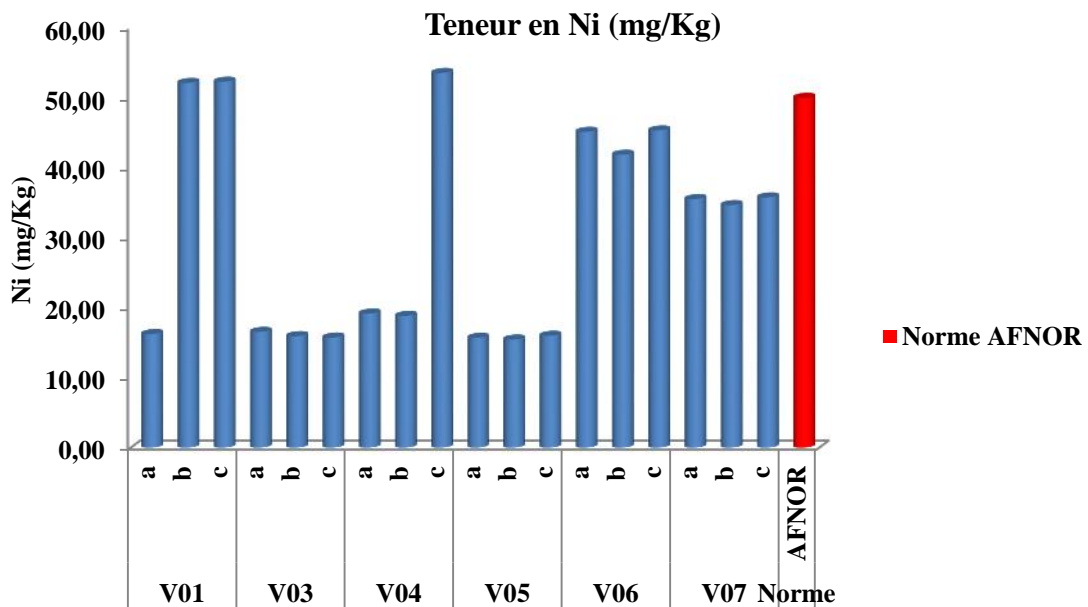


Figure 26 : Variation du Nickel dans les parcelles étudiées en fonction de la profondeur

### III.1.7.Plomb (Pb)

Le Pb dans le sol provient essentiellement en système non anthropisé de la roche mère. A l'heure actuelle la concentration de Pb des couches pédologiques mondiales est estimée en moyenne à 25ppm (de 22 à 28ppm pour la plus grande partie des sols, 44ppm pour les histosols) (**Kabata-Pendias and Pendias, 1992**).

Les résultats obtenus sur les parcelles étudiées (Figure 27) révèlent des teneurs dont les valeurs sont comprises entre 24,40 à 47,48ppm.

Dans la parcelle V01, V05 enregistre des valeurs faible, elle diminue en fonction de la surface vers les bas (30,97 / 29,12) ppm à (24,40 /26,64) ppm. Le Pb introduit dans le sol ne subit que peu de transformation et migre relativement peu à travers les différents horizons. Etant peu mobile, il reste généralement fixé à la partie supérieure du sol. Il n'est pas entraîné en profondeur par le lessivage, il en résulte un gradient de concentration selon la profondeur (**Impens, 1974 ; 1980**). Le Pb serait le micropolluant métallique le moins mobile dans le sol. Ainsi dans la gamme de pH de 5 à 9 et à concentration totale identique Pb serait 100 fois moins mobile que Cd. La grande affinité de la matière organique vis-à-vis de ce métal expliquerait l'accumulation préférentielle de ce métal dans les horizons de surface (**Juste et al., 1995**).

Dans les parcelles V04, V06, V07 les valeurs teneurs augmente en fonction de la profondeur de la surface vers le second horizon puis diminue vers la profondeur.

Dans la parcelle V03 on a une diminution de la partie superficielle vers le second horizon puis une augmentation vers le dernier horizon.

D'après **Juste et al. (1995)** de nombreux auteurs s'accorderaient pour affirmer que les sols non contaminés contiendraient de 10 à 30mg/kg (moyenne 15mg/kg) tandis que les sols situés loin des centres urbains et industriels mais affectés par des contaminations diffuses présenteraient des concentrations comprises entre 30 et 100 mg / kg

Des concentrations > 110ppm de Pb traduiraient l'existence d'une source polluante à proximité.

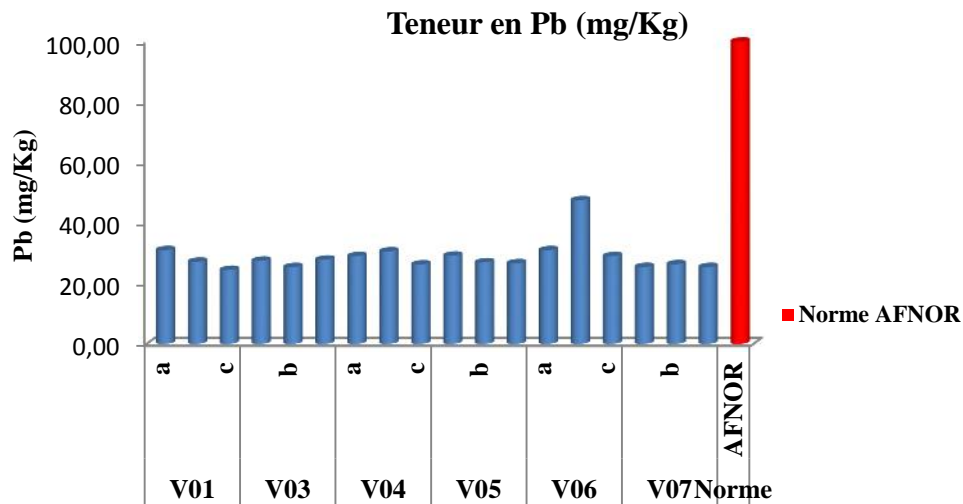
Les matières organiques et les argiles sont les phases les plus porteuses du plomb. La faible mobilité du Pb dans les sols provient en grandes partie de sa complexation avec les composés humique (**Johnson et Petras, 1998**). Le pH joue un rôle dans la mobilité du plomb. Plus le pH est faible plus le Plomb passe en solution. Le plomb peut être adsorbé

sur les parois cellulaires des microorganismes au même titre que les autres cations. Le transfert sol-plante étudié sur des parcelles amendées aux boues résiduaires montre que les légumes à feuilles ont un transfert 10 à 20 fois plus important que les légumes à racines comme la carotte (**Huang et Cunningham, 1996**).

Globalement les teneurs enregistrées sont des valeurs de faible concentration en cet élément dans la majorité des profils des parcelles étudiées la plus grande est de 47,48 ppm enregistrée dans l'horizon (10-25cm) de la parcelle V06. Ces valeurs sont inférieures si les on compare à celle de la norme AFNOR (100ppm).

Les faibles teneurs enregistrées sont dues à l'amendement insuffisant des quantités des boues résiduaires car d'après les données d'enquête (2014) réalisées on remarque que l'épandage a été fait d'une manière irrégulière avec de faibles quantités sur des fréquences longues (de 2009 à 2013).

Le Pb absorbé par les plantes est accumulé dans les racines car la translocation du Pb vers les parties aériennes est très limitée. De ce fait, la concentration du Pb dans les plantes sera inférieure à celle du sol (**Jonopy et Yong, 1993**).



**Figure 27 : Variation du Plomb dans les parcelles étudiées en fonction des profondeurs**

### III.1.8. Proportions de chaque élément par rapport à la quantité totale

D'après les résultats obtenus présentés dans (Figure 28) (somme des valeurs par chaque parcelle) on constate que les proportions des éléments trace métallique étudiés sont variables en fonction des parcelles.

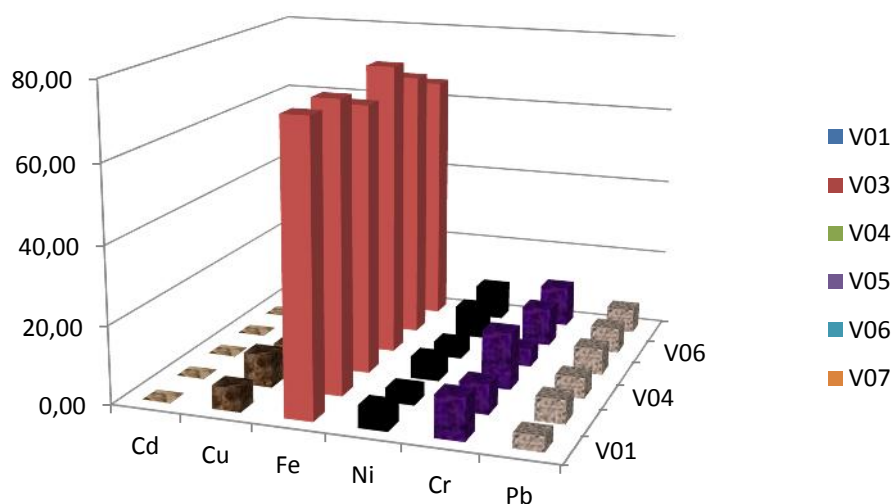
La quantité cumulée d'éléments traces métalliques (Cd, Cu, Ni, Cr, Pb) sont négligeables par rapport à celle du Fer (voir annexe 03), Ces quantités apportées par les boues au sol après (03 à 04 ans) d'épandage (ou sein d'un horizon) sont inférieures du flux maximum cumulé autorisé pour la plupart des éléments traces métalliques à l'exception du nickel Ni ou les quantités obtenues sont élevées avec toutefois une légère variabilité dans les parcelles V01 et V04.

L'origine de ces Teneurs est vraisemblablement causée par les rejets d'entreprise de traitement de surfaces présentes sur le bassin de collecte des eaux de l'oued qui sont utilisées dans l'irrigation de terres agricoles.

On tenant compte des proportions du Fer présentes dans toutes les parcelles étudiées, les valeurs enregistrées sont comprises entre 65,48 à 75,93 %) de la somme totale des résultats ; ces proportions sont supérieures au reste des éléments.

Le Chrome présente une valeur variée (07,66 à 14,61 %) en fonction de la parcelle qui est considéré comme l'élément le plus abondant de ces ETM à l'exception des parcelles V03

et V05 où le Cuivre est le plus abondant. (Si la culture de V3 et V5 se trouve être de la vigne, le cuivre peut probablement provenir des traitements contre le mildiou).



**Figure 28 : les proportions des ETM dans les parcelles étudiées**

### III.1.9. Quantités Totale des éléments traces métalliques

Les teneurs totales en éléments traces métalliques des différents parcelles (Tableau 18) peuvent être très variables au sein d'un même sol, d'un horizon à un autre, tout particulièrement dans le cas de sols à forte différenciation texturale (D Baize., 1997). Cependant des écarts apparaissent aléatoirement entre les valeurs des échantillons composites et celle du solum pour un même niveau. Le Fer présente des teneurs sensiblement plus élevées sans doute liées à l'origine parentale.

Dans les parcelles V01, V03, V05 et V07, les teneurs en cuivre et le plomb présentes dans la couche superficielle (0 à 10 cm) sont élevées par rapport aux niveaux inférieurs, c'est l'inverse dans V04, V06. Sont doute liées aux travaux agricoles (travail du sol, nature des amendements, nature et doses des engrais, fréquences et doses) d'irrigation conductivité hydrauliques des sols.

Les teneurs en nickel et chrome sont plus faibles dans l'horizon de la surface par rapport aux couches sous-jacentes ; surtout dans les parcelles V01, V04. En revanche autres parcelles la variabilité de la teneur en fonction de la profondeur du sol est très faible.

Globalement, les données enregistrées au (Tableau18) montrent une forte variabilité de la teneur en fonction de la profondeur du sol que pour les éléments Fe, Ni, Cu et Cr ; et ceci est spécifiquement observé sur les parcelles V01, V03, V04 et V07. Plusieurs facteurs édaphiques peuvent concourir pour favoriser ou ralentir le transfert d'un élément métallique vers les couches profondes du sol, notamment les teneurs en matières organiques, en carbonates, en oxyhydroxides et en argiles qui constituent des phases porteuses essentielles des métaux dans les sols.

Des teneurs élevées (somme) particulièrement pour le sol du V01 par rapport V06, V04, V03, V07, V05. Dont la teneur du Ni contenu dans la couche : 0-10 cm du V01 et V04 excède les limites recommandées par la norme AFNOR (N F U 44-041). Cependant les concentrations des autres éléments par horizon dans tous les sols ne dépassent pas les teneurs moyennes fixées par la même norme.

### **III.2.Corrélation entre les différents ETM**

Matrice des corrélations entre les teneurs en ETM (Cd, Cu, Fe, Ni, Cr, Pb) prélevés sur l'ensemble des parcelles étudiées.

Les résultats en gras, présente des valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha 0,05 (test bilatéral).

La matrice des corrélations indique les relations linéaires qui peuvent exister entre les ETM. On remarque que le Cr est très peu, voir pas, corrélé aux autres traces et que Cd n'est pas très lié à Cu et Pb, et les autres ETM (Ni, Cr, Cd) semblent positivement corrélés.

L'analyse de la matrice de corrélation permet de noter une faible corrélation entre les paramètres (élément en trace métalliques). Ces corrélations permettent de dire que ces paramètres sont gouvernés par le même mécanisme.

Ce mécanisme qui gouverne ces groupes des corrélations positives entre (Ni-Cd), (Cr-Cd), (Cr-Ni) (Tableau 20 et annexe 03, 04, 05), pourrait être dû à l'influence du pH dans l'adsorption de ces métaux sur la matière organique et l'adsorption qui entraîne une rétention des métaux lourds sur la matière organique (Corg et NTK), (**I. K. Kouane et al., 2006**).

### III.2.1. Relation entre le Cd et les autres éléments traces (Cu, Pb)

De manière générale, et comme il avait déjà été mentionné précédemment, on n'observe peu ou pas de corrélation entre Cd et les autres ETM, en particulier Zn, Cu ou Pb, métaux très associés à Cd dans le cas de pollution anthropiques. Deux raisons peuvent être invoquées pour expliquer ces mauvaises corrélations. La première concerne la méthode d'extraction utilisée : si  $\text{HNO}_3$  2M est suffisamment agressif pour extraire la presque totalité du Cd dans ce type de sols, ce réactif contenant HF et  $\text{HClO}_4$ . La seconde explication est liée à l'origine différente des métaux. Le cadmium provient quasi exclusivement de la dissolution de la phase carbonatée des roches. (**Benitez et Dubois, 1999**) ont également montré qu'il se trouve adsorbé sur les argiles et les oxyd-hydroxydes, complexé ou incorporé dans la matière organique. Dans ce cas, le traitement acide à chaud est visiblement suffisant pour la solubiliser. Au contraire, la plupart des autres métaux sont inclus dans les aluminosilicates constituant le résidu insoluble des carbonates. Sans utilisation d'acide fluohydrique. La dissolution des silicates sera incomplète et par conséquent, une partie des métaux ne sera pas mise en solution.

### III.3. Analyse statistique

Le tableau ci-dessous englobe les résultats des différents tests utilisés dans l'analyse statistique des données étudiés (Teneurs des ETM).

La normalité de la distribution des données a été vérifiée par le test Kolmogorov Smirnov, qui a révélé des valeurs de p-value supérieure  $> \alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), donc il y a une distribution normale des données des teneurs des éléments traces métallique dans les parcelles étudiées.

L'égalité des variances des données a été vérifiée par le test de Bartlett. Les valeurs obtenues de la p-value sont inférieure  $< \alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), donc ya pas d'égalité des variances pour l'élément étudiés.

Les conditions d'application de l'ANOVA sont pas vérifier suite à l'absence d'égalité des variances entre les différentes variables étudiées, donc on a recoure au test Kruskal-Wallis qui est un test non paramétrique pour la comparaison des moyennes entre les différents vergers objet de la présente étude.

- Hypothèse nulle : "H0 :  $\mu_i = \mu_j = \dots = \mu_n$
- Hypothèse alternative : "H1 : il existe au moins une moyenne différente des autres"

Le résultat du (tableau 21) pour le test de kruskal Wallis montre que :

- la comparaison des moyennes des différentes variables

- En fonction des horizons

✓ Les valeurs de la p-value sont supérieures à ( $\alpha=0,05$ ) pour tous les éléments étudiés, donc il y a absence d'une différence significative, les facteurs étudiés (profondeur) influent pas sur les teneurs des ETM.

- En fonction des parcelles (Vergers)

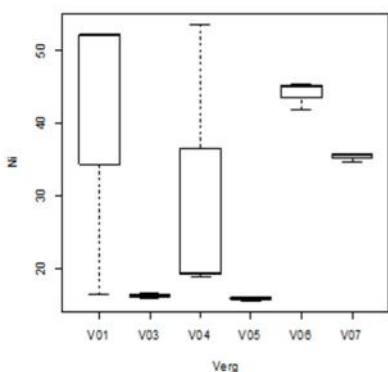
✓ Les valeurs de la p-value sont supérieures à ( $\alpha=0,05$ ) des éléments (Cu, Pb), absence d'une différence significative et présence d'une homogénéité dans les parcelles.

✓ . Les valeurs de la p-value sont inférieures à ( $\alpha=0,05$ ) des éléments (Cd, Fe, Cr, Ni), présence d'une différence significative et une hétérogénéité entre les parcelles.

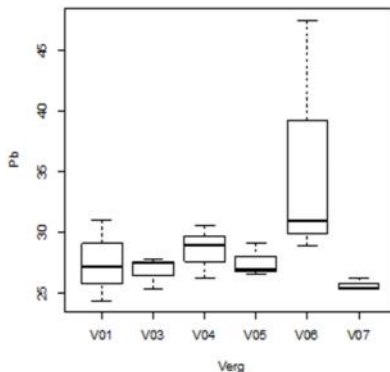
Pour approfondir l'analyse et distinguer les groupes homogènes des groupes hétérogènes, on a recouru à l'application du test Post Hoc de Kruskal à l'aide d'un package "Pgrimess". Les résultats obtenus sont présentés dans (Tableau 22).

III.3.1.Représentation graphique de la distribution de la normalité

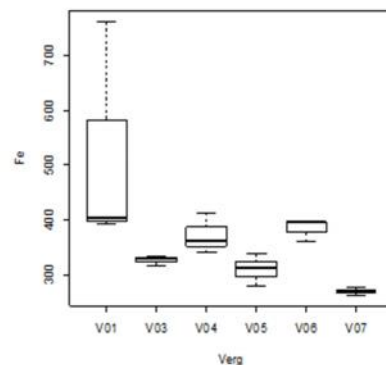
A)- En fonction des parcelles



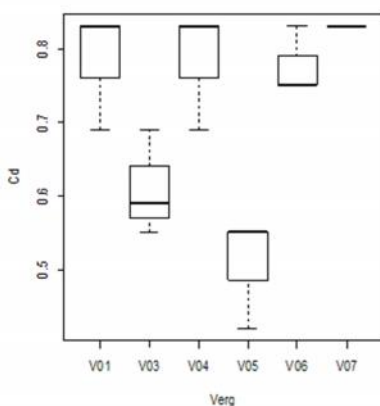
Box plot de la distribution de la normalité des teneurs du Ni en fonction des parcelles



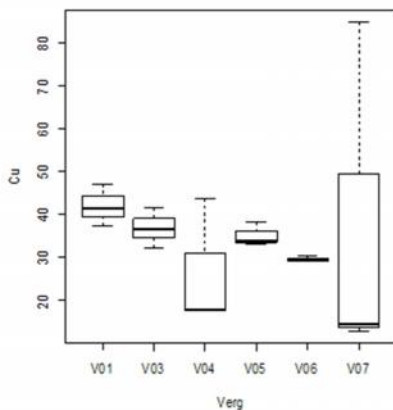
Box plot de la distribution de la normalité des teneurs du Pb en fonction des parcelles



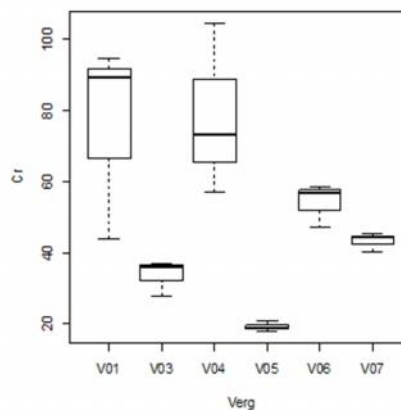
Box plot de la distribution de la normalité des teneurs du Fe en fonction des parcelles



Box plot de la distribution de la normalité des teneurs du Cd en fonction des parcelles



Box plot de la distribution de la normalité des teneurs du Cu en fonction des parcelles



Box plot de la distribution de la normalité des teneurs du Cr en fonction des parcelles

Figure 29 : Distribution de la normalité des teneuses des ETM en fonction des parcelles

B)-En fonction de la profondeur

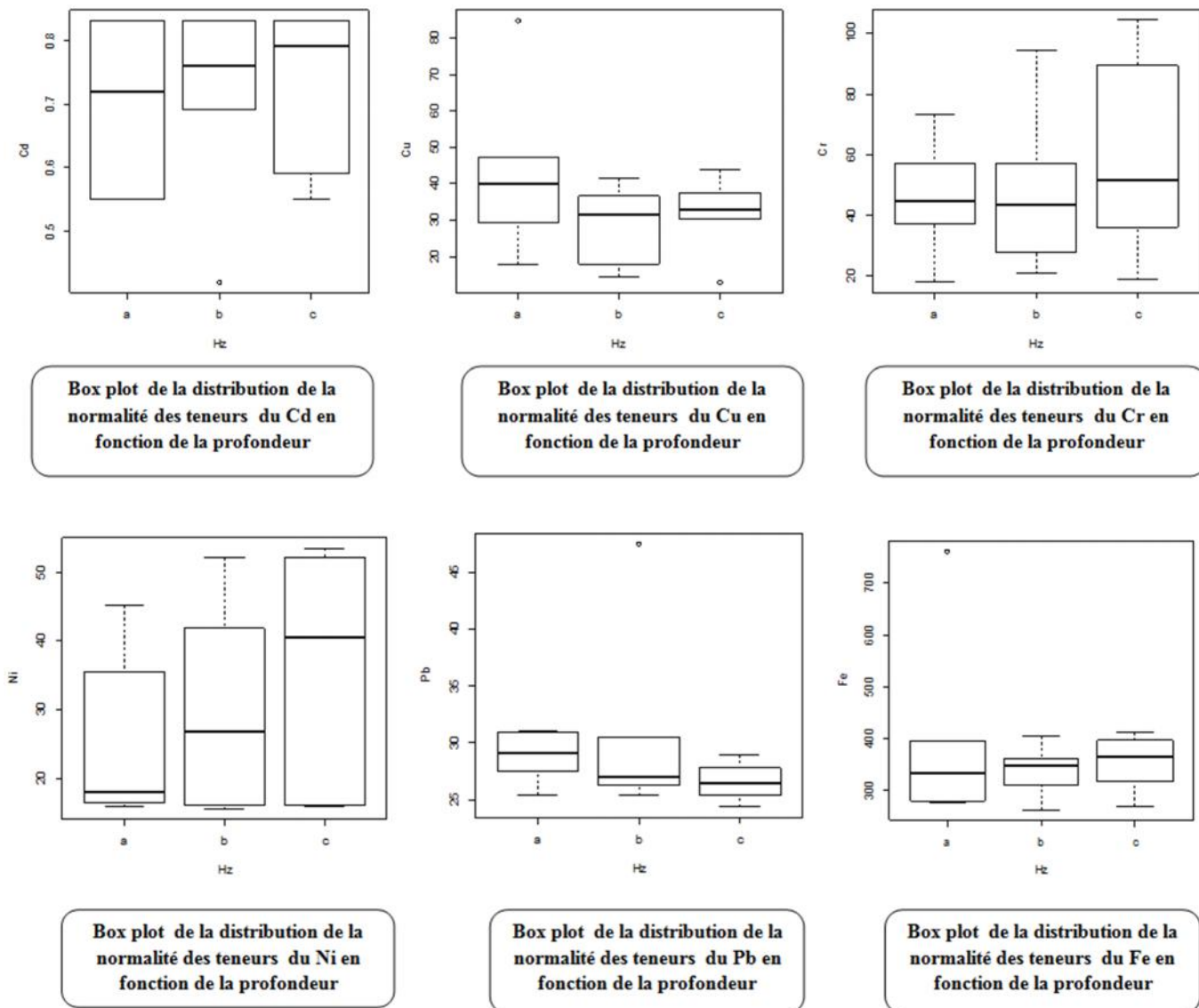


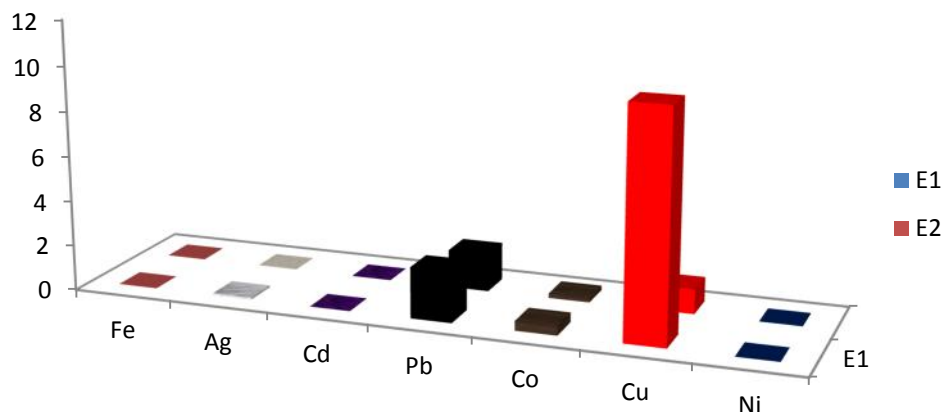
Figure 30 : Distribution de la normalité des teneurs des ETM en fonction de la profondeur

### III.4. Analyse d'eau d'irrigation

Les quantités d'éléments métalliques détectées dans les eaux d'irrigation (Tableau 23 et Figure 31) sont faibles par rapport à la norme (voir annexe 07), la quantité de Cu recueillie à la base de l'horizon (0-10 cm) de la V07 est de 84,72 ppm est due à l'accumulation de cet élément après plusieurs fréquences d'irrigation de l'eau utilisées (E01) avec une valeur de 10,04 ml qui est élevé par rapport à la norme admissible et (E02).

Si on compare Les quantités des élément de traces métalliques enregistre des eaux échantillonner on enregistre des valeurs légèrement variable et élevé dans l'eau du E01 par rapport à E02 pour les éléments Ag, Pb, Co, Cu, sauf pour le Fe une léger augmentation dans E2 que E1 et une valeur constante pour le Cd dans les (02) échantillons.

Cette augmentation des éléments dans E01 est due d'une part a l'activité industrielles pratique dans la zone de Oued Aissi par ces diversement vers le fond de oued, et d'une autre a la capacité du a l'épuration naturel vers les nappe phréatique et la retentions des ces éléments par sol pour E02.



**Figure 31: Teneurs des eaux d'irrigation en ETM**

### III.5. Effets du pH, granulométrie sur l'évolution des éléments traces métalliques

Le tableau (24) représente les résultats du pH, la granulométrie qui caractérisent les sols agricoles étudiées. Cependant La granulométrie des Six (06) surfaces correspond à une texture limoneuse, Argilo-limoneuse, limono-argileuse et toutes les zones sont dotées d'un pH faiblement alcalin à alcalin. Pour ce qui est concentrations des fractions métalliques dans le sol, les résultats révèlent (Tableau 18) parfois des teneurs faibles selon les parcelles du sol.

Le pH faiblement alcalin des sols étudiés, favorisent la rétention des métaux lourds présents dans les eaux d'irrigation par les particules d'argiles (Coic, Y. and M Coppenet. 1989), contenues dans les sols agricoles étudiés, ainsi pour la structure argileuse le maintien des éléments de traces métalliques se fait par adsorption via la formation de liaison covalente entre le métal et les groupes –OH terminaux de la surface du solide ou par adsorption par échanges d'ions basée sur la substitution ionique au niveau de l'espace lamellaire des argiles (ETM, MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE. 2007).

La concentration des fractions métalliques d'une zone à l'autre et leurs migrations vers la couche : 10-25cm, présente une fluctuation grâce aux propriétés physicochimiques des sols et des eaux d'irrigation (pH et granulométrie) (Tomgouani, K et al 2007).



**CONCLUSION  
GÉNÉRALE**

Notre travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des boues résiduaire issue de station d'épuration. L'étude porte sur les effets des boues sur les caractéristiques physiques et chimiques et les teneurs globale en élément traces métalliques des sols agricoles.

L'ensemble des analyses réalisées sur les sols de notre zone d'étude nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

✓ Les résultats obtenus montrent des teneurs en Cuivre (Cu) très variable en fonction des parcelles et des profondeurs prospectées. Elle présente des teneurs variant de 17,90 à 84,72 ppm, l'accumulation de cet élément dans les horizons superficiels que dans les profondeurs. Les apports des boues engendrent des teneurs en cuivre inférieurs à celles des eaux d'irrigation de l'Oued Sebaou qui ne pose pas des risques environnementaux pour le temps actuelle et qui nécessite un suivi de l'état d'évolution a long terme.

✓ Les teneurs en chrome varient de 18,17 à 104,53 ppm, présence et accumulation des concentrations dans les profondeurs que les couches superficielle des parcelles étudiées. Les apports de boues résiduaire ne présentent pas des risques environnementaux ou cours terme.

✓ Les teneurs du nickel sont variable en fonction des parcelles et de la profondeur de 15,55 à 53,55 ppm avec une accumulation vers la profondeur et le seuil du nickel (50 mg/kg) qui n'était pas dépassé dans l'ensemble des parcelles a l'exception du dernier horizon du V01, V04. Selon les résultats la pollution de ces sols doit être surveillée a long terme.

✓ Les teneurs de Fer (Fe) enregistrées dans l'ensemble des parcelles sont élevée varie entre 264 à 760,26 ppm d'une léger variabilité en fonction des parcelles et la profondeur qui nos donne une confirmation sur la nature des sols méditerranéenne qui sont riche en cet élément.

✓ Les teneurs en Plomb enregistrée dans les parcelles étudiées sont des valeurs faible et variable d'une parcelle à l'autre, la plus grande est de 47,48 ppm, l'apport des boues et l'utilisation des eaux des Oued Aissi pour l'irrigation des cultures ne pose pas des risques environnementaux ou temps actuel mais qui consiste un suivi permanant de son évolution.

✓ Les concentrations en Cadmium (Cd) d'une légère variabilité en fonction des parcelles et de la profondeur avec des valeurs faible entre 0,42 à 0,83 ppm. La contrainte d'avoir un

risque de pollution dans ces sols par l'utilisation des boues résiduaires comme amendement et l'eau de l'Oued est non suggéré.

✓ L'évolution verticale des concentrations de ces métaux au niveau des profils de sols montre que ceux-ci sont plus abondants dans les couches superficielles riches en matières organiques, et dans les sols argileux et limoneux.

Les zones d'étude révèlent des concentrations métalliques non excédant les seuils recommandés par la norme AFNOR (N F U 44-041), pour Cu, Cr, Cd, Pb, Fe au niveau de toutes les surfaces agricoles sauf pour le Ni qui relève une concentration excédent au horizon (25 à 45 cm) dans les parcelles V01, V04.

La matrice de corrélation montre que les éléments traces métalliques dans le sol des parcelles étudiées sont peu corrélés entre eux. Présence des corrélations positive entre les éléments (Cr-Cd, Cr-Ni, Cd-Ni).

L'utilisation a long terme des eaux de surface de l'Oued Sebaou (E01) pour irriguer les cultures, génères plus de risque de pollution en ETM par rapport à l'usage des eaux souterraine (E02).

le suivi des teneurs totales en éléments traces métalliques des sols ayant reçu régulièrement, pendant 03 à 04 ans , des boues résiduaires urbaines à des doses non raisonnées ne permet pas de mettre en évidence l'accumulation dans le sol des éléments traces métalliques apportées .la variabilité des mesures , tant au niveau des répétition que de leur évolution incohérente dans le temps, en particulier pour les parcelles, limite la mise en évidence des faible augmentation des teneurs en élément de traces métalliques des sols. Cependant la présence des métaux lourds constitue une contrainte dans la conséquence est la pollution des sols et les rendre inadéquat à l'exploitation agricole.

Dans l'objectif d'approfondissement de travail de détermination de l'effet d'application des boues résiduaires sur les caractéristiques des sols, quelques recommandations pratiques basées sur notre travail peuvent être énoncées :

Des travaux de caractérisation des boues résiduaire

Il apparaît de façon évidente que l'emploi des boues résiduaire dans le domaine agricole est tout à fait envisageable. Cependant, en raison de la position de l'opinion publique vis-à-vis du produit, il faudra probablement développer une stratégie qui permettra de se démarquer de

l'historique des boues résiduaire. Les résultats de cette étude montrent que les boues peuvent constituer une solution à la pauvreté de la réserve humique et minérale du sol leurs emplois permettraient également d'améliorer de manière notable la production des cultures tout en améliorant la qualité physico –chimique du sol, peuvent constituer un remplaçant d'une partie des engrais minéraux.

La compréhension de la disponibilité de ces éléments (ETM) provenant d'une contamination en fonction de la composition du sol, reste un thème de recherche important. Les essais de long durée, avec des apports raisonnés constituent un outil intéressant pour préciser le seuil au –delà duquel l'accumulation d'éléments traces métalliques aura des incidences sur la qualité des sols et des cultures ainsi les risques toxicités

Avant toutes utilisation, il est souhaitable de quantifié les teneurs en métaux lourds a fin d'éviter les risques de pollution des sols, ainsi que les risques de toxicité qui peuvent engendrés sur les végétaux.

Une augmentation du nombre d'échantillons et de répétition à analyser pour pouvoir améliorer la précision de l'analyse statistique.

Un diagnostic hydrologique, pédologique et biologique est à inclure dans l'étude de mise en place du plan d'épandage pour déterminer l'aptitude des sols à l'épandage ainsi prévenir les risques pathogènes.

**RÉFÉRENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références Bibliographiques

---

- **Abiven, S., (2004).** Relation autres matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol. Thèse de doctorat de l'EMSA. 228p.
- **Adriano, D.C., (2001).** Copper. In trace elements in terrestrial environments, biogeochemistry, bioavailability, and risks of metal, Ed D C Adriano. pp 499-546.
- **AFNOR, (1985):** NFU 44-041, Matières fertilisante, Boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines. Norme française homologuée par décision du Directeur Général de l'afnor le 11 juin 1985 pour prendre effet le 11 juillet 1985. Remplace la norme expérimentale de même indice d'août 1975.
- **Alloway, B. J., (1995).** Heavy metals in soils. Blackie academic and professional, London. 368 p.
- **Amadj.M & Boudjemai.A., (1991) :** Contribution à la cartographie des sols de la ferme pilote arboricole de Tademaït (Tizi-Ouzou). Essais d'évaluation des aptitudes culturales pour deux types d'utilisation des terres : poirier et tomates.
- **Atteia O., Thélin Ph., Pfeifer H.R., Dubois J.P., Hunziker J. C., (1995).** A search for the origin of cadmium in the soil in the swiss Jura. *Geoderma*, 68 149-172.
- **Aubert G. et Boulaine J., (1980).** La pédologie. Paris, PUF, coll. « Que sais-je ? », 128p.
- **Baize D., (1997) :** Guide des analyses en pédologie (France). INRA Editions, 7,51-52,120-123 p.
- **Baize D., (1997).** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). INRA Edition 1997.
- **Baize Denis., (1994).** Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français premiers résultats du programme ASPITET, Courrier de l'Environnement de l'INRA n°22.
- **Baize, D., Tercé. M., (2002).** Les éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales. INRA Editions, Paris, 565 p.
- **Bagnouls., Gausson., (1953):** Saison et indice xérothermique. Doc. Cart. Prod. Vég. Serv. Gén. II, 1, art. VIII, Toulouse.
- **Balesdent J., (1996).** Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France. Étude et gestion des sols, 3 (4) : 245-260.
- **Baron, D.; Stanley, S.T., Palmer, C.D., (1996).** Identification of two, iron-chromate precipitates in a Cr (VI) concentrated soil. *Environ. Sci. Technol.*, 30, 964-968.

- **Benitez N., Dubois J.-P., (1999).** Evaluation of the selectivity of Sequential Extraction Procedures applied to the Speciation of Cadmium in Soils. *Int. j. environ. Anal. chem.*, 74, 289-303.
- **Benmouffok A. (1994) :** Caractérisation et valorisation des boues résiduaires de Draa Ben Khedda . *cah. Agric.* 3<sup>ème</sup> édition J.L Euro texte .P297.
- **Berthelin, J.; Leyval, C.; 2000.** Contamination des milieux par les éléments en traces. Les conséquences sur les sols et les eaux superficielles. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 86, 25-37.
- **Bourbia. S., (1996).** Contribution à l'étude de la dynamique du potassium dans les sols alluviaux de la région de Tadmait. Thèse Mag, 118p.
- **Bourelhier P.H., Berthelin J., (coord.), (1998).** Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion. Académie des sciences, rapport n°42. « tec et Doc », Lavoisier, Paris, 440p.
- **Chamayou H., Legros J.P. (1989) :** Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la Science du Sol; Presses Universitaires de France.
- **Chang A.C., Granato, T.C., Page, A.L., (1992).** A methodology for establishing phytotoxicity criteria for Cr, Cu, Ni, and Zn in agricultural land application of municipal sewage sludges *J. Environ. Qual.*, 21, 521-536.
- **Caussy, D., M. Gochfeld, E. Gurzau, C. Neagu and H. Ruedel. (2003).** Lessons from case studies of metals: investigating exposure, bioavailability, and risk. *Ecotoxicology and environmental Safety* .56(1): 45-51.
- **Certu., 2004.** Rapport d'étude sur terrain. Comparaison de méthodes d'analyse des éléments traces métalliques ETM et des hydrocarbures aromatiques polycycliques sur les sols et les végétaux.
- **Cherfouh, R. & L. Ghomras., (1991).** Occupation des sols et essais d'évaluation des aptitudes culturales pour trois types d'utilisation des terres. Figuier, blé, luzerne dans la région de Chaib FREHA plaine de haut Sébaou (wilaya de Tizi-Ouzou).
- **Coic, Y. and M. Coppenet ,** Les oligo-éléments en agriculture et élevage, incidences sur la nutrition humaine. INRA Editions, Paris, 1989
- **Dellas J. (1977):** l'entretien du taux de matière organique des sols en viticultures. *R.V* .n°11, Edition INRA. Bordeaux, 4p.
- **DEGREMENT., (1998) :** Station d'épuration de Tizi-Ouzou. Notice de fonctionnement et d'exploitation.

## Références Bibliographiques

---

- **Deneux-Mustin S., Roussel-Debet S., Mustin C., (2003).** Mobilité et transfert racinaire des éléments traces : influence des micro-organismes du sol ; Pref. Elisabeth Leclerc-Cessac. Paris : Tec et Doc.
- **Denys S. (2002).** Modèles de transfert sol-plante des polluants organiques. Tomes1 : Revue bibliographique. Rapport INERIS DRC-02-41200/DESP-R21a.ue Etude et gestion des sols. P6, 1, 1999. P 9-13.
- **Donahy R., (1958).** Nature des sols et croissance végétale. Ed. D'organisation. Paris. 312p.
- **Dridi B., Toumi C., (1986) :** influences d'amendement organique et d'apport des boues sur les propriétés d'un sol cultivé. Rev.
- **Duchauffour (ph.), (1983) :** Pédogenèse et classification Ed. Masson Paris 491p.
- **Dudkowski., A. (2000).** l'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines, INRA Août 2000.
- **Duthil J., (1973).** Eléments d'écologies et d'agronomie: exploitation et amélioration du milieu, bases d'une nutrition efficace du végétal. Volume 2. J.B. Edi. Bailliere et Fils, paris, 265 pages.
- **Éléments traces métalliques -** Guide méthodologique. Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines, 2008, MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, FRANCE.
- **Fendorf, S.E., (1995).** Surface reactions of chromium in soils and waters. *Geoderma*, 67, 55-71..
- **Flores-Velez L., Ducaroir J., Jaunet M., (1996).** Study of the distribution of copper in acid sandy vineyard soil by three different methods. *Eur. J. Soil Sci.*, 47.
- **Jeannot, R. ; Lemièrre, B. ; Chiron, S. (2001).** Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués. BRGM, document 298.
- **Johnson CE, Petras R. J., (1998).** Distribution of zinc and lead fractions within a forest Spodosol. *Soil Sci Soc Am J*,62:782-789.
- **Jopony M, Young S., (1993).** Assessment of lead availability in soils contaminated by mine spoil. *Plant Soil*, 151: 273-278.
- **Juste C., Chassin P., Gomez A., Linères M., et Mocquot B., (1995).** les micropolluants métalliques dans les boues résiduares des stations d'épuration urbaines. ADEME.209 p.

## Références Bibliographiques

---

- **Halen H., (1993).** Distribution et cinétique de mobilisation du cadmium dans le sol  
Thèse, Louvain-la-Neuve, 151 p.
- **Henderson, T.; (1994).** Geochemical reduction of hexavalent chromium in the trinity sand aquifer. *Groundwater*, 32, 3, 477-483.
- **Hillal D., (1974).** L'eau et le sol : principes et processus physiques. Poly académie. Press. Neuyourk. 357p.
- **Hlavackova Petra. (2005).** Evaluation du comportement du cuivre et du zinc dans une matrice de type sol à l'aide de différentes méthodologies. 2005.
- **Huang J. w., Cunnigham S.d. 1996.** Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New phytol.*, 134, 75-84.
- **Impens R., Bauduin m., Delcarte E., Barideau L., (1989) :** la présence des métaux lourds est un obstacle au recyclage de la matière Organique en Agriculture, Units. Ens. Rech. Biol. Veget., fac. Sci. Agro., Gembloux, 13 p.
- **Gabtani N., Gallali T. (1988) :** Etude expérimentale des interactions entre éléments métalliques et la minéralisation de la matière ajoutée à un sol. Cah Oronston, ser, pédo. VOL XXIV. n° 3255.216.
- **Gaillard, J.F., Jeandel, C., Michard, G., Nicolas, E., Renard, D., (1986).** Interstitial water chemistry of Villefranche Bay sediments: trace metal diagenesis. *Mar. Chem.* 18, 233–247.
- **Garrec, N.,et al, (2003).** Occurrence of listeria sp. And l.monocytogenes in sewage sludge used for land application: effet of dewatering, liming and storage in tank on survival of listeria species. *FEMS immunol. Med. Microbiol*, 275, 353-28.
- **Gomez Palacios, J. M., Puiz de Apodaca, A., Rebello,C. et azcarate, J. (2002)** European policy on biodegradable waste : a management perspective, *water science and technology*, 46, (10), pp. 311-318.
- **Grissa H. et Ben Khedher M., (2000) :** Culture maraîchère. Principes de base en agriculture biologique. Centre technique de l'agriculture biologique. 33p.
- **Kaki K., Kitamura S., Shirakashi T., Kuriyama M., (1986):** Camparison of mucilage polysaccharides extracted from sewage activated sludge. *J ferment. Technol*, p 64, 1, 51-56.
- **Kabata-Pendias A and Pendias H (1992).** Copper. In: Trace elements in soils and plants, 2nd Edition, CRC Press, pp. 95–108
- **King L.D., Morris H.D., (1972):** land disposal of liquid sewage sludge.-J. *Envir. Qual.*, pp.325-329.

- **Klopffer w., (1996):** Environmental hazard assessment of chemicals and products. Part V. anthropogenic chemicals in sewage sludge. *Chemosphere*, p33, 1067-1081.
- **Lambkin D., et al (2004):** The importance of precision in sampling sludges , biowastes and treated soils in a regulatory framework trends in Analytical chemistry, p 171, 10-19.
- **Lega, R., Ladwig, G., Merez, O., Clement, R.E., Crawford, G., salami, R., Jones, Y., (1997).** Quantitative determination of organic priority pollutants in sewage sludge by GC/MS. *Chemosphere*, 34, 1705-1712.
- **Lindsay W. L. (1979).** Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons. 449 p.
- **Loue A., 1993.** Les oligo-éléments en agriculture (2nd Ed). SCPA, Agri-Nathan International, Paris, 577 p.
- **Lounici N, (1980) :** essai de valorisation des fientes déshydratées comme amendement organique en culture maraîchères ; Thèse ing. INAA, pp 14-17, 55-60.
- **Lund U., Fobian A., (1991).** Pollution of two soils by arsenic, chromium, and copper. Denmark. *Geoderma*, 49, pp. 83-103.
- **Ma J.F. (2005).** Plant root responses to three abundant soil minerals: silicon, aluminum and iron *Critical Reviews in Plant sciences* 24, 267-281.
- **Marinussen, M.P., J. C. van der Zee, E.A. Sjoerd, T. M. de Haan, A.M. Frans (1997).** Heavy metal (copper, lead, and zinc) accumulation and excretion by the earthworm, *Dendrobaena veneta*. *Journal of Environmental Quality* 26 :278-284.
- **Marschner, H. (1995).** Mineral Nutrition of higher Plants. 2 nd Ed. Academic Press.
- **Martin-Garin A, Simon O., (2004),** Fiche radionucléide, Cadmium 109 et environnement. Direction de l'environnement et de l'intervention. Services d'étude du comportement des radionucléides dans les écosystèmes, 2004.
- **McBride M.B., (1981)** Forms and distribution of copper in solid and solution phases of soil. In: *Copper in soils and plants*. Eds Loneragan JF, Robson AD and Graham RD, Academic Press, pp. 25–45.
- **McBride M.B., (1989)** reactions controlling heavy metal solubility in soils. *Advances in Soil Science* 10,1–56.
- **McBride M.B., Bouldin D.R., (1984).** Long-term reactions of copper(II) in a contaminated calcareous soil. *Soil Science Society of America Journal* 48, 56–59
- **McBride, M.B., (2003).** Toxic metals in sewage sludge amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks?. *Advances in Environmental research*, 8, 5-19.

- **Michaud AM, Bravin M., Galleguillos M and Hinsinger P. (2007).** Copper uptake and phytotoxicity as assessed in situ for durum wheat (*Triticum turgidum durum L.*) cultivated in Cu-contaminated, former vineyard soils. *Plant and Soil*, DOI 10.1007/s11104-007-9343-0.
- **Mesrouk, (1984) :** Caractérisation et genèses des sols de la région de Tizi-Ouzou, Grande Kabylie. Thèse de doctorat. Univ de Genk, Belgique, 180 p.
- **Monniers G., (1965) :** Action de la matière organique sur la stabilité structurale du sol. *Ann. Agron.* Pp 527-534.
- **Morel J.L., Jaquin F. (1980) :** influence des boues des stations d'épuration sur les propriétés physiques du sol. In : symposium EAS utilisation agricole des boues provenant des stations d'épuration, Bale, suisse.
- **Nicholson, R.V., et al.(2003).** Integration of field data and a geochemical transport model to assess mitigation strategies for an acid-generating mine. In: *Proceedings, Sudbury 2003: Mining and the environment.*
- **Nriagu, J. O. (1979).** Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere (résumé).
- **ONM (Office National de la Météorologie) de Tizi-Ouzou :** température et précipitation pour la période (2003-2013).
- **Ouali, K., Radja L., (2014).** Identification des exploitations et détermination des propriétés physiques et chimiques des sols dans la wilaya de Tizi Ouzou. Thèse Ing. 88p.
- **OTV., (1997) :** Traiter et valoriser les boues. Collection N°02, Edition technique et documentation. LAVOISIER.
- **Pagotto, C., (1999).** Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier. Thèse de doctorat, Université de Poitiers, 252p.
- **Parr, J.F., (1973):** nature and significance of inorganic transformation in tile drained soil. *Soil and fertilizers.* N°32. pp 411-415.
- **Pereira B., Sonnet P., (2007):** La contamination diffuse des sols par les éléments traces métalliques en région Wallonne. Rapport analytique 2006-2007, 27 p.
- **Pérez, S., Guillamon, M., Barcelo, D., (2001).** Quantitative analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in sewage sludge from wastewater treatment plants. *Journal of Chromatography A*, 938, 1-2, 57-65.

## Références Bibliographiques

---

- **Rousseaux P. (1988).** Les métaux lourds dans les ordures ménagères : origines, formes, chimiques, teneurs. Etude ANRED-Ministère de l'Environnement, 1988.
- **Ribiero R.M., Moureaux C. et Novicoff A., (1976) :** Etude comparative de l'altération des différents minéraux constituant d'une diabase. Cah. O.R.S.T.O.M. Vol XIV. N°2, pp 161-168.
- **Saadi, N. (1970) :** Etude agro pédologique des plaines alluviales de la vallée Du Sébaou. Thèse .Service de l'Hydraulique de Tizi-Ouzou, 196p.
- **Sabey B.R., Hart W.E., (1975):** Land application of sewage sludge, effects on growth and chemical composition of plants.- J. Envir.Qual., 4, pp.252-256.
- **Schwertmann U., (1991).** Solubility and dissolution of iron oxides. Plant and Soil 130, 1–25.
- **Sahlstrom, L., Aspan, A., Bagge, E., Than M.L.D., Albihi, A., (2004).** Bacterial pathogen incidences in sludge from Swedish treatment plants. Water Research, 38, 1989-1994.
- **Sahnoun M., (1986) :** Contribution à l'étude des litières de volailles comme amendement organique en cultures maraîchères, sous trois étages bioclimatiques (subhumide, semi-aride et saharien) en Algérie. Thèse magister. INAA, p39-63.
- **Sauvé S, McBride M.B, Norvell W.A and Hendershot W.H., (1997).** Copper solubility and speciation of in situ contaminated soils, Effects of copper level, pH and organic matter. Water Air Soil Poll. 100, 133–149.
- **Soltner D., (1979) :** les bases de la production végétale, le sol.
- **Soltner D., (2003).** Les bases de la production végétale. Tome I . le sol et son amélioration. Les collections sciences et les techniques agricoles. 23<sup>ème</sup> Ed. Paris. 472p.
- **Spinosa, L. (2001).** Evolution of sewage sludge regulations in Europe, Water science Technology, 44,(10),pp.1-8.
- **Suh, Y.J. et Roussaux, P. (2002).** An LCA of alternative waste water sludge treatment scenarios, Resources, conservation and Recycling, 35, pp. 191-200.
- **Tomgouani, K., K.E. MEJAHED, and A. BOUZIDI, (2007).** Evaluation de la pollution métallique dans les sols agricoles irrigués par les eaux usées de la ville de Settat (Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, 2007: p. 89-92
- **Uren N.C. (1992).** Forms, reaction and availability of nickel in soils. Adv Agron, 48:141-203.

## Références Bibliographiques

---

- **Yakoub B. (1996)** : Les problèmes de l'eau en Kabylie. Le bassin versant du Sebaou et de la wilaya de Tizi Ouzou. Edition UTO. 210 p.
- **Vulkan R, Zhao FJ, Barbosa-Jefferson V, Preston S, Paton GI and McGrath SP (2000)**. Copper speciation and impacts on bacterial biosensors in the pore water of copper contaminated soils. *Environ. Sci. Technol.* 34, 5115–5121.
- **Warman P.R., Termeer, W.C., (2005)**: evaluation of sewage sludge, septic waste and sewage sludge compost application to corn and forage: Yields and N, P, and K content of crops and soils. *Bioresour. Technol.*, in press.
- **Wong L., Henry j. g, (1985)**. Biological removal and chemical recovery of metals from sludges. *Proc. Ind waste Conf.*, 39 th, (1985) 515-520.
- **Zebarth B.J., Mcdougall R., Neilsen G., Neilsen D., (2000)**: Availability of nitrogen from municipal sewage sludge for dryland forage grass. *Can. J. Plant Sci*, p 80, 575-582.
- [www.Certu.fr](http://www.Certu.fr).
- [http://www.science\\*en\\*ligne/DIST/Data/Ressources/Lic2/chimie/Chi\\_exp/materiel/montages/filtration.htm](http://www.science*en*ligne/DIST/Data/Ressources/Lic2/chimie/Chi_exp/materiel/montages/filtration.htm).
- **Devalance j. p. 1995**- charbons actifs- *Bull. Un. Phys.*, 773, p. 703-711.

# ANNEXES

**Annexe 01 : Teneurs et flux des éléments traces pour les boues et pour les sols en France selon l'arrêté du 8 janvier 1998.**

ETM	Teneur dans les boues		Teneurs dans le sol	
	Valeurs limites (g/Kg MS)	Flux maximum cumulé en 10 ans (g/m)	Valeurs limites (mg/Kg Ms)	Flux maximum (g/ha/an)
<b>Cd</b>	20*	0,03**	2	15
<b>Cr</b>	1000	1,5	150	1200
<b>Cu</b>	1000	1,5	100	1200
<b>Hg</b>	10	0,015	1	12
<b>Ni</b>	200	0,3	50	300
<b>Pb</b>	800	1,5	100	9000
<b>Zn</b>	3000	4,5	300	3000
<b>Cr+Cu+Ni+Zn</b>	4000	6		4000

\* 10 mg/kg MS à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2004

\*\* 0,015 g/m<sup>2</sup> à compter du 1<sup>er</sup> Janvier 2001

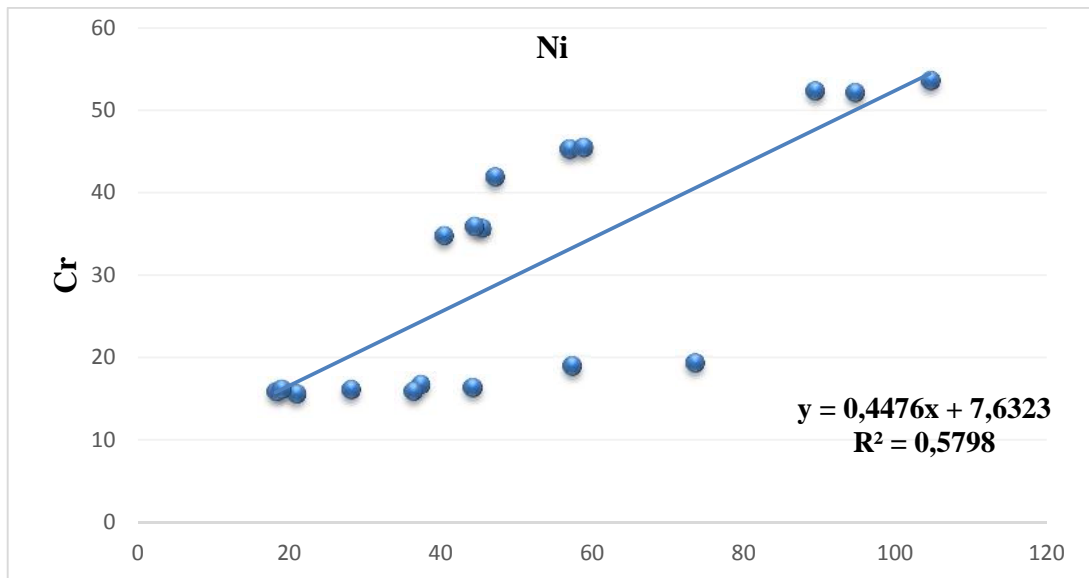
**Annexe 02 :**

✓ NF X 31-101 : Qualité des sols. Préparation d'un échantillon de sol pour l'analyse physico-chimique. Séchage, émottage et tamisage à 2mm. Novembre 1992.

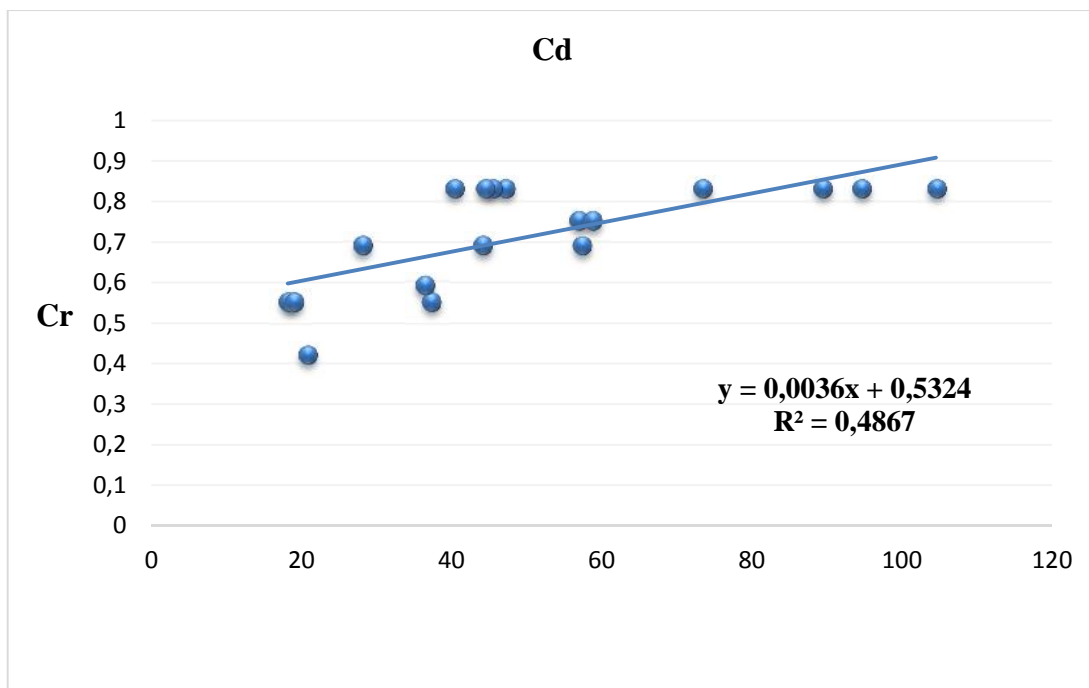
**Annexe 03 : Teneurs totale des ETM dans les parcelles étudiées**

Par/ETM	Cd	Cu	Fe	Ni	Cr	Pb	Somme ETM
<b>V01</b>	2,36	126,10	1555,71	120,76	228,19	82,51	2115,63
<b>V03</b>	1,84	110,43	982,28	48,52	101,46	80,67	1325,20
<b>V04</b>	2,36	79,45	1116,06	91,74	235,28	85,74	1610,62
<b>V05</b>	1,53	105,31	929,82	47,45	57,72	82,70	1224,54
<b>V06</b>	2,33	88,98	1152,96	132,43	162,55	107,39	1646,64
<b>V07</b>	2,50	112,11	811,34	106,09	129,83	77,11	1238,98

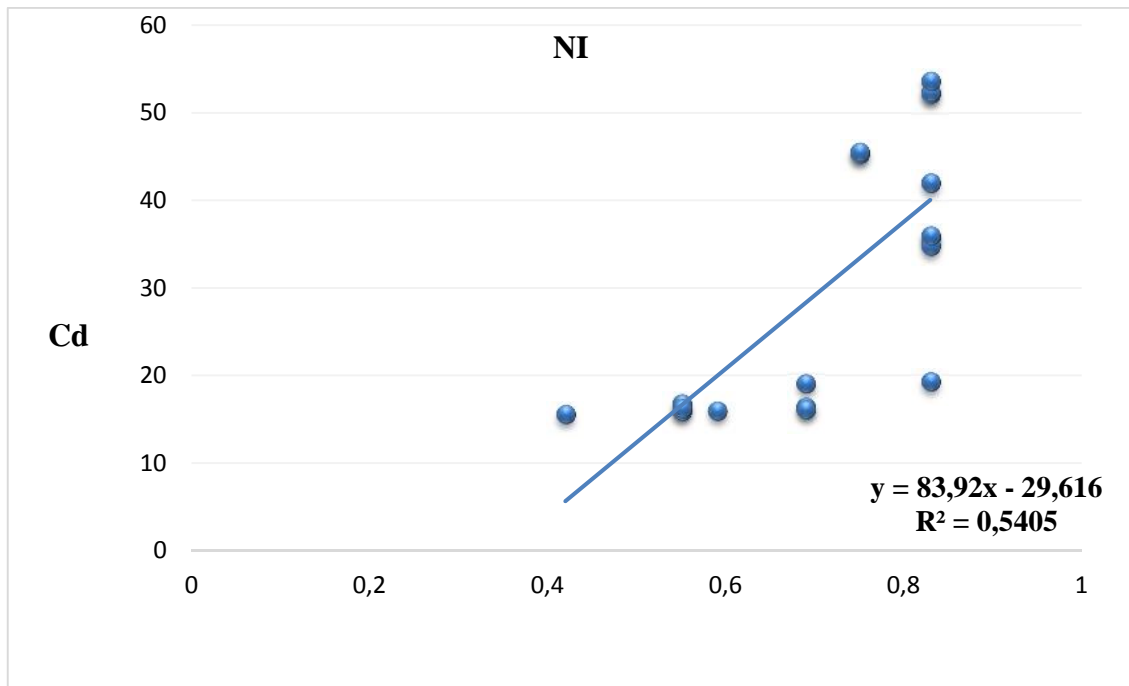
## Annexe 04 : Corrélation Positive entre les ETM (Chrome et Nickel)



## Annexe 05: Corrélation Positive entre les ETM (Chrome et Cadmium)



## Annexe 06 : Corrélation Positive entre les ETM (Nickel et Cadmium)



**Annexe 07 : Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation**

Paramètre	Unité	Concentration Maximale Admissible
<b>Physique</b>	pH	6,5 < pH < 8,5
	MES	mg/l
	CE	ds/m
	Infiltration le SAR = 0-3 CE	ds/m
<b>Chimique</b>	DBO5	mg/l
	DCO	mg/l
	CHLORIDE (CL)	mg/l
	AZOTE (N03-N)	mg/l
	Bicarbonate(HCo3)	mg/l
<b>Eléments Toxiques(*)</b>	aluminium	mg/l
	Arsenic	mg/l
	Béryllium	mg/l
	Bore	mg/l
	Cadmium	mg/l
	Chrome	mg/l
	Cobalt	mg/l
	Cuivre	mg/l
	Cyanure	mg/l
	Fluor	mg/l
	Fer	mg/l
	Phénols	mg/l
	Plomb	mg/l
	Lithium	mg/l
	Manganèse	mg/l
	Mercure	mg/l
	molybdène	mg/l
	Nickel	mg/l
	Sélénium	mg/l
	vanadium	mg/l
Zinc	mg/l	

(\*) : pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin

## **CARACTERISTIQUES DU SOL ET LES TENEURS GLOBALES EN METAUX LOURDS DANS LES SOLS DE LA WILAYA DE TIZI OUZOU**

### **Résumé**

*L'objectif de notre travail est la caractérisation des sols et la détermination des teneurs globales en éléments traces métalliques dans le cas de parcelles de terres agricole. Les boues résiduaires (BR) appliquées par l'agriculteur proviennent de la STEP Est de la ville de Tizi Ouzou dans le cadre d'un projet pilote de valorisation agricole. Les sols des parcelles étudiées sont de textures limoneuse, Argilo-limoneuse, limono-argileuse et d'un pH faiblement alcalin à alcalin (7,2 à 8,25) occupés par les cultures d'Arboriculture (Agrume, Poirier, Vignoble), maraichères et fourragères. Les apports effectués influent positivement sur les paramètres analytiques étudiés. Le suivi des teneurs en éléments traces métalliques (ETM) dans les sols montre que ses éléments sont globalement en fonction du type d'apports, de la nature de l'élément et de la profondeur du sol. Cependant, ces apports influencent de façon non significative les teneurs en ETM dans le sol. Les teneurs en Cu induites par les eaux de l'Oued Aissi représentent des teneurs (10,04 mg/l) élevés de celles des eaux souterraines. Pour le Fer les teneurs déterminées (264 à 760,26 ppm) sont plus importantes dans l'ensemble de ces sols. Les teneurs déterminées en Cr (104,53 ppm) sont plus importantes vers les profondeurs. Quant à les éléments Pb et Cd, ils se trouvent à des concentrations semblables dans ces parcelles. Sur la base des normes AFNOR, les sols des parcelles étudiées nécessitent un suivi rigoureux quant à leur risque de pollution en ETM surtout le Nickel.*

**Mots clés :** *Caractéristiques des sols, Boues Résiduaires, Teneurs globales en éléments traces métalliques.*

## **CHARACTERISTICS SOIL AND OVERALL HEAVY METAL CONTENTS IN TIZI OUZOU DEPARTMENT**

### **Abstract**

*This study was in the context of pilot project for agricultural valorization, the objective of our work was characterization of worked soils and determination of overall metal trace element contents in the case of agricultural plots of lands. The sewage sludge applied by the farmer on the ground came from wastewater disposal unit in Tizi Ouzou department. The soils are Loamy-Sand, Silty clay, loamy- clay texture, their pH are slightly alkaline to alkaline (7 to 8,2), occupied by the cultures of arboriculture (Citrus, Fruit, pear trees, Vineyard), market, gardening and fodder. There was a positive effect on analytical parameters when treatment on parcel. The studies showed that the metal trace element contents in soil were globally function of; the type of contribution, of the nature and soil depth. However, the element trace contents in the soil were not influenced by the treatments. The contents of copper induced by the water of Oued Aissi represent (10,04 mg/l) high those of groundwater. For Fe, the given contents are (204 to 760 ppm) and they are more important in the whole of these grounds. The contents determined on Cr (104,53 ppm) are more important towards the depths. As for the elements Pb and Cd, they are with similar concentrations in this parcels. On the basis of standard AFNOR, the grounds of the studied pieces require a rigorous follow-up for their pollution risk in ETM, especially Nickel.*

**Key words:** *soils characteristics, sewage sludge, overall metal trace element contents.*