



**Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou**  
**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**Département des sciences Agronomique**

## **MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES**

*En vue de l'obtention du diplôme de*  
**Master en Sciences Agronomique**  
**Option : science du sol**

### *Thème*

Caractéristiques chimiques d'un sol agricole irrigué avec des eaux usées épurées et amendé avec des boues de station d'épuration, cas d'un vignoble dans la wilaya de Boumerdes

Présenté par :

**BENABBOU MEZIANE et KADI AREZKI**

Devant le jury composé de

Mr KADI S. A	Professeur	Président
Mr CHERFOUH R.	MCB	Promoteur
Mr MERROUK K.	MCA	Examineur

**Année Universitaire**

## **Résumé**

Ce travail de recherche qui a porté sur une parcelle de vigne à Corso, wilaya de Boumerdes a pour objectif de mettre en évidence les incidences à long termes sur les caractéristiques des sols de l'application des eaux usées épurées et des boues résiduaires urbaines. Le pH, la conductivité électrique (CE), la teneur en matières organique (MO %) ont été mesuré sur 18 points de prélèvements et trois profondeurs (0-10cm ; 10-25cm et 25-40cm) représentés par 6 sous-parcelles.

Les résultats des analyses chimiques qualifiants le pH du sol de légèrement acide à neutre. Les apports de sels solubles induits par les eaux usées épurées et les boues résiduaires ne constituent pas une contrainte limitante à la nutrition minérale et au développement normal de la vigne. Les teneurs en matières organiques déterminées montrent que les apports constituent une source de carbone organique pour les sols. La distribution des paramètres sur les plan horizontal et vertical présente une variabilité significative induite par la variabilité de l'irrigation et de l'épandage des boues et leur évolution dans le sol.

Mots clé : sol , eaux usées épurées , boues, caractéristiques chimiques

## **Abstract**

This research work, which focused on a vineyard plot in Corso, wilaya of Boumerdes, aims to highlight the long-term impacts on soil characteristics of the application of treated wastewater and urban sludge. The pH, the electrical conductivity (EC), the organic matter content (MO%) were measured at 18 sampling points and three depths (0-10cm; 10-25cm and 25-40cm) represented by 6 sub-plots.

The results of chemical analyzes qualifying the soil's pH from slightly acidic to neutral. The contributions of soluble salts induced by the purified waste water and the residual sludge do not constitute a limiting constraint on the mineral nutrition and the normal development of the vine. The determined organic matter contents show that the inputs constitute a source of organic carbon for the soils. The distribution of parameters on the horizontal and vertical plan shows significant variability induced by the variability of irrigation and sludge spreading and their evolution in the soil.

Keywords: soil, treated wastewater, sludge, chemical characteristics



## REMERCIEMENTS

A l'issue de ce modeste travail, nous tenons à remercier Mr CHERFOUH R., notre promoteur, d'avoir accepté de diriger ce mémoire. Pour ces conseils, ces encouragements et pour la confiance qu'il nous a témoigné aux cours de réalisation de ce travail.

Nous remercions Mr KADI S.A., qui malgré sa lourde charge, il a accepté de présider le jury et de nous avoir aussi ouvert son laboratoire et réaliser une partie de nos mesures.

Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à Mr MERROUKI K d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Nous remercions l'équipe du laboratoire département biologie et agronomie pour leur accueil, leur collaboration et leur disponibilité en particulier Dr NAIT KACI BOUDIAF M., et Dr KADI BENNANE L. Notre reconnaissance s'adresse aussi à Mr ALLILI N, Mr METNA B., et Mr RABHI K., pour leurs contributions dans l'analyse statistique des données.

Notre gratitude va aussi à tous ceux qui ont contribué à notre formation, particulièrement les enseignants du département d'Agronomie et les ingénieurs de laboratoire pédagogiques.

Nous tenons à exprimer tout au fond de nos cœurs, nos reconnaissances à nos familles pour toute leur aide morale et financière, ainsi que nos camarades de promo à qui nous souhaitons beaucoup de réussite.

# Tables des Matières

Liste Des Figures .....	1
Liste des Tableaux .....	2
Introduction générale.....	1
<b>CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>3</b>
I.1- Généralités sur le sol.....	3
I.1.1- Introduction .....	3
I.1.2- La matière organique dans le sol.....	4
I.1.2.1- Généralités .....	4
I.1.2.2- Le cas des sols algériens .....	4
I.1.3- Caractéristiques de la matière organique .....	5
I.1.3.1- Les différents types de matière organique .....	5
I.1.3.2- Evolution de matière organique.....	5
I.1.3.3- Les effets de la matière organique sur les propriétés du sol.....	7
I.2- les boues résiduaires des stations d'épuration .....	8
I.2.1- Origine.....	8
I.2.2- composition des boues résiduaires .....	8
I.2.3- Fonctionnement d'une station d'épuration.....	9
I.2.4- Les différents types de boues .....	9
I.2.4.1- Les boues primaires .....	9
I.2.4.2 Les boues secondaires ou actives.....	9
I.2.4.3- Les boues mixtes .....	11
I.2.4.4- Les boues physico-chimiques.....	11
I.2.5- Les filières d'élimination des boues résiduaires urbaines.....	11
I.2.5.1- La mise en décharge contrôlée .....	11
I.2.5.2- L'incinération .....	11
I.2.6- valorisation agricole .....	12
I.2.7- Effets sur les caractéristiques physiques et chimiques.....	12
I.2.8- Risques environnementaux liées aux boues .....	12
I.3- Eaux usées.....	13
I.3.1- Généralités.....	13
I.3.2- Origine des eaux entrant en station d'épuration : .....	13
I.3.2.1- Les rejets domestiques .....	13
I.3.2.2 - Les rejets industriels .....	14
I.3.2.3- Eaux de ruissellement.....	14

I.3.3 - Intérêt agronomique des eaux usées.....	15
I.4. Description de la région d'étude .....	16
I.4.1 - Situation géographique :.....	16
I.4.2-Le cadre physique : .....	16
I.4.2.1- Le relief.....	17
I.4.2.2. Les sols de Boumerdes.....	17
I.4.3. Le secteur agricole.....	18
I.4.3.1-L'occupation des terres agricoles .....	18
I.4.3.2-La production végétale .....	19
I.4.4-les ressources hydriques .....	20
I.4.4.1-les ressources en eaux mobilisées.....	20
I.4.5-l'assainissement.....	21
I.5-Données agro-climatiques de la commune de Corso.....	21
I.5.1-Situation géographique.....	21
I.5.2- Synthèse climatique.....	22
I.5.2.1- La pluviométrie.....	22
1.5.2.2- Les températures .....	23
I.5.2.3- Les vents .....	24
I.5.3- Diagramme Ombrothermique .....	24
I.5.4- Classification bioclimatique de la région d'étude .....	25
I.6- La culture de la vigne.....	26
I.6.1-Systématique de la vigne.....	27
I.6.2- le bilan viticole 2000/2018.....	28
<b>CHAPITRE II. MATÉRIELS ET MÉTHODES .....</b>	<b>30</b>
II.1 – Identification de la parcelle étudiée .....	31
II.2 -présentation de STEP de Boumerdes .....	31
II.1.3 – Paramètres analytiques .....	32
II.1.3.1 - ph du sol .....	32
II.1.3.2 – Conductivité électrique.....	33
II.1.3.3 – Teneur en matière organique du sol .....	34
II.1.3.4 – Analyse statistique.....	35
<b>CHAPITRE III. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>36</b>
III - Résultats et discussion.....	36
III.1- pH de la solution du sol.....	36
III.1.1- pH-eau .....	36

III.1.2 - pH-KCl .....	39
III.1. – Ecart pH-eau - pH-KCl.....	40
III.2 - conductivité électrique .....	41
III.3- Teneurs en matières organiques .....	44
III.4- Interaction entre paramètres analytiques.....	47
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>50</b>
Conclusion générale .....	50
Perspectives .....	51
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>52</b>
Références bibliographiques .....	52
<b>ANNEXES .....</b>	<b>57</b>

## Liste Des Figures

Figure 1 : Nature biochimique de composés humiques (d'après Soltner, 2003).....	5
Figure 2 : Schéma d'une filière de traitement d'eau traditionnelle (Degrémont, 1989).....	9
Figure 3 : Processus de traitement biologique des eaux résiduaires (Salhi, 2003).....	10
Figure 4: Configuration du procédé de traitement par boues activées .....	10
Figure 5 :Carte du découpage administratif de la willaya de Boumerdes (DPAT, 2017). .....	16
Figure 6: Carte des sols de Boumerdes (extraite de l'étude du BNEDER, 2004). .....	18
Figure 7: Présentation géographique de la commune de Corso .....	22
Figure 8: Variation mensuelle des précipitations moyennes de Corso pour la période 2001-2010 .....	23
Figure 9: Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour Corso (ONM, Isser). .	24
Figure 10: Climato-gramme d'Emberger pour la région de Corso (ONM Isser, 2015) .....	25
Figure 11: Evolution de la superficie viticole durant les 18 années précédentes .....	29
Figure 12:Situation géographique de la parcelle étudiée (Google earth 2021, modifiée).....	31
Figure 13:Illustration de la position géographique de la station d'épuration de Boumerdes (Google Maps, 2021) .....	32
Figure 14:Illustration de la mesure du pH de la solution du sol.....	33
Figure 15: Illustration de la mesure de la conductivité électrique.....	34
Figure 16:Illustration de la mesure de la matière organique : (a) creusets à l'intérieur de l'étuve et (b) à l'intérieur du Four. ....	35
Figure 17:Variation du pH-eau dans le sol des six sous parcelles et en fonction de la profondeur d'échantillonnage.....	37
Figure 18 : Représentation graphique de l'écart entre le pH-eau et le pH-KCl .....	40
Figure 19 : Variation de la CE dans le sol des six sous parcelles et en fonction de la profondeur d'échantillonnage.....	42
Figure 20 : Courbes d'évolution de la matière organique en fonction de la profondeur. (a); de 0cm à 25cm, (b) ; de 10cm à 40cm.....	45
Figure 21 : évolution de la teneur en % matière organique de la parcelle étudiée.....	46
Figure 22 : projection de l'ACP des paramètres analytique et cercle de corrélation. ....	48

## Liste des Tableaux

Tableau 1: Occupation de la Superficie Agricole (CA 2008/2009). .....	19
Tableau 2: Superficies et productions (Campagne agricole 2011/2012).....	19
Tableau 3: La capacité en eau mobilisé dans la wilaya de Boumerdes .....	20
Tableau 4: capacité en eau mobilisé dans la wilaya de Boumerdes .....	20
Tableau 5 : Stations d'épurations opérationnelles (ONA).....	21
Tableau 6 : Pluviométrie moyenne mensuelle en (mm) pour la période (2001-2010).....	22
Tableau 7: Paramètres climatiques températures (T) dans la commune de Corso, pour la période (2000-2010). .....	23
Tableau 8 : Evolution de la superficie viticole de Boumerdes. ....	29
Tableau 9 : pH-eau moyen des échantillons de sol en fonction des sous parcelles.....	36
Tableau 10 : Analyse de la variance au seuil de 5% des données du pH pour les facteurs sous-parcelle et profondeur.....	38
Tableau 11: Résultats du test de NEWMAN et KEULS pour le pH, facteur sous-parcelles ....	38
Tableau 12 : Résultats du test de NEWMAN et KEULS pour le pH des profondeurs .....	39
Tableau 13 : pH-KCl de la solution du sol des échantillons prélevés. ....	39
Tableau 14 : Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) des échantillons prélevés.....	41
Tableau 15 : résultats d'analyse de la variance au seuil de 5% de la CE pour les facteurs sous parcelles et profondeur. ....	43
Tableau 16 : résultats du test de NEWMAN et KEULS pour la CE en fonction des profondeurs.....	44
Tableau 17 : Teneurs en matière organique % de la parcelle étudiés.....	44
Tableau 18 : Résultats d'analyse de la variance au seuil de 5% du %MO pour les facteurs sous parcelles et profondeur. ....	46
Tableau 19 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS pour la teneur en MO en fonction des sous-parcelles.....	47
Tableau 20 : facteur de corrélation. ....	49

ANNEXE 1 : Tableau Plages descriptives du pH dans les sols .....	57
ANNEXE 2 : Tableau Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J.H. (1983)....	57
ANNEXE 3 : Tableau Classification des teneuses en matière organique (MO) dans le sol. (DEJON et <i>al</i> , 1998 in Tir 2001).....	58

INTRODUCTION

GENERALE



### Introduction générale

La valorisation agricole des eaux usées et des boues résiduelles d'origines urbaines est une option reconnue compatible avec les modalités de développement durable des territoires. Grâce à sa capacité de filtration, le sol constitue un compartiment important de l'écosystème terrestre en mesure de retenir les particules contenues dans les eaux d'infiltration grâce à sa capacité d'adsorption du complexe argilo-humique.

Les éléments fertilisants contenus dans les boues et les eaux usées, comme l'azote, le phosphore et le potassium, sont un des caractères attractifs et encourageant à une utilisation plus large pour l'amélioration de la fertilité des sols. L'apport d'eau et de produits organiques pour l'amélioration de la production agricole est connu depuis très longtemps par la société humaine. On en retrouve la trace dans plusieurs textes dans l'Antiquité comme « l'Odyssée » d'Homère ou « les Géorgiques » de Vergile (Abiven, 2004).

L'Algérie produit une importante quantité de produits issus de l'épuration des eaux usées urbaines à savoir, près de 365M m<sup>3</sup>/an, et 250 000 tonnes/an de boues Résiduelles (ONA, 2016). Les proportions valorisées en agriculture sont évaluées à 25 % pour les boues et 10 % pour les eaux usées épurées (Ladjal et Abbou, 2016). La ferme agricole Rahmoun constitue un projet pilote de valorisation des boues résiduelles et des eaux usées épurées provenant de la Step de la ville de Boumerdes. L'agriculture en Algérie connaît des difficultés en matière d'irrigation. La réutilisation des eaux usées épurées (EUE) figure parmi les options de la stratégie nationale de mobilisation des ressources en eau (MRE, 2016).

L'application des eaux et des boues induit une dynamique dans les caractéristiques des sols qui est fonction des interactions entre les éléments apportés et propriétés des sols, en particulier sur les volets agronomique et environnemental (Cherfouh et al., 2018 ; Mtshali et al., 2014 ; Pereira et al., 2002).

A Boumerdes, durant une dizaine d'années (de 2002 à 2012) des agriculteurs réutilisaient des eaux usées épurées et des boues résiduelles urbaines sur leurs parcelles. Notre travail, se donne pour objectifs de déterminer certaines caractéristiques chimiques (pH, CE et MO) de sol sous vigne, pouvant illustrer nature les modifications observées par d'autres auteurs et aussi de vérifier la variabilité spatiale de ces mêmes paramètres. Les analyses réalisées ont portées sur 18 points de prélèvement et 3 profondeurs d'échantillonnage.

A l'issue de cette introduction, Ce document est structuré en chapitres. **Le chapitre I**, sera consacré à la présentation d'une revue bibliographique sur la région d'étude, la situation géographique, les données agro climatiques, la vigne, les EUE et les boues de station d'épuration de manière générale dans la wilaya de Boumerdes. **Le chapitre II** présente le matériel et les méthodes mises en œuvre pour la détermination des paramètres analytiques choisis pour la caractérisation de la parcelle étudiée et la présentation de la STEP de Boumerdes.

**Le chapitre III** présente les résultats obtenus et la discussion des différences induites dans le sol, la variabilité des paramètres sur le plan latéral et vertical. Enfin, une conclusion générale donne les aspects essentiels des paramètres analytiques et présente les perspectives de recherche envisagées.

SYNTHESE  
BIBLIOGRAPHIQUE



## I.1- Généralités sur le sol

### I.1.1- Introduction

La formation des sols est le résultat de processus biogéochimique complexes dans les quels interviennent de nombreux facteurs abiotiques et biotiques qui agissent de façon concomitante Cette formation nécessite l'action initial des facteurs climatiques qui vont dégrader et dissoudre la roche mère ; c'est le phénomène d'érosion.

La dissolution, l'oxydation et l'hydratation des minéraux conduisant à la formation de toute une gamme de minéraux (argiles, oxydes de fer, etc.) dont les proportions respectives vont définir le type de sol.

A la différence de la roche, le sol est un milieu vivant, dynamique, très réactif et en constante évolution (Robert, 1996 ; Lavelle et Spain, 2001) ; Représentant un réservoir de matières organiques et minérales, il sert de support mécanique et nutritif aux êtres vivants, et notamment, pour les végétaux autotrophes qui élaborent la production primaire (Gobat et al. 1998) C'est l'endroit où les organismes décomposeurs prennent en charge la dégradation de toutes les matières organiques produites dans l'écosystème (Vannier, 1979).

Le sol est également le support des activités humaines. C'est le lieu de production agricole et forestière, l'endroit de stockage de matière primaire et de déchets (Robert, 1996 ; Gobat et al. 1998) ce qui en fait le lieu de passage et de séjour privilégié des grands types de polluants (Robert, 1996) et le grand particulièrement sensible. Le sol étant un milieu poreux, perméable et le siège de phénomènes de transports (Bruckler, 1998), cette pollution peut gagner par des phénomènes d'absorption, de lessivage, etc. D'autres animaux (Rivière, 1998).

Le fait d'être à l'interface de lithosphère, de l'atmosphère et de la biosphère, influence sa formation et son fonctionnement (Robert, 1998). Cette position lui confère également un rôle de première importance dans un certain nombre de cycles biogéochimique (carbone, azote, phosphore, etc.) et dans la régulation des échanges gazeux et du cycle d'eau (Robert, 1996 ; Gobat et al. 1998 ; Rivière, 1998).

Le sol est non seulement un réservoir d'activité, mais également un réservoir d'espèces (jocteur Monozier, 2001) C'est un milieu complexe, organisé et hétérogène, ce qui implique la coexistence de niches écologiques avec des caractéristiques différentes, physique et physico-chimiques (Robert, 1996). De nombreuses espèces animales, de différents taxons : Protozoaires, nématodes, lombricidés, enchytréides, gastéropodes, isopodes, myriapodes. Par ordre croissant de taille, on distingue la microfaune (4-200 µm), le méso-faune (0-2,4mm), la

macrofaune (4-80mm) et parfois même la mégafaune (Gobat et al. 1998). La macrofaune, composée entre autres des vers de terre et des termites, constituent la plus grosse biomasse animale sur les continents. Les individus appartenant à cette catégorie sont également considérés comme les ingénieurs des écosystèmes (Lavelle et Spain, 2001). Ils ont, en effet, un rôle mécanique important sur la fragmentation de la matière organique et sur le brassage des sols.

## **I.1.2- La matière organique dans le sol**

### **I.1.2.1- Généralités**

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 relèvent le terme organique, donc matière dégradable, qu'on peut considérer comme décomposés susceptible d'être incorporés au sol, en vue d'en conserver ou d'en améliorer la qualité.

### **I.1.2.2-Le cas des sols algériens**

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

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

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

De nombreuses études ont montré que les substrats organiques de différentes natures tels que les boues (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.

### I.1.3- Caractéristiques de la matière organique

La matière organique se caractérise par : son origine, sa composition (Lasnier et Lachaise, 1973), son degré de décompositions (Lasnier et Lachaise, 1973), son coefficient iso-humique (Rémy, Marin et Laflèche, 1976), son coefficient de destruction de l'humus (Lasnier et Lachaise, 1973) et par son rapport C/N.

#### I.1.3.1- Les différents types de matière organique

La matière organique du sol est constituée de deux types de substances :

- Les substances humiques qui sont l'acide fulvique, l'acide humique et l'humine (Morrill et al. 1982, Gary et al, 1994). Ces substances nouvelles reconstruites à partir de certaines M.O. transitoires et certaines matières minérales (Soltner, 2003).
- Les composés biochimiques tels que les acides organiques, sucres, lipides et polysaccharides (Morrill et al, 1982, Gary et al, 1994).

L'humine a une structure similaire (Mustin, 1987) à celle des acides humiques (voir Figure 1) Noyaux aromatiques en couches sur lesquels se fixent des chaînes latérales et des composés organiques).

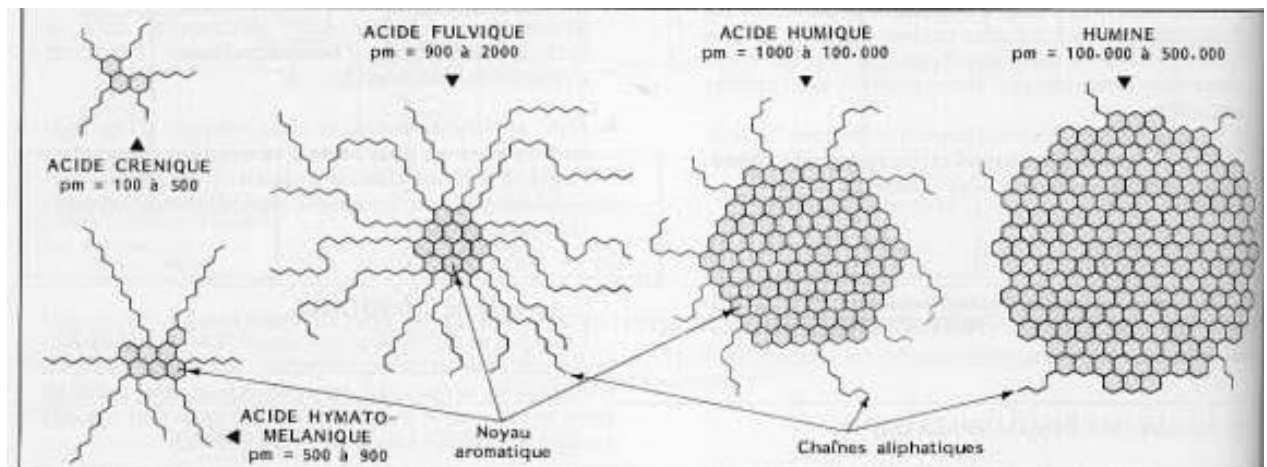


Figure 1 : Nature biochimique de composés humiques (d'après Soltner, 2003)

#### I.1.3.2- Evolution de matière organique

##### a. L'humification

Cette phase est assez rapide. Dès que les déchets des végétaux sont enfouis, ils entrent en décomposition sous l'action de micro-organismes du sol. Ces agents humificateurs

transforment la matière organique en produit de plus en plus simplifiés ; la formation passe d'abord par l'humus jeune, à évolution rapide, qui donne à son tour, l'humus stable. Durant cette phase, la matière organique est transformée en composés organiques plus simples (acide fulvique, acide humique et humine). (Henin et al ; 1969).

Les composés humiques peuvent être classés selon leur richesse en azote (Mustin, 1987) :

- Les acides humiques sont les plus riches en azote (5%, Variant de 3,5 à 6%),
- Viennent ensuite les acides fulviques (2 à 3,5%),
- L'humine avec environ 1%, voire moins.

**B. La Minéralisation :** C'est le passage du monde organique au monde minéral. Ce processus se déroule en plusieurs étapes : la minéralisation primaire qui concerne les matières organiques jeunes et la minéralisation secondaire ou minéralisation des produits stables (communément appelé « minéralisation de l'humus »).

**1- La minéralisation primaire :** Est un processus assez rapide. Il aboutit à la libération de substances nutritives par désagrégation et dépolymérisations successives des matières organiques. Parmi ces substances, on trouve : l'eau, le CO<sub>2</sub>, l'azote nitrique, les phosphates et sulfates, etc... Cette phase se déroule essentiellement sous l'action de la faune du sol et des microbes (champignons et bactéries). Ces matières minérales peuvent être assimilées par les plantes, adsorbées sur le complexe argilo-humique, perdues par lessivage ou reprise par certains microbes pour la synthèse de l'humine microbienne.

**2- La minéralisation secondaire :** Est au contraire un processus très lent, à raison de 2 – 3 % par an. Elle affecte l'humus formé depuis de nombreuses années et libère des quantités annuelles d'éléments nutritifs considérables qui sont mis à disposition des plantes.

### **b.1- L'ammonification**

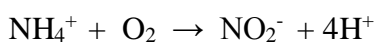
Dans cette étape, l'azote organique est transformé en NH<sub>3</sub> ensuite en NH<sub>4</sub> (azote ammoniacale) sous l'effet des micro-organismes.

### **b.2- La nitrification**

C'est la transformation de l'azote ammoniacale (ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) en azote nitrique. C'est également l'étape finale de la décomposition de la matière organique qui comporte deux phases successives :

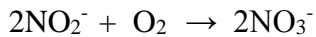
#### ✓ **La nitrosation**

La nitrosation, au cours de laquelle l'ammoniac passe à l'état nitrites sous l'action de bactéries aérobies du type nitrosomonas :



#### ✓ **La nitratisation**

La nitratisation, pendant laquelle une nouvelle oxydation par les bactéries aérobies, les nitrobacters, transforment les nitrites (ou ions nitreux) en nitrates (ions nitriques) :



### **I.1.3.3- Les effets de la matière organique sur les propriétés du sol**

La matière organique issue du fumier ou du compost joue un rôle important dans la durabilité de la fertilité du sol. En plus d'être une source d'éléments nutritifs pour les cultures, la matière organique améliore les propriétés biologiques et physicochimiques du sol.

Les M.O ont de multiples propriétés qui leurs confèrent des fonctions primordiales dans les agroécosystèmes et en font une composante de la fertilité. Les fonctions des M.O participent de façon générale à l'aptitude des sols à la production végétale par l'amélioration de ces propriétés physiques, chimiques, physicochimiques et biologiques.

#### **a. 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 phénomène 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'hydrophile extrêmement accusée des colloïdes qui la composent (Duthil, 1973). Cette matière retient d'autant mieux l'eau qu'elle humifie, elle régularise le bilan de l'eau dans le sol. Selon Hillel (1974) son affinité pour l'eau se manifeste par :

- Une force de succion élevée.
- Des phénomènes de contraction et d'expansion 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.

#### **b. Actions de la matière organique sur les propriétés du sol**

Les M.O contribuent classiquement à la fertilité chimique des sols. Elles sont 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 intéressée.

- ✓ 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 enfouis libère aussi bien N, P, K, Ca, S que d'autres éléments moins connus ou moins évidents Mg, Zn, B, Cu, Fe, Al, Si...Etc.

## **I.2- les boues résiduaires des stations d'épuration**

### **I.2.1- Origine**

En fonction de sa nature, la matière contenue dans les eaux usées connaît un sort différent : La matière minérale et la matière organique réfractaires sont accumulées tandis que la matière organique biodégradable sert de substrat aux micro-organismes épurateurs (Grulois et al. 1996). 60% des boues sont composées de matières organiques inertes, sous l'effet des contraintes régnant au niveau de la station d'épuration, les bactéries libres épuratrices adoptent une structure en floccs. Elles s'agglomèrent et forment des agrégats plus denses que l'eau. Ces floccs décantés, sont récupérés au niveau du clarificateur et sont purgés, formant ainsi une large fraction des boues.

### **I.2.2- composition des boues résiduaires**

La composition des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, la période de l'année, du type de traitement et de conditionnement pratique dans la station d'épuration (Werther et Ogada, 1999 ; Jared et al, 2003 ; Amir,2005, cherrfouh, 2019). Les boues activées proviennent de l'épuration des eaux usées, elles résultent de l'activité biologique des microorganismes vivant dans ces stations qui transforme les matières transportées par les eaux usées pour qu'elles puissent en être extraites (Champiat, 1994).

Les boues résiduaires représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (matière organique, éléments fertilisants (N et P...), des éléments traces métalliques, des éléments traces organiques et d'agents pathogènes).

### I.2.3- Fonctionnement d'une station d'épuration

L'épuration des eaux résiduaires consiste à réduire la charge en matières organiques et minérales. Lors de cette étape, il se produit un transfert de pollution de la phase liquide (eau) vers une phase plus concentrée (boues) et une phase gazeuse (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>,...). La production de boues résiduaires est donc totalement dépendante de la filière de traitement de l'eau (voir figure 2) (Degrémont, 1989).

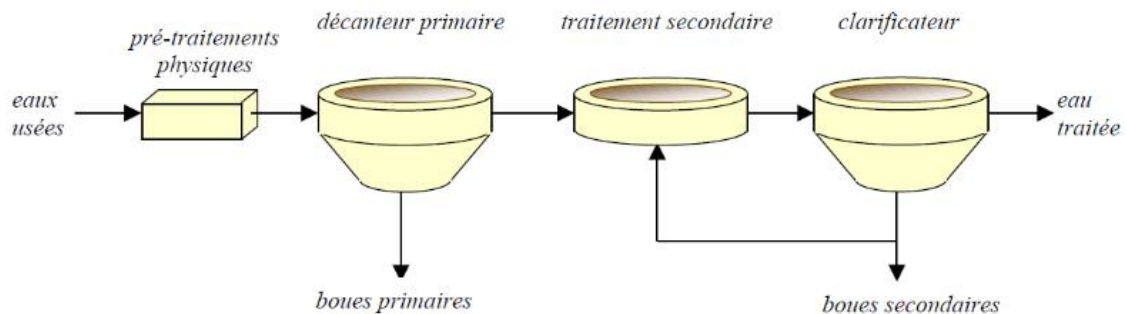


Figure 2 : Schéma d'une filière de traitement d'eau traditionnelle (Degrémont, 1989).

### I.2.4- Les différents types de boues

Les boues sont principalement constituées de particules solides non retenues par les prétraitements en amont de la station d'épuration, de matières organiques non dégradées, de matières en suspension minérales et de micro-organismes (bactéries dégradatives pour l'essentiel). Elles se présentent sous forme d'une « soupe épaisse » qui subit ensuite des traitements visant en particulier à réduire leur teneur en eau (Champiat, 1994).

Les boues de stations d'épuration sont classées en quatre grands groupes :

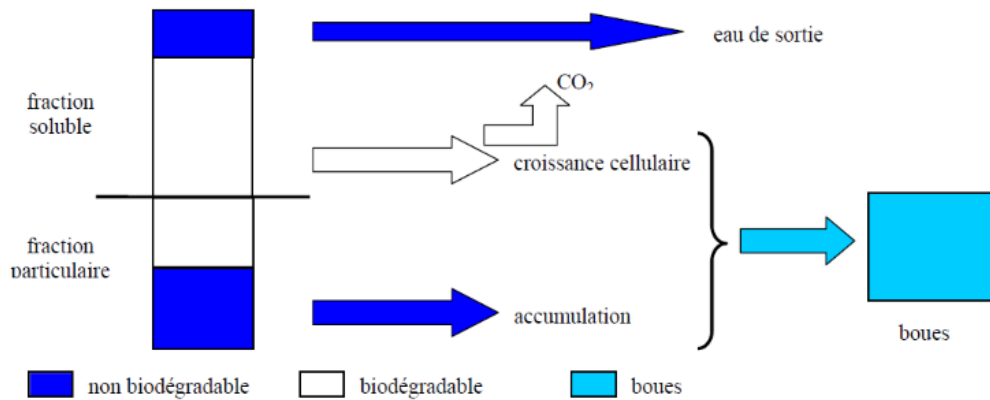
#### I.2.4.1- Les boues primaires

Elles sont issues du traitement primaire et sont produites par simple décantation, en tête de station d'épuration. Ces boues sont fraîches, c'est à dire non stabilisées (forte teneur en matière organique) et fortement fermentescibles. De par la nature des nouvelles installations, elles tendent à disparaître (Degrémont, 1989).

#### I.2.4.2 Les boues secondaires ou actives

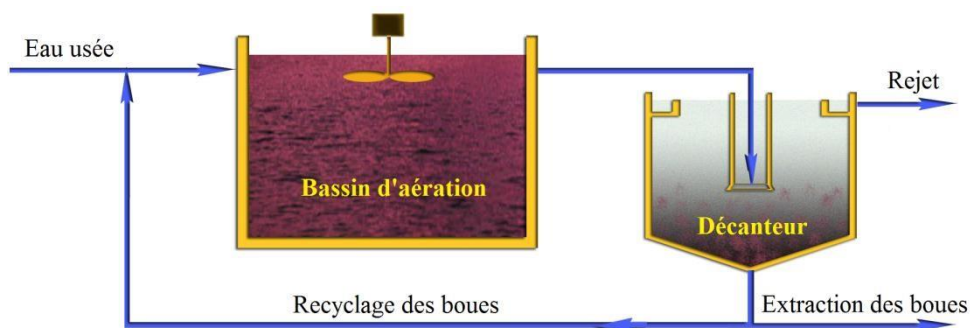
Ces boues sont stabilisées biologiquement résulte de traitement biologique par le biais des propriétés épuratoires des microorganismes par conséquent la matière minérale et la matière organique réfractaire sont accumulées tandis que la matière organique biodégradable sert de substrat aux micro-organismes épurateurs. Ces micro-organismes, principalement des

bactéries, utilisent la pollution biodégradable pour leur maintenance et pour leur croissance. Les produits formés sont des cellules, du dioxyde de carbone et de l'eau (Paul et *al.* 1999 ; Grulois et *al.* 1996). La figure 3 résume le processus de traitement de l'eau et de production de boues.



**Figure 3 : Processus de traitement biologique des eaux résiduaires (Salhi, 2003).**

Le traitement biologique par boues activées permet d'éliminer une grande partie de la matière organique des eaux résiduaires. Le but des traitements biologiques est d'éliminer la pollution organique soluble au moyen de micro-organismes, principalement les bactéries. Ce traitement est généralement mis en œuvre dans un bassin à boues activées qui est un réacteur biologique, alimenté en continu et aéré (figure 4). L'aération peut être assurée en surface par des turbines, ou dans le fond par des procédés de rampe de distribution de bulles d'air alimentées par un suppresseur ou par un compresseur d'air. La masse bactérienne, aussi appelée boue activée ou biomasse, est ensuite séparée par gravité du liquide épuré dans un décanteur.



**Figure 4: Configuration du procédé de traitement par boues activées**

### **I.2.4.3- Les boues mixtes**

Le mélange de boues primaires et secondaires conduit à l'obtention des boues mixtes. Leur composition est dépendante de la quantité de boues primaires et secondaires produites. Très fermentescibles, ces boues subissent ensuite le traitement de stabilisation (Degrémont, 1989).

### **I.2.4.4- Les boues physico-chimiques**

Ces boues sont issues d'un traitement utilisant des flocculant minéraux (sels de fer ou d'aluminium). Le traitement physico-chimique est principalement utilisé sur les boues industrielles ou pour palier au sous dimensionnement de certaines stations d'épuration (stations situées en zones touristiques, par exemple) (Degrémont, 1989).

## **I.2.5-Les filières d'élimination des boues résiduares urbaines**

Il existe de nombreux traitements en amont pour réduire le volume, les nuisances, la nocivité des boues, actuellement 3 filières sont utilisées pour évacuer les boues, selon que l'on privilégie un mode digestion basé sur l'élimination ou sur le recyclage.

### **I.2.5.1-La mise en décharge contrôlée**

La mise en décharge de boues pures ou en mélange correspond à une concentration maximale de tous les déchets sur le lieu de stockage. Avant sa mise en place, les boues doivent être préalablement stabilisées et déshydratées (humidité maximale de 70 %). Cette solution a perdu progressivement de son intérêt et se retrouve actuellement interdite pour des raisons financières (procédure de fermeture ...) et pour des problèmes environnementaux tels que les odeurs nauséabondes, pullulation de moustiques, les pertes d'éléments fertilisants (nitrates, phosphates) et de produits toxiques par les eaux superficielles et contamination des nappes d'eaux souterraines (Looser et *al.*, 1999; Marttinen et *al.*, 2003).

### **I.2.5.2-L'incinération**

Elle réalise la destruction de la matière organique des déchets par combustion à haute température (+ de 500 °C) produisant des fumées et des matières minérales résiduelles nommées cendres. Dans l'objectif d'une valorisation énergétique des déchets, la chaleur produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même, pour le chauffage urbain ou industriel (Prevot, 2000). Les résidus de l'incinération (Mâchefer) sont utilisables pour les travaux publics (Werther et Ogada, 1999). En France, 14 à 16 % des boues urbaines sont incinérés. En Europe, le pourcentage varie de 0 à 55 % selon

les pays. Malgré l'intérêt de ce procédé l'élimination des cendres et des mâchefers exigent une décharge contrôlée de classe 1 ou une unité d'inertage. Cette technique reste aussi néfaste de point de vue écologique et environnemental (Mininni et al., 2004 ; Nammari et al., 2004).

### **I.2.6- valorisation agricole**

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 (Lambink et al., .2004). Par leurs compositions les boues résiduaires peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais de synthèse. Elles sont potentiellement intéressantes pour améliorer les propriétés des sols.

### **I.2.7- Effets sur les caractéristiques physiques et chimiques**

De nombreux auteurs soulignent une amélioration de la structure des sols argileux suite aux applications des boues ainsi que sur les sols sableux en améliorant l'agrégation. D'autres auteurs notamment notent une augmentation de l'ordre de 17% à 35% des agrégats stables dans un sol amendé de boues. Les boues ont un effet plus durable sur la stabilité structurale que celui de l'engrais vert et moins que celui d'autres amendement organique, telle que la paille et surtout le fumier.

L'effet des boues sur le pH du sol est variable : élévation, surtout dans le cas des boues flocculées à la chaux. L'épandage des boues augmente la teneur en azote total, 48% de l'azote organique est minéralisé en 16 semaines.

L'assimilabilité du phosphore apporté par les boues est plus grande sur les sols acides ou neutre que sur les sols alcalins et varie également avec le mode de conditionnement de ces déchets (POMMEL, 1975).

### **I.2.8- Risques environnementaux liées aux boues**

Les boues résiduaires urbaines peuvent contenir divers micro-organismes pathogènes et aussi des polluants métalliques et organiques à des teneurs nocives pour l'Homme et à l'environnement. Cependant, Chassande et *al.*, (2000) notent qu'en 30 ans de pratique d'épandage, aucun accident portant directement atteinte à la santé publique n'a été recensé. L'application des boues sans mesures de protection, expose les agriculteurs et leur voisinage à des risques sanitaires via la manipulation directe ou l'inhalation des poussières. L'épandage

des boues sur les terres agricoles constitue également une voie d'introduction des contaminants organiques et inorganiques dans les sols et les nappes phréatiques capables d'altérer leurs qualités physiques, chimiques et biologiques (Lasheen et Ammar, 2009 ; Walter et *al.*, 2006).

### **I.3-Eaux usées**

#### **I.3.1-Généralités**

Les eaux usées brutes, produites par une agglomération, sont généralement collectées par un réseau unitaire de canalisations recueillant aussi d'autres déversements d'eau issue des zones pavées, des routes et des toitures. L'épuration des eaux usées urbaines ou industrielles est une nécessité incontournable exprimant le niveau de la stratégie des politiques de gestion des ressources naturelles et du respect des modalités de développement durable du pays. En Algérie, le secteur de l'assainissement et de traitement des eaux usées atteint près de 200 stations. Les eaux usées représentent un volume de près de 2 milliards de m<sup>3</sup>, un tel volume une fois épuré, participera à l'augmentation de nos potentialités hydriques. L'objectif du Ministère des Ressources en Eau (MRE) est de réduire à zéro les rejets directs d'eaux usées brutes dans le milieu naturel (la mer et les oueds).

#### **I.3.2-Origine des eaux entrant en station d'épuration :**

- Les eaux domestiques
- Les eaux industrielles
- Les eaux de ruissellement.

##### **I.3.2.1- Les rejets domestiques**

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts. On distingue généralement deux « types » d'eaux usées domestiques qui arrivent toutes deux dans le réseau d'assainissement :

- Les eaux vannes, qui correspondent aux eaux de toilettes ;
- Les eaux grises qui correspondent à tous les autres usages : lave-linge, lave-vaisselle, douche/bain, etc.

La composition des eaux usées d'origine domestique peut être extrêmement variable, et dépend de trois facteurs :

- La composition originelle de l'eau potable, qui elle-même dépend de la composition de l'eau utilisée pour produire l'eau potable, de la qualité du traitement de cette eau, des normes sanitaires du pays concerné, de la nature des canalisations, etc. ;
- Les diverses utilisations par les particuliers qui peuvent apporter un nombre considérable de polluants : tous les produits d'entretien, lessives mais aussi, solvants, peintures, mercure de thermomètre, colle, etc.
- Les utilisateurs eux-mêmes qui vont rejeter de la matière organique dans les égouts (urines et fèces). Ce type de rejets apporte également des micro-organismes et des contaminants divers (médicaments), etc.

### **I.3.2.2 - Les rejets industriels**

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc.

Dans le cas d'un rejet dans le réseau domestique, avec ou sans prétraitement, les effluents industriels peuvent fortement modifier la composition des eaux usées. Cette modification est très étroitement liée à l'activité industrielle concernée et peut prendre des formes innombrables.

### **I.3.2.3-Eaux de ruissellement**

Les eaux de pluie qui ruissellent sur les surfaces imperméabilisées, en général en zone urbaine, sont collectées par un réseau qui peut-être le même que celui qui collecte les eaux usées, ou non.

- Les réseaux unitaires : un seul collecteur assure le transport des eaux usées et des eaux pluviales. La qualité et le volume des eaux qui arrivent alors à la station d'épuration sont très variables.
- Les réseaux séparatifs : deux réseaux sont mis en place, l'un pour collecter les eaux usées, l'autre pour les eaux de ruissellement. En principe seules les eaux usées arrivent à la station d'épuration pour traitement, c'est-à-dire que les eaux de pluie ne sont pas traitées et rejetées directement.

Les deux types de réseau présentent des inconvénients et des avantages et sont adaptés à des situations différentes. De manière très générale, les vieux réseaux sont plus souvent des réseaux unitaires : c'est le cas de Paris. Il est souvent très difficile de passer d'un réseau unitaire à un réseau séparatif, à cause des travaux très importants que cela nécessite. Les réseaux séparatifs sont donc plus souvent envisagés pour la construction de nouvelles zones urbaines que pour l'aménagement d'anciens quartiers.

### I.3.3 - Intérêt agronomique des eaux usées

La réutilisation en agriculture des eaux usées, diluées, épurées en parties ou brutes a atteint dans le monde près de 2 millions d'hectares (Qadir et *al.*, 2007). La rareté croissante des ressources hydriques dans plusieurs pays et la dégradation de leur qualité (par salinisation) font que la réutilisation des EUE en agriculture soit d'un intérêt certain. Le choix du domaine de réutilisation dépend essentiellement, de la qualité de l'effluent, des types de cultures, du système d'irrigation et des conditions édaphiques du sol (Pereira et *al.* 2002). Plusieurs effets bénéfiques sont à signaler : la protection des milieux naturels, la préservation et l'amélioration des conditions sanitaires des populations, l'exploitation d'une ressource en eau additionnelle et permanente, la valorisation des éléments nutritifs et la réduction des dépenses liées aux apports d'engrais chimiques. Le rappel des eaux usées constitue également une option de choix lorsque les ressources en eaux souterraines sont surexploitées ou fortement salées, afin d'atténuer les effets d'une salinisation secondaire des sols.

L'étude des sols après l'irrigation révèle un enrichissement en matière organique et en phosphore assimilable (Hartani, 2004). Les EUE présentent une valeur fertilisante appréciable, des apports d'éléments fertilisants d'une dose de 1000 mm sont de 219 kg N/ha; 125 kg P/ha et 289 kg K/ha, ce qui permet d'économiser sur les coûts de production liés aux engrais (Berdai et *al.*, 2004). Bien que les ETM soient signalés dans les eaux usées, leurs concentrations sont souvent inférieures aux teneurs maximales proposées pour l'irrigation par la FAO (2003), leurs apports comme microéléments sont d'un aspect bénéfique pour les cultures.

Berdai et *al.*, (2004), concluent que les cultures irriguées avec les EUE : la luzerne, le maïs, la courgette, la fève, le concombre, les pois, la tomate et les navets, ont montré une amélioration nette des rendements. Les facteurs avantageux sont : une salinité moins élevée et un risque de toxicité au sodium et au chlore plus faible ; la disponibilité d'éléments fertilisants majeurs. Ainsi, le taux de couverture des besoins des cultures par ces eaux varie entre 40 et 95 % pour l'azote, entre 33 et 100% pour le phosphore et dépassent 100 % pour le potassium.

## I.4. Description de la région d'étude

### I.4.1 - Situation géographique :

La wilaya de Boumerdes est une wilaya côtière du centre du pays qui s'étend sur une superficie de 1 456,16 km<sup>2</sup> avec 100 km de profil littoral allant du cap de Boudaoud el Bahri à l'ouest à la limite est de la commune d'afir (figure 5). La population de la wilaya est évaluée à 801 068 habitants (DPAT, 2017), réparti sur 32 communes et 09 dairas.

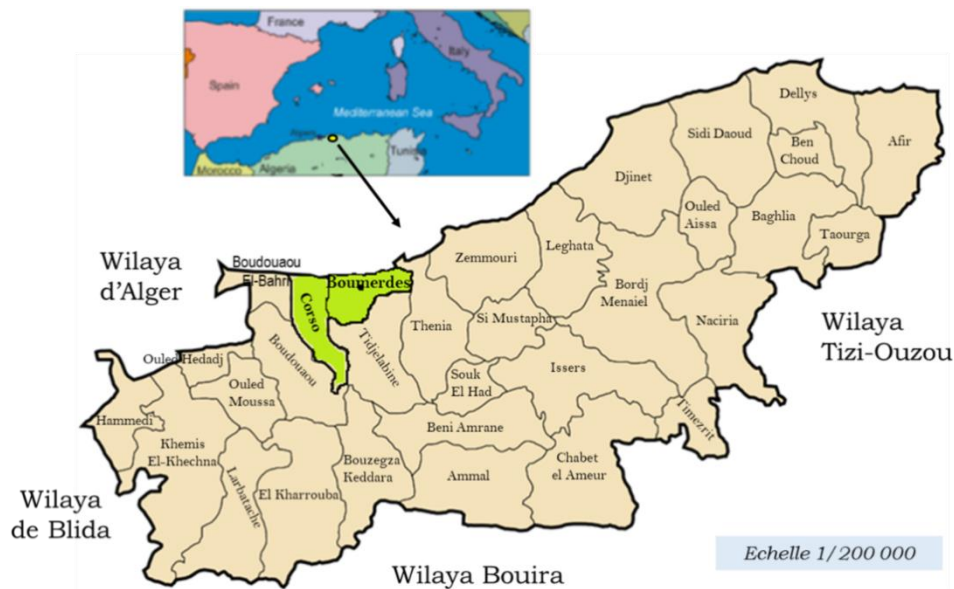


Figure 5 : Carte du découpage administratif de la wilaya de Boumerdes (DPAT, 2017).

### I.4.2-Le cadre physique :

Au plan géographique, la wilaya de Boumerdes est limitée par

- La Mer méditerranée au nord.
- La wilaya de Tizi-Ouzou à l'Est et la wilaya de Bouira au sud-est.
- La wilaya de Blida au sud-ouest.
- La wilaya d'Alger à l'ouest.

Cette position géographique confère à la wilaya de Boumerdes une position intéressante sur le plan des échanges commerciaux pour la région nord comme lieu de passage entre les parties Est et ouest de l'Algérie. A travers la wilaya de Bouira, Boumerdes constitue une porte vers la région steppique et du sud d'Algérie.

### I.4.2.1- Le relief

Le relief de la Wilaya est caractérisé par une juxtaposition d'ensembles physiques bien différenciés :

- une partie de la plaine de la MITIDJA orientale
- la zone des côtières d'Alger-Est et les vallées des oueds ISSER et SEBAOU
- la zone des collines de la chaîne côtière
- la zone des piedmonts
- la zone montagneuse

### I.4.2.2. Les sols de Boumerdes

Du point de vue pédologique, Boumerdes dispose d'un potentiel en sols d'une grande valeur agronomique, essentiellement réparti sur la vallée du bas Isser, la plaine du SEBAOU et de la Mitidja. Les sols sont caractérisés par une texture fine et par leur forte aptitude culturale. Selon leur potentialité agro-pédologique, nous distinguons trois catégories principales:

- Les sols fertiles à haut rendement agricole formant les plaines du littoral dont une partie est souvent marécageuse (bordure des oueds).
- Les sols cultivables mais parfois accidentés et exposés à l'érosion, propices à la pratique de la céréaliculture et de l'arboriculture rustique au niveau des piedmonts.
- Les sols pratiquement incultes formant les massifs montagneux rocaillieux, accidentés et recouverts de végétation forestière. (DPAT,2009).

La nature pédologique des sols est influencée par une roche mère de nature calcaire. Ce substrat géologique est omniprésent dans les bassins versants de l'Oued Sébaou et l'Oued Isser. Il est représenté notamment par les formations du tertiaire (marnes bleues du Miocène et Miopliocène) et des formations quaternaires du littoral. Ces formations sont représentées par des faciès littoraux et alluviaux masquant souvent la structure géologique de la région (Chemlal, 1983). Les alluviaux littoraux appelés aussi dépôts éoliens sableux sont formés à partir du retrait de la mer et du ravinement des formations tertiaires ; ils constituent le support actuel des sols agricoles étudiés. S'agissant des formations du quaternaire, elles sont répandues dans la région et décrites comme étant des sables de couleur rouge brique plus ou moins argileux, très fins et très riches en oxydes de fer. Ces formations rougeâtres qui gardent l'empreinte calcique de la roche mère sont par endroit sablo-limoneuses peuvent atteindre 50 m de profondeur (Chemlal (1983). D'après la synthèse des travaux du BNEDER (1994), les sols sont principalement répartis entre les classes de sols calcaires moyennement profonds,



(26 101 ha, soit 39,70 % de la S.A.U.) et les cultures fourragères (13 486 ha, soit 20,51 % de la S.A.U). La part de la SAU irriguée est évaluée à 12 200 ha, soit 18,56 % de la SAU totale.

**Tableau 1: Occupation de la Superficie Agricole (CA 2008/2009).**

Rubriques	Superficies (ha)
<b>Superficie Agricole Utile (S.A.U.)</b>	65 739
<b>Pacages et parcours</b>	18 591
<b>Terres improductives des exploitations agricoles</b>	15 263
<b>Total Superficie des Terres Utilisées par l'Agriculture (S.A.T.)</b>	99 593

\*CA : campagne agricole

#### I.4.3.2-La production végétale

Boumerdes est à vocation essentiellement agricole, où l'on distingue 2 types d'agricultures : une agriculture traditionnelle peu développée et localisée sur les massifs, principalement de subsistance avec une forte pratique d'élevage extensif ; une agriculture moderne pratiquée sur les larges replats longeant le littoral, les collines marneuses et les terrasses alluviales (Cherfouh et al., 2019).

La wilaya de Boumerdes est classée en zone 1 à forte potentialité agricole ou la pratique de la polyculture s'y prête bien. Le tableau suivant montre les différents types de la production végétale. Les superficies, les productions et les valeurs de chaque type de culture.

Concernant les principales spéculations, les productions suivantes ont été enregistrées :

**Tableau 2: Superficies et productions (Campagne agricole 2011/2012)**

Spéculations	Superficies récoltées (Ha)	productions (Qx)	Rendements (Qx/Ha)
<b>Céréales</b>	5 230	151 946	29,05
<b>Légumes sec</b>	687	10 340	15,05
<b>Fourrage</b>	13 486	600 000	44,49
<b>Agrumes</b>	1 695	344 186	203,04
<b>Culture maraichères</b>	26 101	5 876 186	225,12
<b>Vignes de table</b>	7 877	2 273 000	276
<b>Olivier</b>	6 136	153 400	25,00
<b>Figuier</b>	1 147	19 100	16,65
<b>Culture industrielles</b>	260	98 000	376,92

Source : D.P.A.T(2012)

(1) **vigne de table** : la production viticole de la campagne 2011/2012. A connu une augmentation de l'ordre de (+29%) par rapport aux campagnes précédentes, grâce aux Conditions climatiques favorables, la bonne maîtrise de l'itinéraire technique, le bon entretien des vignobles et la lutte phytosanitaire régulière.

#### I.4.4-les ressources hydriques

La wilaya de Boumerdès dispose de grandes réserves hydriques souterraines et superficielles. Les potentialités hydriques souterraines sont de l'ordre de 99,91 HM<sup>3</sup> et sont réparties sur six nappes (Bas Sebaou, Bas Isser, Oued Boumerdes, Oued Corso, Oued Boudouaou, Mitidja orientale).

Les barrages de la wilaya de Boumerdès au nombre de six (trois grands barrages et trois petits barrages) forment principalement les réserves superficielles d'une capacité totale théorique de : 183 184 000 M<sup>3</sup>:

**Tableau 3: La capacité en eau mobilisé dans la wilaya de Boumerdes**

Nom du Barrage	Capacité x10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup> )
<b>Keddara</b>	145 6
<b>Hamiz</b>	162,8
<b>Amrane</b>	131
<b>Sahel Bouberek</b>	37
<b>Djinet</b>	28
<b>Chender</b>	17

##### I.4.4.1-les ressources en eaux mobilisées

Les ressources effectivement mobilisées sont de l'ordre de 284,74 Hm<sup>3</sup> /an et sont répartis comme le montre le tableau 4.

**Tableau 4: capacité en eau mobilisé dans la wilaya de Boumerdes**

Ressources	Volume x 1000 (m <sup>3</sup> /An)
<b>Barrages</b>	183,18
<b>Eaux souterraines</b>	82,88
<b>Retenues collinaires</b>	1,16
<b>Sources</b>	0,69

La wilaya de Boumerdes dispose de ressources en eaux potentiellement mobilisables et qui sont représentées par les 3 stations d'épuration (Boumerdes, Thenia et (Zemmouri). Ces

infrastructures ont permis d'atteindre des taux de raccordement appréciables 88,18 % en assainissement) et de mettre en évidence la réelle opportunité de valorisation agricole des eaux usées épurées.

#### I.4.5-l'assainissement

Le tableau 5 montre les capacités de la wilaya de Boumerdes dans le domaine de l'épuration des eaux usées urbaines. La capacité totale est de 135000 Eq/Hab réparti sur les stations de Boumerdès, Thenia et Zemmouri gérées par l'Office National d'Assainissement.

La longueur totale du réseau d'Assainissement est de 1 164 km. Le taux moyen de raccordement au réseau public d'assainissement est de 88,18 %, les taux les plus faibles sont enregistrés au niveau des communes de Chabet El Aneur (70 %), Khemis El Khechna (72 %) et Larbatache (75 %).

**Tableau 5 : Stations d'épurations opérationnelles (ONA)**

Localisation de la STEP	Date mise en service	Capacité Eq/Hab	Débit moyen M <sup>3</sup> /J	Volume réutilisé M <sup>3</sup> /J	Lieu du rejet
<b>Boumerdès</b>	Janvier 2001	75 000	8000	1230	Oued Tatareg
<b>Thenia</b>	Juillet 2002	35 000	1200	-	Oued Boufroun
<b>Zemmouri</b>	Janvier 2002	25 000	1900	-	Oued Arrar

### I.5-Données agro-climatiques de la commune de Corso

#### I.5.1-Situation géographique

Notre zone d'étude se situe dans la commune de Corso dans les limites administratives de la daïra de Boumerdes, au nord-est de la Mitidja sur l'axe Alger-Boumerdes.

La commune de Corso située à 4 Km du chef-lieu de la wilaya, elle s'étend sur une superficie de 22,90Km<sup>2</sup> pour une population estimée à 20516 habitants selon le recensement général de la population et habitat (RGPH) de 2008.

La commune de Corso est délimitée par :

- La mer méditerranée au Nord.
- La commune de Boumerdes et Tidjelabine à l'Est.
- La commune de Boudouaou au sud.
- Boudouaou et Bahri à l'Ouest.

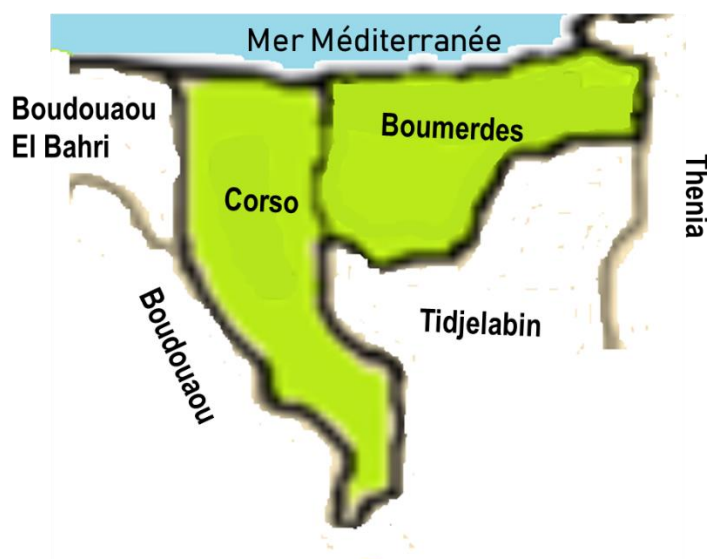


Figure 7: Présentation géographique de la commune de Corso

### I.5.2- Synthèse climatique

Le climat joue un rôle prépondérant dans des formations végétales et les processus physiologiques des plantes. Il joue aussi un rôle important dans l'évolution géomorphologique et pédologique des sols (Duchaufour, 1997). La connaissance de ce dernier revêt donc une importance capitale dans tous projets mise en valeur.

Pour une meilleure couverture climatologique de notre zone d'étude, nous avons pris les données de la station météorologique d'Isser, dont les coordonnées sont: Altitude 27m. - Latitude 36°45' 15,28''. -Longitude 3°27' 18,79''.

#### I.5.2.1- La pluviométrie

D'après la synthèse climatique de Seltzer (1946) la pluviométrie est extrêmement variable d'une année à une autre. La répartition des pluies obéit à certaines règles :

- La hauteur des pluies augmente avec l'altitude.
- Elle diminue en fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral.
- Elle augmente de l'Ouest et l'Est.

Tableau 6 : Pluviométrie moyenne mensuelle en (mm) pour la période (2001-2010)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	total
P(mm)	87,94	57,63	76,86	62,16	42,88	1,23	0,84	1,84	27,96	39,02	100,5	128,8	52,3

(Source : station météorologique d'Isser)

Selon le tableau d'analyse des précipitations, le mois le plus pluvieux est Décembre avec 128,8 mm et Juillet représente le mois le plus sec (0,84mm). La pluviométrie totale enregistrée est de 627,7 mm elle correspond à la moyenne annuelle de précipitation pour la période de 2001-2010, dont 95% sont enregistrées durant la période Octobre à Mai.

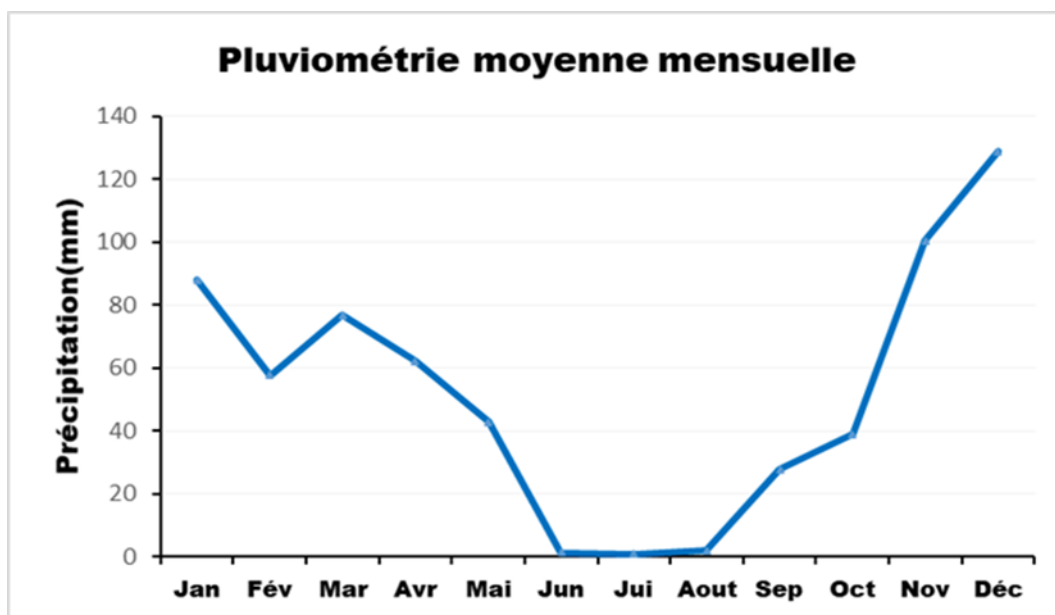


Figure 8: Variation mensuelle des précipitations moyennes de Corso pour la période 2001-2010

### 1.5.2.2- Les températures

La température atmosphérique est l'un des facteurs climatiques ayant un effet important sur les processus vitaux des êtres vivants et leurs répartitions géographiques, ainsi que l'évolution des sols (pédogénèse)—(Seltzer, 1946). Les températures varient selon deux facteurs (Escourrou, 1978) :

- Le lieu : L'altitude, la latitude et la continentalité.
- Le moment : La saison et la mobilité de l'air.

Tableau 7: Paramètres climatiques températures (T) dans la commune de Corso, pour la période (2000-2010).

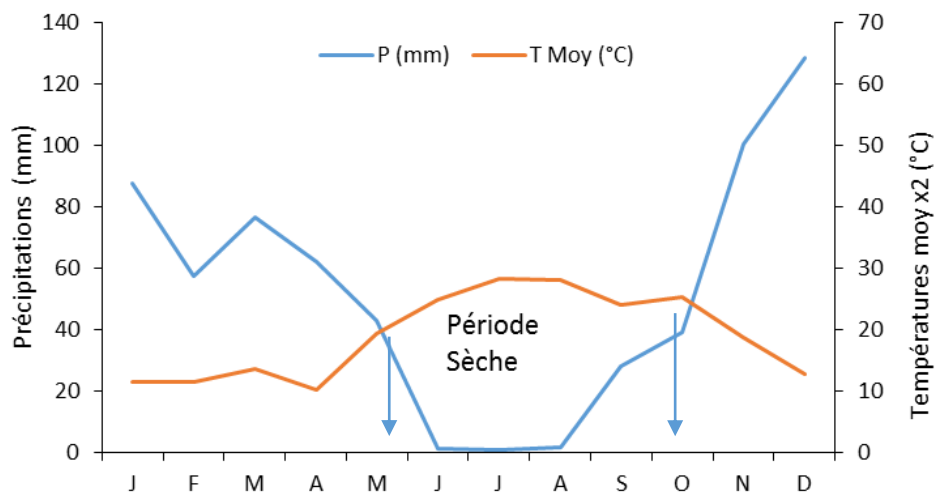
Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	moye
<b>T min</b> (°C)	7,66	7,34	10,5	8,02	16,32	23,47	26,35	25,61	21,65	21,14	14	9,28	15,95
<b>T max</b> (°C)	15,55	15,63	16,95	12,6	22,63	26,48	30,15	30,47	26,55	29,48	23,6	16,35	22,20
<b>T Moy</b> (°C)	11,60	11,48	13,72	10,31	19,47	24,97	28,25	28,04	24,1	25,31	18,8	12,81	19,07

### I.5.2.3- Les vents

Les vents dominants sont de directions Ouest et Nord-ouest avec une prédominance durant les mois de novembre à avril, par contre les vents Est et Nord-Est prédominent en Eté associés à des brises marines. Les vents de direction Nord sont plus fréquents et soufflent pendant toute l'année. Le vent de Sud chaud et sec (sirocco) qui souffle en Sud-Est et Sud-Ouest ne se produit qu'à faible intensité avec une moyenne annuelle de 20 jours par an (ONM Isser, 2015).

### I.5.3- Diagramme Ombrothermique

Le climat méditerranéen est bien marqué par une période séchée pour cette dernière nous avons utilisé le diagramme de Bagnols et Gausсен qui stipule qu'un mois est considéré sec quand la totale des précipitations en millimètre est inférieur au double de la température ( $P < 2t$ ) (Bagnols et Gausсен, 1953).



**Figure 9: Diagramme Ombrothermique de Bagnols et Gausсен pour Corso (ONM, Isser).**

Le diagramme ombrothermique de Bagnols et Gausсен, montre que le climat d'étude est caractérisé par :

- Une période sèche qui s'étale de mi-mai jusqu'à la fin du mois d'Octobre.
- Une période humide qui est assez étalée, de novembre jusqu'à mi-mai.
- L'étendu de la période sèche montre la durée pour laquelle la demande climatique n'est pas satisfaite, et la mise en place telles que les cultures maraichères et la vigne, nécessite un apport d'eau pour assurer une bonne production.

### I.5.4- Classification bioclimatique de la région d'étude

La classification bioclimatique de la région de Corso est réalisée par l'utilisation de la formule d'Emberger qui est la plus adaptée pour l'Afrique du Nord, les précipitations et les températures. Le climat peut être par ce quotidien qui traduit sa sécheresse, il s'exprime selon la formule modifiée par (Stewart, 1969) :

$$Q_2 = 3,34 * P / (M - m)$$

D'où :  $Q_2$  : Quotient pluviométrique.

P : Précipitation moyenne annuelle.

K : 3,34 (coefficient de Stewart établi pour l'Algérie et le Maroc).

M-m : L'amplitude thermique.

$$Q_2 = 3,34 * 627,69 / (30,47 - 7,34), \text{ donc } Q_2 = 93,08$$

Le quotient pluviométrique d'Emberger ( $Q_2 = 93,08$ )

Que nous avons obtenu, nous permet de classer notre zone d'étude dans l'étage bioclimatique subhumide doux.

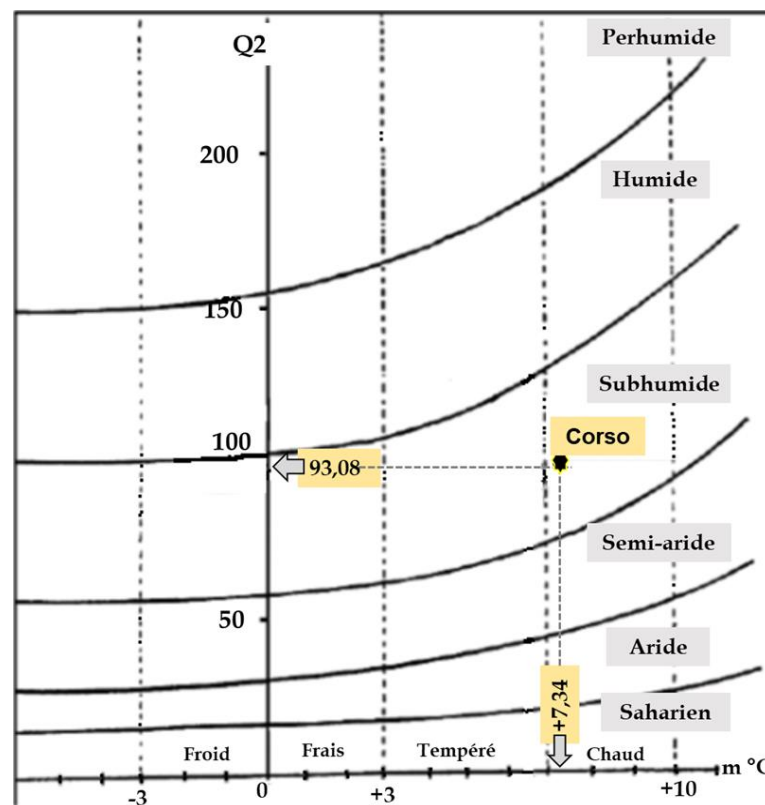


Figure 10: Climato-gramme d'Emberger pour la région de Corso (ONM Isser, 2015)

L'Étude climatique nous montre que notre région d'étude est soumise à un climat méditerranéen avec une période de sécheresse estivale de cinq mois, et des hivers avec des précipitations assez importantes. Cependant, le climato-gramme d'Emberger classe notre région d'étude dans l'étage Bioclimatique subhumide doux avec une pluviométrie totale annuelle de 627,29mm.

## **I.6- La culture de la vigne**

La vigne est l'une des plus vieilles cultures qui a pris naissance il y a quatre mille ans environ ; elle possède de grandes facultés d'adaptation aux conditions pédoclimatiques. On la cultive dans les régions chaudes et également sous les climats relativement froids. L'Algérie, comme les autres pays du bassin méditerranéen, jouit d'un climat et d'une diversité du sol qui lui permet d'accueillir un grand nombre d'espèces fruitières et de vignes sur son territoire.

Durant la période coloniale, le vignoble algérien représentait l'une des principales richesses du pays qui, malheureusement, n'a pas pu être maintenue dans le temps. La situation se trouve alors caractérisée par une baisse des superficies et une production faible et fluctuante d'une année à l'autre.

A partir de l'année 2000, l'État a mis en place un vaste programme de développement de la viticole à travers le plan National de développement Agricole(PNDA). Ce plan apporte un soutien financier à la production de plants et à la création et la réhabilitation de pépinières.

Le programme prend en charge l'activité viticole par un développement en amont de la production de plants de vigne (création des CPM, installation de pépinières).

L'amélioration du potentiel viticole passe nécessairement par la mise en place d'une planification efficiente et rationnelle pour atteindre une bonne production tant en quantité qu'en qualité :

- En accordant plus de soins au vignoble existant ; en effet les viticulteurs doivent adopter les techniques culturales modernes qui leurs permettront d'améliorer les rendements tels que les modes de conduites, l'entretien du sol, la meilleure taille pour chaque cépage, les traitements phytosanitaires.
- En remplaçant les vieilles plantations en ayant recours aux différentes techniques de multiplication notamment le griffage sur table ou en plein champs.

L'Algérie est dotée d'un patrimoine viticole très diversifié constitué, hormis les cépages classiques, d'un grand nombre de variétés autochtones réparties essentiellement en zone de montagnes. La willaya de Boumerdes constitue à elle seule 45% de la production nationale en raisin de table à partir de variétés importées d'Espagne, de France et d'Italie. D'autres parts une régression des variétés locales est constatée se limitant à quelque individu préservé dans des stations expérimentales de l'institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la vigne (ITAF).

Face à cette régression, le patrimoine viticole doit faire l'objet d'une réhabilitation des cépages autochtones à travers un programme d'action de plantation.

Parmi ces actions, la disponibilité du matériel végétal en quantité et en qualité est nécessaire.

C'est dans cette optique que la production de plants en pot des cépages locaux trouve sa justification et doit passer par une multiplication intensive en utilisant les méthodes de propagation les plus appropriées.

L'objectif de cette étude est de déterminer l'effet de la position des bourgeons de cinq cépages autochtones : Aberkane, Ain Kouma, El bouni, bezoul El Khadem, Ghnez sur la réussite des plans greffés sur le porte-greffe 1103p.

### I.6.1-Systématique de la vigne

La classification classique de la vigne est la suivante

- Règne : Plante.
- Division : Magnoliophyta.
- Classe : Magnoliopsida.
- Ordre : Rhamnales.
- Famille : Vitaceae
- Genre : *Vitis*

-La vigne appartient à la famille des ampéldacées (vitacées). Les vitacées sont en général, de arbrisseaux souvent sarmenteux, grimpant comme des lianes, s'attachent à des supports varie grâce à des vrilles oppositifoliées, simple ou le plus souvent ramifiées. Cette famille comprend dix-neuf (Galet, 2000), un seul de ceux-ci nous intéresse : Le genre *Vitis* lui-même divisé en trois groupes de vignes, classée en fonction de leur origine Géographique (Huglin et Schneider, 1998).

-Les vignes américaines (*V.reparia*, *V.labrusca*, *V.berlandieri* *V.rupestris*,...), introduite en Europe au début du XIXème siècle, à titre de curiosité dans les jardins botaniques ou chez les amateurs, sont responsables des malheurs de la viticulture : elles apportèrent en Europe successivement l'Oïdium (1845), le phylloxera (1868), le Mildiou(1878) et le Black rot (1885).

Ces vignes d'origine américaines sont utilisées aujourd'hui comme porte-greffe pour leur résistance aux maladies venues d'Amérique.

-Les vignes asiatiques elles ne sont pas résistantes aux maladies d'origine américaine (Oïdium, Mildiou, Black rot...), mais elles sont parfois utilisées dans les programmes de croisement interspécifique pour leur résistance au froid (*vitis amurensis*). (Galet, 2000).

-La vigne européenne ne comprend que l'espèce *vitis vinifera* cultivée (*sativa*) et sauvage (*selvestris*) (Huglin et Schneider, 1998).

### **I.6.2- le bilan viticole 2000/2018**

La commune de Corso dispose d'une surface de 1119.5 ha, représentant 72% de la surface agricole totale. Cette surface agricole est répartie sur 35 exploitations agricoles collectives et 07 exploitations individuelles. Les cultures dominantes sont la vigne et les cultures maraîchères. Cependant, à l'échelle de la wilaya, une forte progression des surfaces plantées est observée pour la culture de la vigne, passant de 6412 ha en 2000-2001 à 13872,8 ha en 2017-2018 soit une moyenne annuelle de 414ha. La production annuelle de raisin de table atteint 2 millions de quintaux sur une surface de rapports estimée à 10 450 ha, soit 45% de la production nationale (DSA, 2018). Ce développement de la viticulture exprime les fortes potentialités agricoles de cette wilaya et il est le résultat de la maîtrise de l'itinéraire technique :

Choix du port greffe.

- Choix du cépage.
- Condition climatique favorable.
- Bonne maîtrise de l'itinéraire technique.
- Très bon entretien des vignobles. Bon entretien phytosanitaire

Tableau 8 : Evolution de la superficie viticole de Boumerdes.

Année	Sup total (ha)	Année	Sup total (ha)
2000	6412	2009	8739
2001	7247	2010	8748
2002	7509	2011	8973
2003	8005	2012	9184
2004	8138	2013	9091
2005	8271	2014	9597
2006	8458	2015	10695
2007	8539	2016	10948
2008	8739	2017	11548

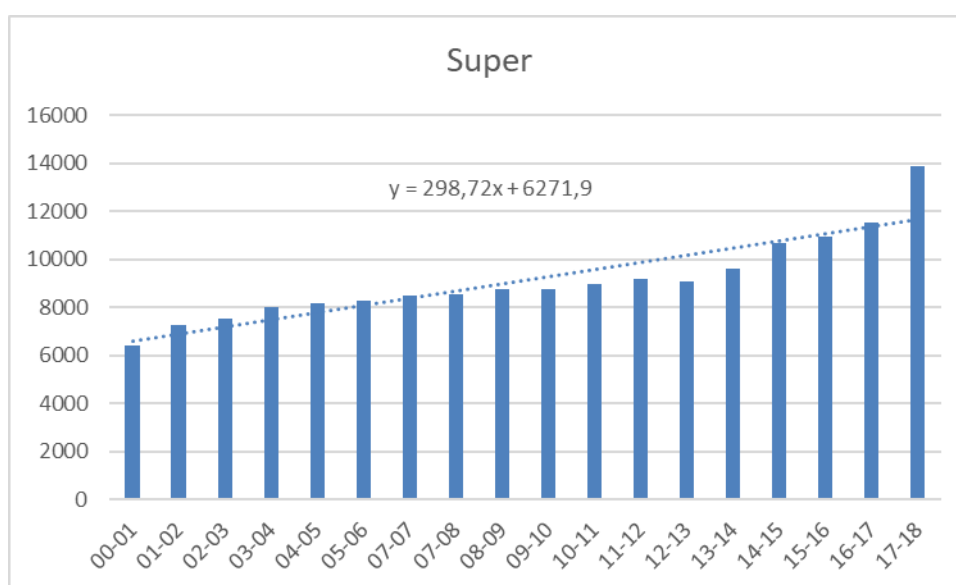


Figure 11: Evolution de la superficie viticole durant les 18 années précédentes

MATERIEL ET  
METHODES



## II.1 – Identification de la parcelle étudiée

L'échantillonnage du sol a été effectué en mars 2013 (Attouchi et Sghir, 2013 ; Cherrared 2013). Il s'agit d'une parcelle de vigne (raisin de table), amendée avec les boues résiduaires et irriguée avec les eaux usées épurées provenant de la Step (station d'épuration) de la ville de Boumerdes depuis 2002. La parcelle étudiée est située dans la commune de Corso (Figure 12). La parcelle étudiée a été répartie en sous parcelles et les prélèvements ont été selon la diagonale et sur trois (3) profondeurs (0 – 10cm ; 10 – 25 cm et 25 – 45cm). L'ensemble des échantillons objet de notre étude ont été préparés par nos camarades de la promotion de 2013 et conditionnés au laboratoire du Département.

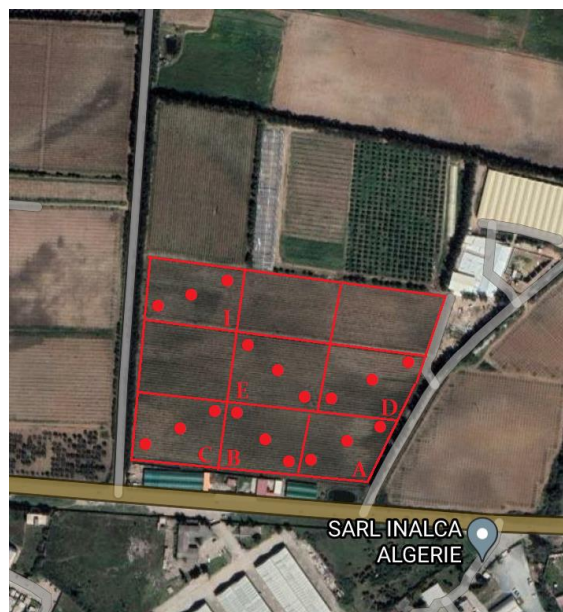


Figure 1: Situation géographique de la parcelle étudiée (Google earth 2021, modifiée).

## II.2 -présentation de STEP de Boumerdes

Cette station assure l'épuration des usées, qui se déversait autrefois en grande quantité dans des points de rejets sauvage, c'était une source de pollution importante de la mer. Aujourd'hui avec l'épuration de ces eaux, 1100 tonnes de boue sont dégagées autrement dit-elle arrivent à récupérer ce qui se perdait autrefois au fond des mers avec toutes les conséquences néfastes. Les résultats obtenus par les stations sont probants, 95% du plancton et 96% de matière organique. Les eaux épurées sont déversées vers l'oued d'Atraque et prennent leurs cours la même voie vers les plages de Boumerdes afin de les préserver de la pollution environnementale.

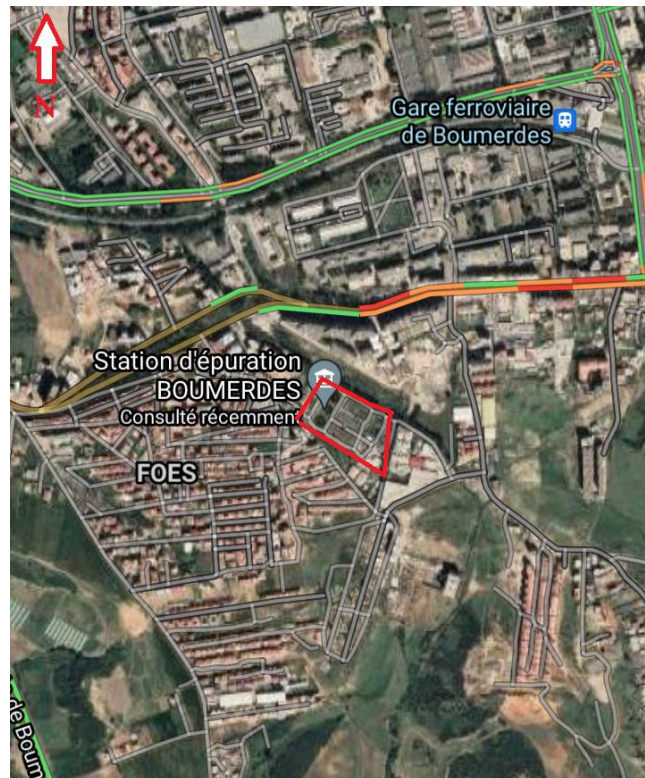


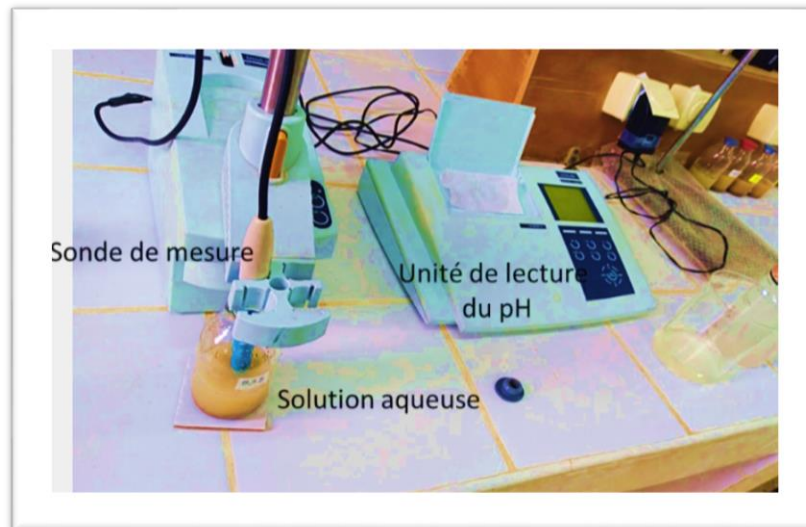
Figure 2: Illustration de la position géographique de la station d'épuration de Boumerdes (Google Maps, 2021)

### II.1.3 – Paramètres analytiques

#### II.1.3.1 - pH du sol

Le pH du sol est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité des sols. Le pH de la solution du sol est considéré comme l'une des principales variables exprimant les propriétés chimiques des sols. Cette caractéristique contrôle de nombreux processus chimiques telle que la solubilité des éléments, par conséquent la nutrition minérale des plantes (Soltner, 2004). Ce potentiel hydrogène affecte spécifiquement la disponibilité des éléments nutritifs des plantes, en contrôlant les formes chimiques des nutriments (Kabata-Pendias, 2011).

La mesure du pH est faite à l'aide d'un pH-mètre selon le mode opératoire suivant :



**Figure 3: Illustration de la mesure du pH de la solution du sol.**

#### **Pour le pH-eau**

- Étalonnage du pH mètre avec les solutions tampon pH 4, pH 7 et pH 10.
- Peser 20g de sol (terre fine  $\leq 2\text{mm}$ ) dans un bécher de 100ml
- Ajouter 50 ml d'eau distillé, selon le rapport solide/liquide de 1/2,5
- Agiter de temps à autre durant une période de contact de 2h.
- Effectuer la mesure après stabilisation de la valeur affichée.

#### **Pour le pH-KCl**

- Préparation de la solution KCl (1mol/litre)
  - Dans une fiole jaugée de 1000ml verser 800ml d'eau distillé, dissoudre 74,5g de chlorure de potassium
  - Ajuster avec de l'eau distillée à 1000ml
  - Agiter jusqu'à une dissolution parfaite des sels de chlorure de potassium
- Étalonnage du pH mètre avec les solutions tampon pH 4, pH 7 et pH 10.
- Peser 20g de sol (terre fine  $\leq 2\text{mm}$ ) dans un bécher de 100ml et ajouter 50 ml de solution KCl à 1mol/litre, selon le rapport 1/2,5
- Agiter de temps à autre durant une période de contact de 2h.
- Effectuer la mesure après stabilisation de la valeur affichée.

#### **II.1.3.2 – Conductivité électrique**

La conductivité d'une solution est la mesure de la capacité des ions à transporter le courant électrique. La conductivité d'une solution dépend de la concentration des ions présents et de leur vitesse de migration sous l'influence de la force électromotrice appliquée. Plus

l'électrolyte est dilué, plus la conductivité diminue, car il y a moins d'ions par volume de solution pour assurer le transport du courant.

La conductivité d'une solution est définie comme l'inverse de la résistance. Sa mesure s'effectue par l'utilisation d'une cellule de conductivité couplée à un conductimètre, et la conductivité s'exprime en  $\mu\text{S/cm}$ ,  $\text{mS/cm}$  ou  $\text{dS/m}$ .



**Figure 4: Illustration de la mesure de la conductivité électrique.**

La détermination de la conductivité électrique a été faite selon le mode opératoire suivant :

- Peser 10g de sol terre fine préalablement séché
- Ajouter 50ml d'eau distillé dans un bécher 100ml. Le rapport sol/eau à respecter est 1/5
- -agiter chaque 15minute pendant 2h
- -transvaser le liquide dans un bécher de 50 ml
- -faire la mesure de la CE.

### II.1.3.3 – Teneur en matière organique du sol

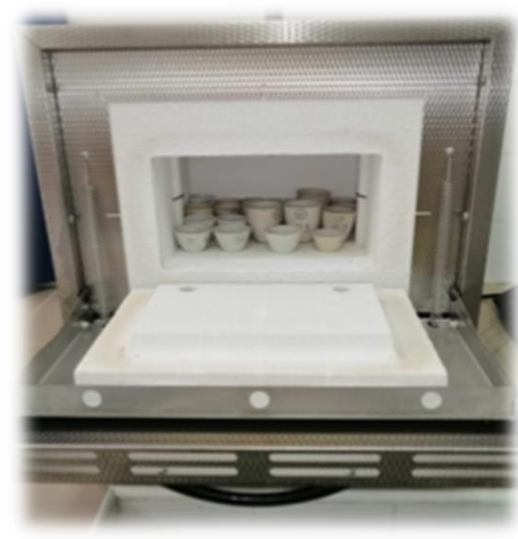
Pour doser de la matière organique, nous avons utilisé le protocole de la perte au feu décrit par Mathieu et Piéltain (2003). La méthode consiste à soumettre l'échantillon de sol à niveau de températures : à 200°C durant 16h pour éliminer le maximum d'eau inter-foliaire et d'eau des bordures des argiles et à 450°C durant 4heuresn pour la combustion du carbone organique. Le mode opératoire a été adopté pour l'ensemble des échantillons.

- Le sol d'un poids de 5 g a été mis dans des creusets en céramique préalablement pesés à 0.001 g. le poids du creuset est noté  $M_0$ .

- Introduire les échantillons pour une durée de 16h dans l'étuve à 200°C, puis peser et noter le poids de l'échantillon déshydraté  $M_1$ .
- Placer le creuset et son contenu dans le four électrique et porter la température à  $450 \pm 10^\circ\text{C}$ , maintenir cette température pendant 4 heures, peser et noter le poids  $M_2$
- Recommencer l'opération de calcination jusqu'à ce que la différence de poids entre des pesées successives soit de moins de 0,01 g. Noter le poids du creuset plus l'échantillon calciné :  $M_2$ .



(a)



(b)

**Figure 5: Illustration de la mesure de la matière organique : (a) creusets à l'intérieur de l'étuve et (b) à l'intérieur du Four.**

#### • Calculs :

La perte au feu exprimée en pourcentage de la masse de l'échantillon déshydraté (après chauffage à  $220^\circ\text{C}$ ) est donnée par l'expression :

$$\text{Perte au feu} = \text{Carbone Organique (\%)} = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} * 100$$

$$\text{Matière Organique (\%)} = 1,724 \times \text{C Org (\%)}$$

#### II.1.3.4 – Analyse statistique

L'analyse des données des paramètres analytique a été faite avec les logiciels Excel, StatBox et le R. Cette analyse est faite pour décrire l'évolution des paramètres sur le plan horizontal et vertical au sein de la parcelle étudiée en nous basons sur leurs valeurs et le calcul de moyennes, ainsi que l'analyse de la variance pour connaître la signification des différences des paramètres. ACP, permet une projection des données dans un plan multi-dimensionnel, et d'observer les corrélations pertinentes éventuelle entre paramètres.

RESULTATS ET  
DISCUSSION



### III - Résultats et discussion

#### III.1- pH de la solution du sol

##### III.1.1- pH-eau

Les résultats de la détermination du pH-eau de la solution du sol des échantillons prélevés de la parcelle étudiée sont portés dans le tableau 9. Les pH enregistrés évoluent de 6,29 à 7,4 alors que le pH moyen du sol de la parcelle est de  $6,79 \pm 0,16$ . Ceci indique que la réaction du sol est qualifiée selon les normes (annexe 1) de légèrement acide à neutre. Cette catégorie de pH est considérée comme étant adéquate à l'alimentation minérale des plantes et quelle ne constitue pas de contrainte quelconque entravant le développement normal des organismes vivants (Soltner, 2005).

Au sein des sous parcelle considérée (A, B, C, D, E, I) les ph-eau moyens déterminé sont variables de 6,55 à 6,98 (Tableau 9). Il est a noté que cette variation est inférieure à l'unité de pH, ce qui permet de dire que globalement le pH-eau moyen du sol est stable sur la parcelle. En revanche, les sous parcelles B et E présentent les pH-eau relativement important sur l'ensemble des échantillons analysés et évoluent respectivement entre 6,35 à 7,41 et 6,82 à 7,19.

**Tableau 9 : pH-eau moyen des échantillons de sol en fonction des sous parcelles.**

Profondeur (cm)	A	B	C	D	E	I	Moy
0 à 10	6,55	6,53	6,93	6,70	6,97	6,79	6,74
10 à 25	6,46	7,10	6,94	6,74	6,94	6,82	6,83
25 à 40	6,64	6,77	6,81	6,73	7,04	6,72	6,79

L'observation des résultats montre que le pH-eau de la solution du sol évolue de façon croissante en fonction de la profondeur du sol. Cette observation confirme, le transfert des cations basiques de la surface du sol et leur accumulation dans la couche allant de 25 à 40cm, La figure suivante représente les histogrammes de valeurs de pH des sous-parcelles analysées (A, B, C, D, E, I) qui montre augmentation du pH en fonction de la profondeur.

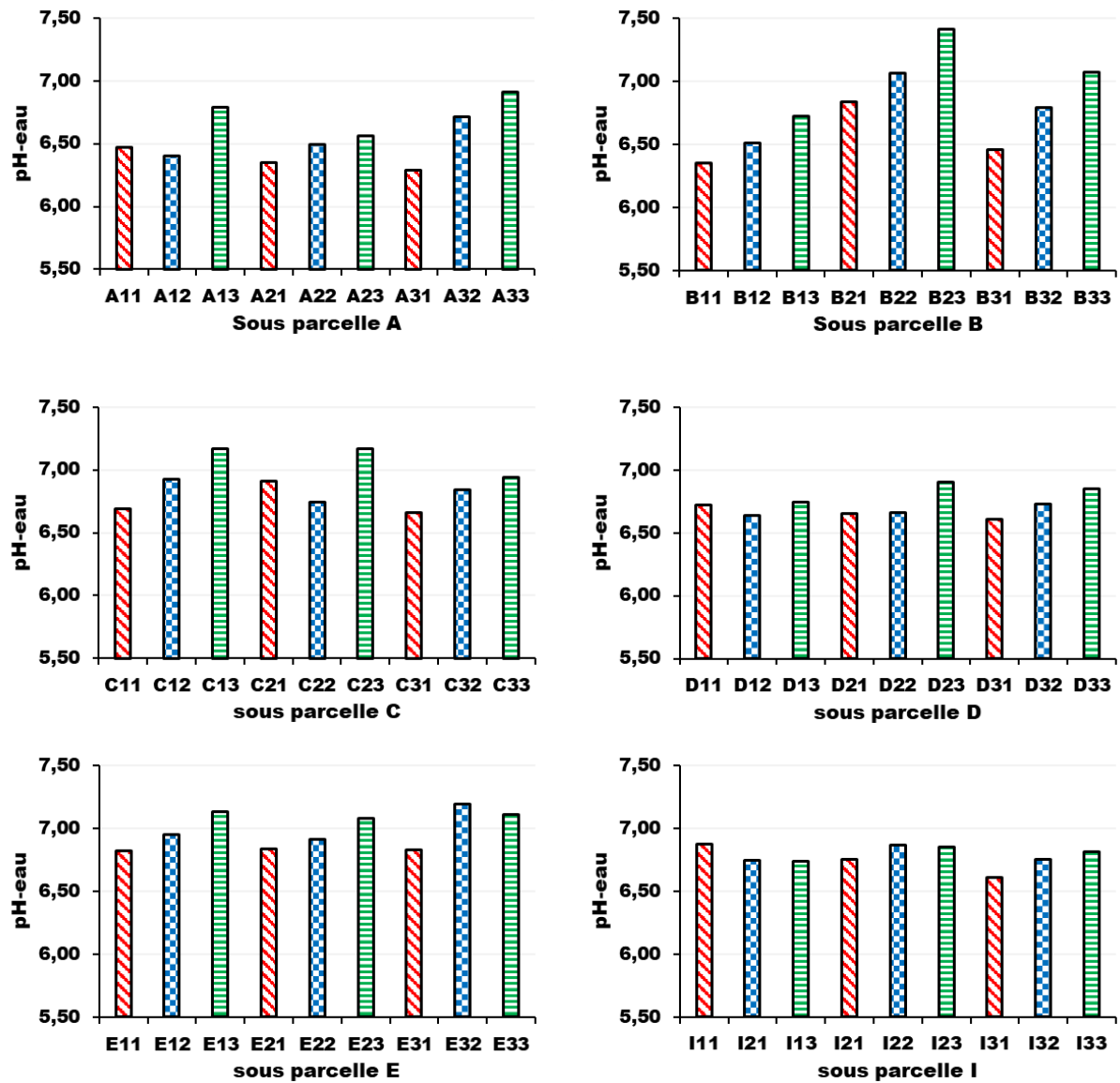


Figure 6: Variation du pH-eau dans le sol des six sous parcelles et en fonction de la profondeur d'échantillonnage.

**Tableau 10 : Analyse de la variance au seuil de 5% des données du pH pour les facteurs sous-parcelle et profondeur.**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
<b>Var. Totale</b>	2,836	53	0,054				
<b>Var. Facteur 1</b>	0,987	5	0,197	8,279	0,00003		
<b>Var. Facteur 2</b>	0,766	2	0,383	16,072	0,00001		
<b>Var. Inter f1*2</b>	0,225	10	0,022	0,942	0,50853		
<b>Var. Résiduelle 1</b>	0,858	36	0,024			0,154	2,27%

L'analyse de la variance montrent qu'il y'a une différence très hautement significative pour le facteur profondeur et sous parcelles, sur la base de cette analyse, la parcelle étudiée est significativement hétérogène par rapport au paramètre pH. La source de cette variation du pH serait éventuellement induite par la variabilité de la distribution de l'eau d'irrigation et des quantités de boues résiduaires.

Ainsi le test de NEWMAN et KEULS fait apparaitre quatre groupes homogènes pour e facteur sous parcelle (tableau 11).

- La sous-parcelle E dans le groupe A.
- La sous –parcelle C dans le groupe AB.
- Les sous-parcelles B, D et I dans le groupe B.
- La sous-parcelle A dans le groupe C.

**Tableau 11:Résultats du test de NEWMAN et KEULS pour le pH, facteur sous-parcelles**

<b>F1</b>	<b>Libelles</b>	<b>Moyennes</b>	<b>Groupes Homogènes</b>		
<b>5.0</b>	E	5	A		
<b>3.0</b>	C	5	A	B	
<b>2.0</b>	B	5		B	
<b>6.0</b>	I	5		B	
<b>4.0</b>	D			B	
<b>1.0</b>	A				C

Pour le facteur profondeur le test de NEWMAN et KEULS fait apparaitre trois groupes homogènes A, B et C, qui regroupent respectivement les profondeurs : 25-40cm, 10-25cm et 0-10cm (Tableau 12). Ceci implique que par rapport au pH du sol, la différence entre les profondeurs prospectées est hautement significative. Ce résultat témoigne de la pertinence du

choix des profondeurs échantillonnées et aussi de la variation significative du pH du sol en fonction de la profondeur.

**Tableau 10 : Résultats du test de NEWMAN et KEULS pour le pH des profondeurs**

F2	Libelles	Moyennes	Groupes Homogènes		
3.0	25 à 40 cm	6	A		
2.0	10 à 25 cm	6		B	
1.0	0 à 10 cm	6			C

### III.1.2 - pH-KCl

Ce paramètre est obtenu au laboratoire avec le même mode opératoire que le pH-eau, mais le l'eau distillée est remplacée par une solution de KCl (1mol/l). Les échanges escomptés dans le milieu tendent à remplacer les ions  $K^+$  sur le complexe adsorbant par les ions  $H^+$ , qui sont libérés dans la solution.

Les résultats de la détermination du pH-KCl de la solution du sol des échantillons prélevés de la parcelle étudiée sont portés dans le **tableau 13**. Les valeurs de pH-KCl enregistrés évoluent de 5,56 à 6,91 alors que la valeur moyenne est de  $6 \pm 0,24$ . Globalement, les résultats montrent que le pH-KCl est inférieur au pH-eau sur l'ensemble de la parcelle et l'écart varie de 0,14 à - 1,33. Cette différence se situe dans l'intervalle de 0,5 à 1,5 unités, rapportées par la bibliographie.

**Tableau 13 : pH-KCl de la solution du sol des échantillons prélevés.**

Profondeur (cm)	A	B	C	D	E	I	Moy
0 à 10 cm	6,02	5,93	6,19	6,19	6,19	5,77	5,97
10 à 25 cm	6,15	5,82	5,96	5,96	5,96	6,56	6,05
25 à 40 cm	6,03	5,77	5,80	5,80	5,80	6,24	5,96

### III.1. – Ecart pH-eau - pH-KCl

Les écarts entre les deux types sont illustrés dans les (figures 18), et permettent de qualifier le taux de saturation du complexe argilo-humique. La différence arithmétique entre le pH-eau et le pH-KCl, évolue dans l'intervalle de 0,14 à 1,33 cela a une incidence directe sur le taux de saturation du complexe adsorbant. Selon le tableau (Annexe 2), on estime que le complexe adsorbant au niveau de notre sol est moyennement saturé :

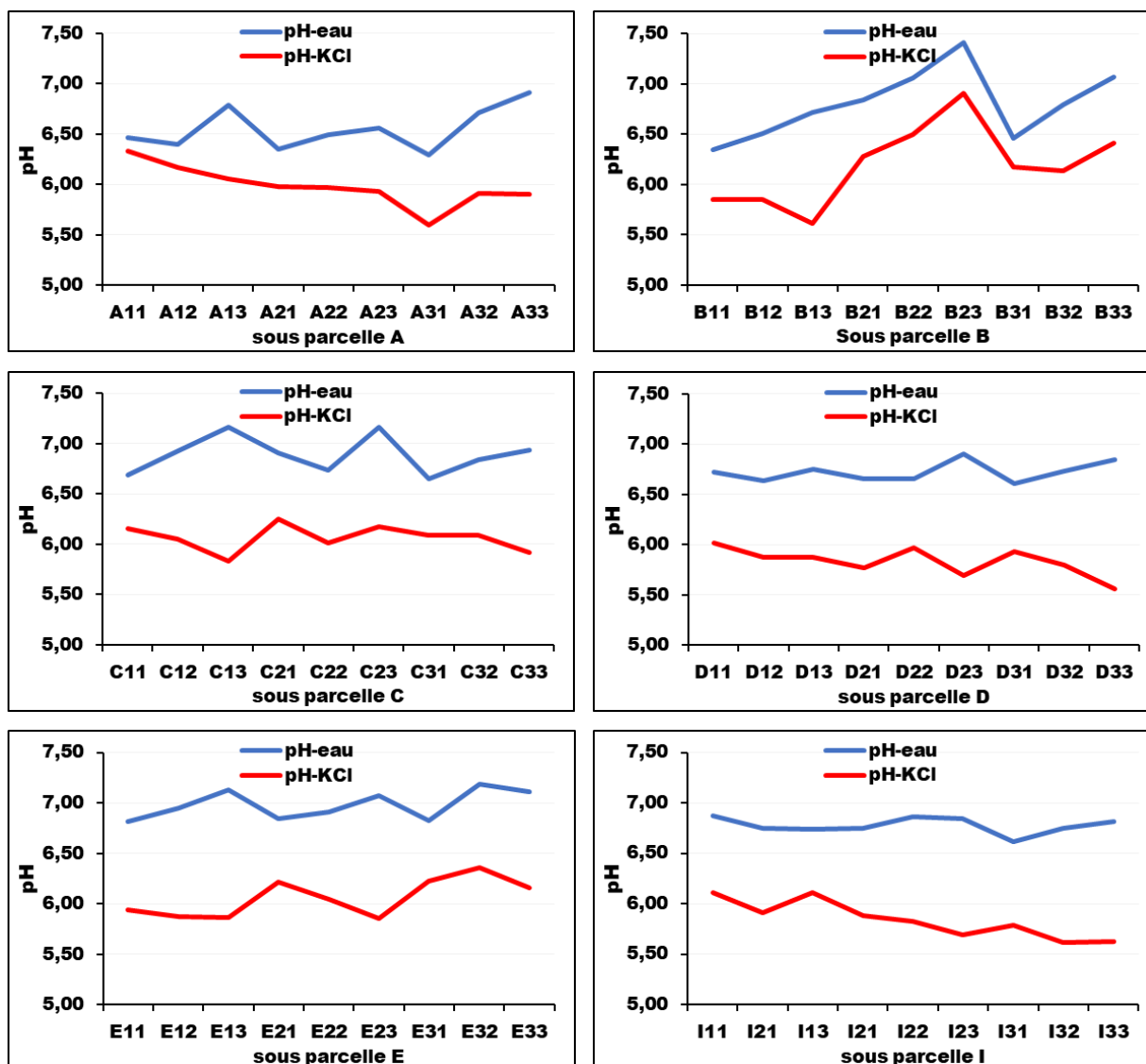


Figure 7 : Représentation graphique de l'écart entre le pH-eau et le pH-KCl

Selon Félix-Faure et Kalt. (2003), l'écart entre le pH eau et le pH KCl caractérise le potentiel d'acidification du sol. Il renseigne sur les risques d'acidification d'une parcelle, sur la base de l'écart existant avec son pH eau.

- **Ecart < 0,1** : pas de potentiel d'acidification. Très rarement rencontré en climat tempéré, ce cas est malheureusement relativement fréquent pour les sols tropicaux acides et exprime le fait que le stade ultime d'acidification est atteint. On parle alors parfois de « sol mort ».

- **Ecart compris entre 0,2 et 0,5** : faible potentiel d'acidification. Il faut vérifier si cela correspond à la nature même du sol ou à une dégradation de son état.

- **Ecart compris entre 0,6 et 1** : acidité échangeable moyenne. La prise en compte du pH KCl est nécessaire dans la gestion du chaulage.

- **Ecart > 1** : fort potentiel d'acidification.

Comme signalé précédemment, l'écart  $\text{pH}_{\text{eau}} - \text{pH}_{\text{KCl}}$  est compris entre 0,14 et 1,33, mais il est à noter aussi que seuls 10 échantillons sur 54 ont un écart  $\geq 1$  et dans 7 cas l'échantillon est prélevé dans la profondeur de 25 à 40 cm. Enfin, il sera intéressant de comprendre l'origine de cet écart (fort pouvoir tampon du sol, chaulage récent...) pour le choix et la fréquence des produits calciques ou calco-magnésiens à apporter éventuellement. Cette différence entre le pH eau et le pH KCl est liée au pouvoir tampon du sol (complexe argilo-humique), aux pratiques culturales mais aussi aux conditions climatiques influant sur les transferts entre les différentes composantes du sol (Gros, 1979).

### III.2 - conductivité électrique

Les résultats de la détermination de la conductivité électrique de l'extrait aqueux (rapport 1/5) des échantillons prélevés de la parcelle étudiée sont portés dans le (Tableau 14). Les valeurs de la CE enregistrées évoluent de 30,20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 129,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , alors que La CE moyenne du sol est de 75,1  $\mu\text{S}/\text{cm} \pm 14,78$ . Ceci indique que la solution du sol est qualifiée de non salée et que la salinisation du sol ne s'est pas produite suite aux irrigations. Selon les normes (annexe 2). Ce niveau de salinité ne constitue pas une contrainte à l'alimentation minérale des plantes (Clapp et al., 1986).

**Tableau 14 : Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) des échantillons prélevés**

Profondeur (cm)	A	B	C	D	E	I	Moy
0 à 10	63,67	80,53	54,27	63,67	80,53	54,27	62,74
10 à 25	76,53	80,35	66,37	76,53	80,35	66,37	70,11
25 à 40	68,30	65,95	60,93	68,30	65,95	60,93	62,44

A l'échelle des sous parcelles considérée (A, B, C, D, E, I) les valeurs de la CE moyennes déterminées sont variables de 58,16  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . à 75,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ce qui permet de dire que globalement, la CE moyenne du sol est stable sur toute la parcelle. Cependant, les sous parcelles A et C présentent une CE relativement importante et atteint respectivement les valeurs de 111,4 et 129,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (figure19).

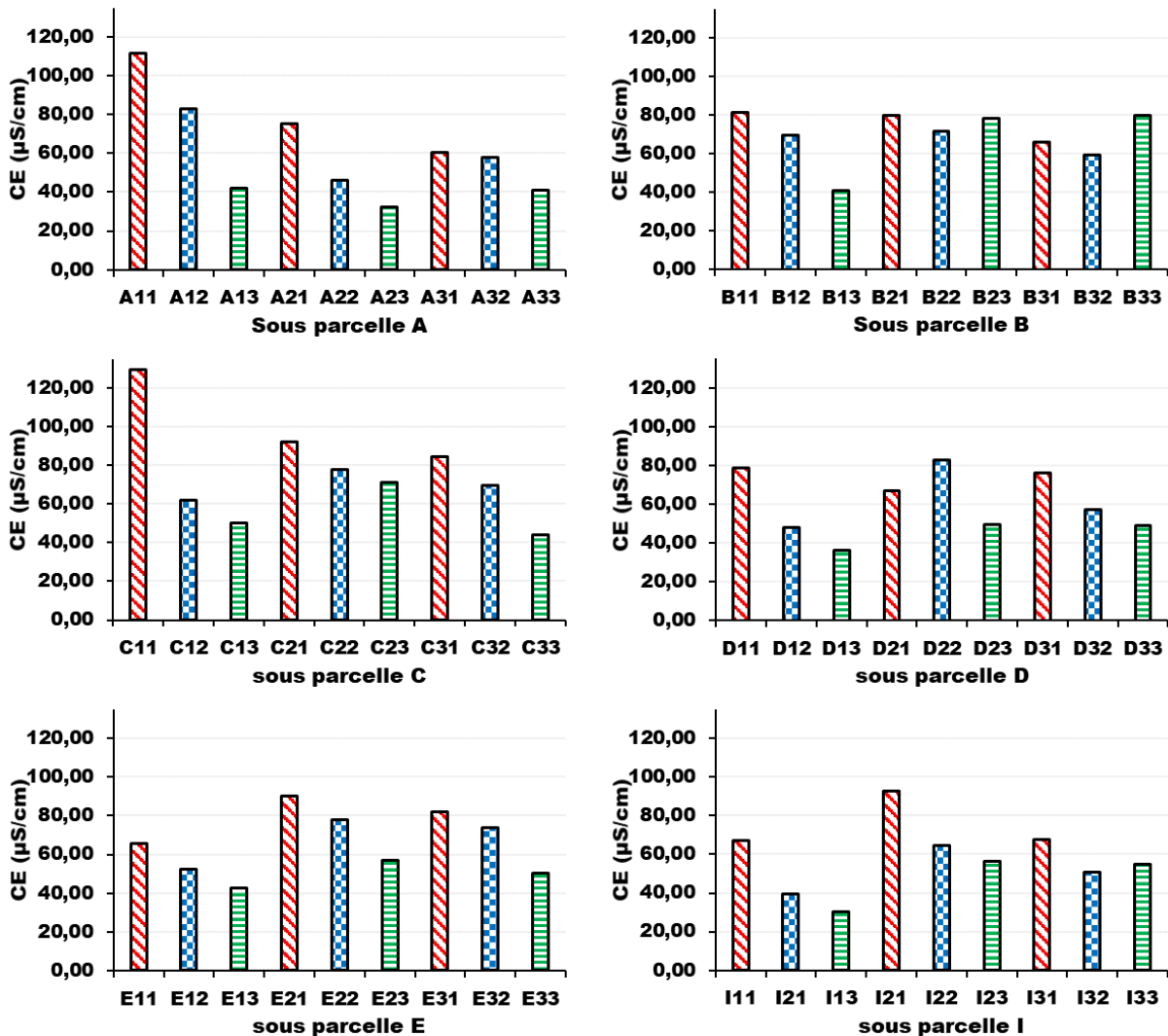


Figure 19 11: Variation de la CE dans le sol des six sous parcelles et en fonction de la profondeur d'échantillonnage.

Selon la profondeur du sol, la salinité de la solution du sol évolue de façon décroissante. Cette observation confirme les résultats observés par Cherfouh et al., (2018) sur l'accumulation des sels à un certain niveau en surface. L'application des boues résiduaire et des eaux usées sur

les sols induit une augmentation de la conductivité électrique du sol (Clapp et al., 1986), les irrigations pratiquées sur la parcelle apportent au sol des sels dont la distribution reste sous l'influence des doses d'irrigation, des fréquences d'irrigation et de la demande climatique (Hamdy et Lacirignola, 2005). Les fortes températures printanières induisent une évaporation importante de l'humidité du sol et un dépôt des sels dans l'horizon (Ap) superficiel.

Les résultats obtenus varient entre 30,2 et 129,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (figure 19). Ces seuils de conductivité ne constituent pas une contrainte particulièrement insurmontable aux cultures.

**Tableau 15 : résultats d'analyse de la variance au seuil de 5% de la CE pour les facteurs sous parcelles et profondeur.**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
<b>Var. totale</b>	20366,83	53	384,28				
<b>Var. facteur 1</b>	1946,764	5	389,353	1,783	0,14034		
<b>Var. facteur 2</b>	8840,786	2	4420,393	20,243	0		
<b>Var. inter f1*2</b>	1718,227	10	171,823	0,787	0,6419		
<b>Var. résiduelle 1</b>	7861,054	36	218,363			14,777	22,70%

L'analyse de variance (Tableau 15) montre qu'il y'a aucune différence significative pour le facteur sous-parcelle. Ce résultat montre, à ce niveau d'analyse que la parcelle étudié est homogène et que la distribution des sels solubles est assez identique horizontalement.

Cependant, l'analyse de variance, de données de la conductivité électrique en fonction de la profondeur montre qu'il y'a une différence très hautement significative. Ceci implique que la distribution des sels dans les couches prospectées est différente de façon très significative (Tableau 15). Ainsi le test de NEWMAN et KEULS fait apparaître pour le facteur profondeur trois groupes homogènes A, B et C.

- La première profondeur 0-10cm appartient au groupe A,
- La deuxième profondeur 10-25cm appartient au groupe B
- La troisième profondeur 25-40cm appartient au groupe C.

Cette analyse nous démontre que la distribution des sels solubles diffère d'une profondeur à une autre. Cette variabilité confirme les observations déjà établies par Cherfouh et al., (2018) sur une parcelle semblable.

**Tableau 16 : résultats du test de NEWMAN et KEULS pour la CE en fonction des profondeurs.**

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0	0 à 10 cm	1,497	A		
2.0	10 à 25 cm	3,517		B	
3.0	25 à 40 cm	0,274			C

### III.3- Teneurs en matières organiques

Les résultats de la détermination de la teneur en matière organique du sol des échantillons prélevés de la parcelle étudiée sont portés dans le Tableau 17. Les teneurs en matière organique enregistrés évoluent de 0,32% à 7,98, alors que la teneur moyenne est de 3,08%±0,78. Ceci indique que le sol est qualifié en fonction des sous parcelle de très pauvre à riche en MO (tableau annexe 3).

Cherfouh et al., (2018) notent que l'apport de boues résiduaires et d'eaux usées implique une augmentation des teneurs en matière organique du sol. Cependant l'hétérogénéité des taux de MO serait le résultat d'une variation dans les doses appliquées ainsi que des conditions de minéralisation des matières organiques.

**Tableau 17 : Teneurs en matière organique % de la parcelle étudiés**

Profondeur (cm)	A	B	C	D	E	I	Moy
0 à 10	1,44	1,33	7,00	1,33	7,00	4,87	3,08
10 à 25	1,45	0,75	5,95	0,75	5,95	6,50	2,96
25 à 40	1,35	1,41	6,23	1,41	6,23	7,17	3,19

La richesse en éléments fertilisant et en oligoéléments des EUE stimulent l'activité biologique du sol (Magesan et al., 2000 ; Ramires-fuentes et al., 2002), et favorisant la minéralisation du carbone organique du sol, ce qui entraîne une baisse du taux de MO dans le sol (Solis et al., 2005 ; Herpinet al., 2007).

Au sein des sous parcelle considérée (A, B, C, D, E, I) les teneurs en MO déterminées sont variables de 1,09 à 6,39%. Ce qui permet de dire que globalement les teneurs de MO moyennes sont instables sur la parcelle.

Tenant compte de la variation de la teneur en MO sur la parcelle, nous constatons que, les sous parcelles E et I présentent des teneurs MO relativement importantes sur l'ensemble des échantillons analysés et évoluent respectivement entre 5,16 à 7,98 et 4,43 à 7,70 (figure 21). Contrairement aux sous-parcelles A, B, C et D où les taux de matières organiques varient de 0,31 à 4,01 %, des valeurs déjà signalées par Cherfouh et al., (2018).

L'analyse en fonction de la profondeur montre que de manière générale, les teneurs qui ont été trouvées dans les profondeurs prospectées de 0 à 40 cm diminuent en fonction de la profondeur du sol, ce qui représente une cohérence pédologique observée même dans les milieux naturels (Chamayou et Legros, 1989 ; Duchaufour, 1997).

- Pour la profondeur de 0-25cm, nous constatons que le taux de matière organique diminue en fonction de la profondeur dans 12 échantillons sur 18, l'écart évolue entre 0,16 et 1,61% (figure 20). Donc à 66,6 % de cas nous résultats confirment la cohérence pédologique observée dans le milieu naturel (figure 20).
- Pour la profondeur de 10 à 40cm, seuls 55,5% des échantillons respectent la cohérence pédologique et les écarts sont plus important et varient de 0,2 à 2,8 %

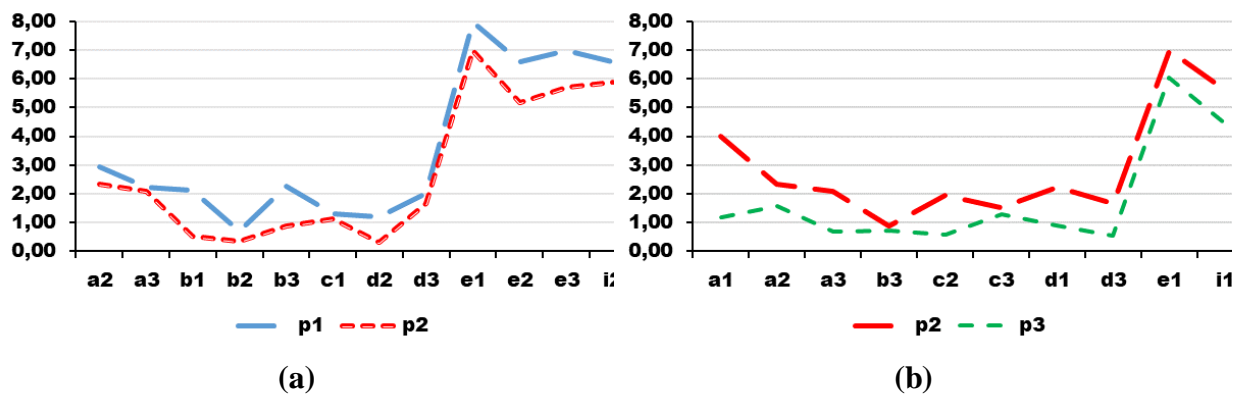


Figure 20 : Courbes d'évolution de la matière organique en fonction de la profondeur. (a); de 0cm à 25cm, (b) ; de 10cm à 40cm.

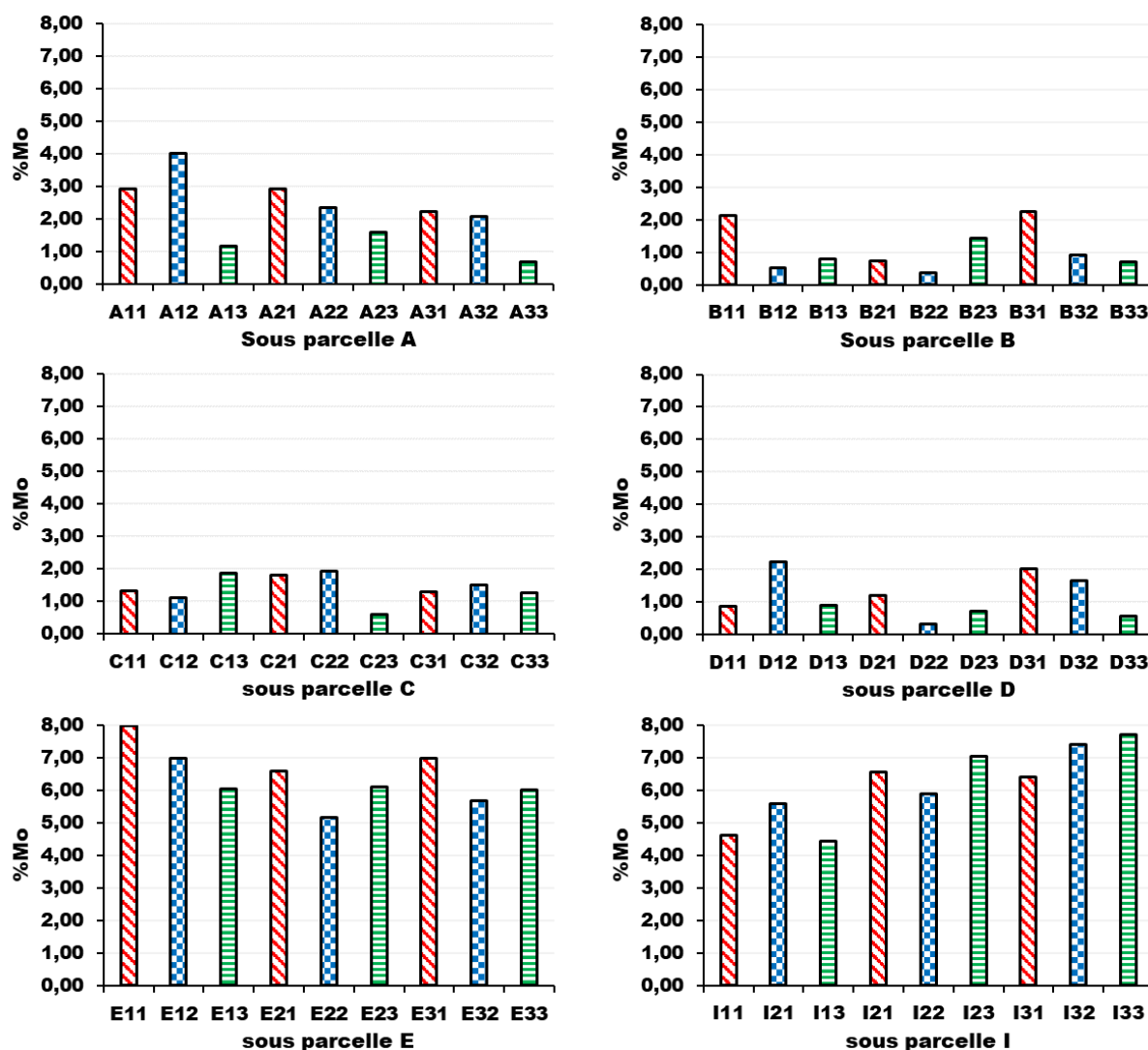


Figure 21 : évolution de la teneur en % matière organique de la parcelle étudiée.

Tableau 18 : Résultats d’analyse de la variance au seuil de 5% du %MO pour les facteurs sous parcelles et profondeur.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. totale	319,11	53	6,021				
Var. facteur 1	285,791	5	57,158	94,072	0		
Var. facteur 2	3,556	2	1,778	2,926	0,06499		
Var. inter f1*2	7,889	10	0,789	1,298	0,26799		
Var. résiduelle 1	21,874	36	0,608			0,779	25,34%

L’analyse de variance montre qu’il y’a aucune différence significative pour le facteur profondeur. L’analyse de variance (Tableau 18) montre qu’il y’a une différence très

hautement significative pour le facteur sous-parcelle. Ceci est dû aux variations de doses appliquées.

Ainsi le test de NEWMAN et KEULS fait apparaître pour ce facteur trois groupes homogènes.

- Les sous-parcelles E et I appartiennent au groupe A,
- La sous-parcelle A appartient au groupe B
- Les sous-parcelles B, C et D appartiennent au groupe C.

**Tableau 19 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS pour la teneur en MO en fonction des sous-parcelles.**

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
5.0	E	1,393	A		
6.0	I	1,182	A		
1.0	A	2,216		B	
3.0	C	0,413			C
4.0	D	3,162			C
2.0	B	0,091			C

### III.4- Interaction entre paramètres analytiques

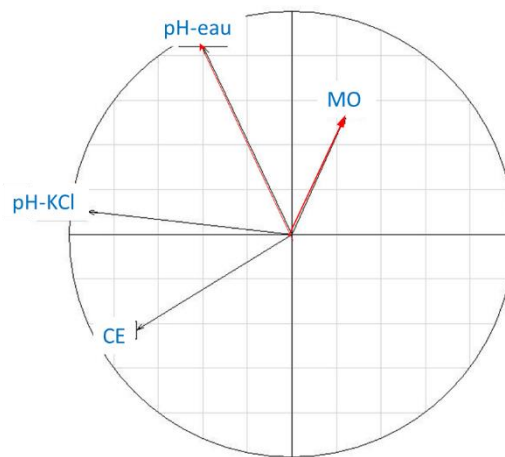
La qualité de Projection de l'analyse composantes principales (ACP) est mesurée par le pourcentage d'inertie, appelé aussi % d'informations. La somme des % sur 2 axes (figure 22) exprime le pourcentage d'informations récupérées sur le tableau de données. Le pourcentage de contribution à la construction d'un axe par les individus exprime l'influence de leurs contributions. Les individus très proches de l'axe ont une forte contribution alors que ceux qui sont loin contribuent faiblement à la construction de l'axe.

L'interprétation des figures (mapping) se base essentiellement sur la proximité des paramètres pH-eau, pH-KCl, CE et MO des deux axes. Les points les plus intéressants sont généralement ceux qui sont assez proches d'un des axes, et assez loin de l'origine.

Sur la figure ci-dessous (figure 22), on voit clairement que les paramètres pH-eau et MO assez corrélé avec l'axe vertical, alors que le pH-KCl et CE sont plus corrélés à l'axe horizontal.

Les pratiques de fertilisation et d'amendement peuvent contribuer à modifier profondément les propriétés des sols, notamment le pH et la CEC (Pernes-Debuyser et Tessier, 2002). Les

transformations que subissent les matières organiques contribuent à diminuer significativement le pH du sol, sans pour autant le rendre neutre. La nature des amendements organiques (acidité) et la durée de dégradation sont deux paramètres importants dans la réduction du pH du sol (Koull et al., 2016). Selon Mustin (1987), le pH dépend de la concentration en ions  $H^+$  provenant de l'oxydation du carbone de la matière organique. Par conséquent, la diminution du pH est due principalement à la libération des groupements acides (Schinzer et Khan, 1985 ; Chamayou et Legros, 1989).



**Figure 22 : projection de l'ACP des paramètres analytiques et cercle de corrélation.**

La relation matière organique et CE dans le sol est complexe. Il est certes clair que les matières organiques apportent aux sols des sels solubles, Cherfouh et al., (2018) notent que les boues résiduaires et les eaux usées participent à la salinisation des sols agricoles. Cependant Koull et Halilat (2016) observent que la croissance des doses des apports de fumiers, ovin et bovin, réduisent la CE du sol. Cet effet, est le résultat de l'amélioration de la structure, de l'activité biologique et de la porosité qui facilitent la percolation des eaux et le lessivage des sels hors du profil (Mallouhi, 1979). Cette relation contradictoire entre la MO et la CE est bien illustrée par la figure 22 et le tableau 20 de corrélation qui indiquent un coefficient de corrélation négatif (-0,04). La relation entre la MO et le pH-KCl évolue dans le même sens. Sachant que la production de cations  $H^+$  par la dégradation des MO contribue à abaisser le pH de la solution du sol, donc la corrélation négative exprimée dans le tableau (coefficient = -0,17) et la position des flèches illustrées par la figure 22 est cohérente.

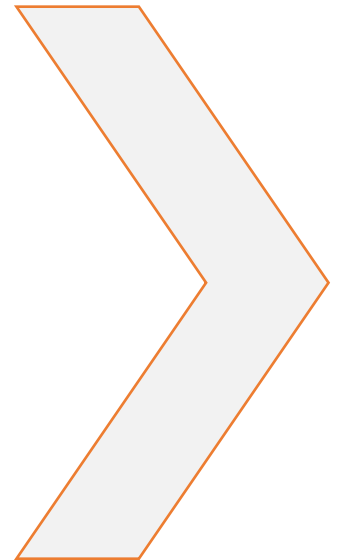
D'autres parts, la forte corrélation entre le pH-eau et le pH-KCl (coefficient = 0,47), nous permet de conclure que le complexe adsorbant du sol de la parcelle présente une faible variation

et que le taux de saturation est assez semblable d'un point à un autres des échantillons prélevés.

**Tableau 20 : facteur de corrélation.**

	pH_eau	pH_KCl	CE	MO
pH_eau	1			
pH_KCl	0,33	1		
CE	-0,21	0,7	1	
MO	0,01	-0,7	0,054	1

CONCLUSION  
GENERALE &  
PESPECTIVES



### **Conclusion générale**

Notre travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation agricole des boues résiduaire urbaine et des eaux usées épurées, issue de station d'épuration urbaine de la ville de Boumerdes. L'objectif visé est une évaluation de l'impact des boues sur les propriétés chimique et physiques d'un sol agricole. A cet effet, l'ensemble des analyses réalisées sur les sols de notre zone d'étude, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- **Les résultats de pH-eau** montrent que notre sol est légèrement acide à neutre, les valeurs varient de (6,29 et 7,41), avec une augmentation en fonction de la profondeur. Ce pH est assez convenable à l'ensemble des espèces cultivées. L'analyse de la variance montre qu'il y'a une différence très hautement significative pour le facteur profondeur et sou-parcelle indiquant une distribution irrégulière des boues et des eaux.

- **Les valeurs pH-KCl** sont inférieures à celles de pH-eau sur toute la parcelle, elles varient entre de 5,56 à 6,91.

L'écart entre les valeurs pH-eau et pH-KCl procure au sol un Faible potentiel d'acidification et indique que le complexe adsorbant au niveau de notre sol est moyennement saturé.

- **La conductivité électrique de** notre sol est située entre 30,2 à 129,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . L'irrigation avec les eaux usées épurées et les amendements à base de boues résiduaire n'ont pas influencé la salinité du sol. Ces sols sont considérés non salés et n'a aucun effet sur le rendement et la nutrition des cultures. L'analyse de la variance montre qu'il y'a une différence très hautement significative concernant la distribution des sels solubles selon la profondeur. Alors que la distribution horizontale des sels semble être homogène.

- Concernant **le taux de matière organique**, les teneurs varient de 0,32 et 7.98%, on constate que le sol étudié est qualifié de très pauvre à riche en matière organique selon la position de la sous parcelles. Notons que globalement l'apport de boues et d'eaux usées ont participé à l'enrichissement du sol en matières organiques. L'analyse de la variance montre qu'il y'a une différence très hautement significative pour le facteur sous-parcelle et aucune différence significative pour le facteur profondeur. Cette situation peut être le résultat d'une

distribution irrégulière des eaux et de la boue, ainsi que de la cinétique de dégradation des matières organiques.

A l'issue de ce modeste travail, il a relevé que certaines conditions comme : le renchérissement des engrais et la rareté croissante des sources d'amendement organique et la pauvreté des sols, sont des éléments motivant pour le développement de l'utilisation des boues résiduaires et l'irrigation avec les eaux usées en agriculteurs. Globalement nos résultats sont en faveur de la valorisation agricole des boues résiduaires et les eaux usées épurées.

### **Perspectives**

Dans l'objectif d'approfondissement de travail de détermination de l'effet d'application des eaux usées et des boues résiduaires sur les caractéristiques des sols, nous préconisons les perspectives suivantes :

- Faire l'analyse d'autres paramètres et la distribution des éléments au sein de la parcelle sur les plans latéral et vertical.
- L'influence des paramètres analytiques étudiés sur la répartition et la disponibilité des éléments nutritifs majeurs et oligo-éléments pour la culture de vigne, leur assimilabilité et biodisponibilité. Il est donc, souhaitable de compléter cette étude par d'autres analyses pour évaluer la fertilité des sols les analyses des éléments majeurs.
- Par ailleurs sur un plan environnemental, avant toute utilisation de résidus, il est souhaitable de quantifier des teneurs en métaux lourds, à fin d'interpréter les risques de pollution des sols, ainsi que les risques de toxicité et de transfert qu'ils peuvent engendrer sur les végétaux.

RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES



## Références bibliographiques

**Abiven, S., 2004.** Relations entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol. Thèse de doctorat de l'ENSAR: 262p.

**Amir, S., 2005.** Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage. Devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost. Thèse de doctorat en sciences Agronomiques de l'institut National polytechnique de Toulouse. 312 p.

**Bagnouls et Gausse., 1953.** saison et indice xérothermique. Doc. Cart. Prod. Veg. Serv. Gen. II, 1, art, VIII, Toulouse.

**Balesdent J., 1996.** Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France. Etude et gestion des sols. INRA.(afes). Vol 3 N°4. Paris. p 245-260

**Benmouffouk, A., 1994.** Caractérisation et valorisation agricole des boues résiduelles de Draa Ben Khedda (Algérie). Cah Agric 3:295–299

**Berdai, H., Benchokroun T., El Hamouri, B., 2004.** Epuration Et Réutilisation Des Eaux Usées A Des Fins Agricoles (Expérience Ouarzazate). . Revue H.T.E. N° 129 - Juin 2004

**Bneder., 1994.** Rapport sur l'Etude de mise en valeur des potentialités des communes dans le cadre dudéveloppement rural de proximité. Wilaya de Boumerdes ; année 2004, 87p

**Bruno Félix-Faure et Sébastien Kalt., 2003.** Prendre en compte tous les indicateurs de l'acidité des sols pour l'interprétation et le conseil. Comifer-Laboratoire GEMAS. Acts du 11em Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse – 20 et 21 novembre 2013.

**Chamayou, H. et Legros, J.P., 1989.** Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Technique vivante. Presses universitaires de France. Paris. p 212-213.

**Champiat, D., 1994.** Biologie des eaux: Méthodes& techniques, Masson, 374 p

**Chassand, C., Merrillot, J.M et Wait, J., 2000.** Les boues d'épuration municipales et leurs utilisations en agriculture. Dossier documentaire ADEME, 57p.

**Chemlal, N., 1983.** Etude paléomorphologique et hydrogéologique de la vallée du bas Isser (Algérie). Doct. 3eme Cycle Géologie Appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble. p233.

**Cherfouh, R., Lucas, Y., Derridj, A., Merdy, P., 2018.** Long-term, low technicality sewage sludge amendment and irrigation with treated wastewater under Mediterranean climate: impact on agronomical soil quality. Environ Sci Pollut Res 25:35571–35581.

**Clapp, CE., Stark, SA., Clay, DE., Larson, W.E., 1986.** Sewage sludge organic matter and soil properties. Dev Plant Soil Sci 25:209–253.

- D.P.A.T., 2009.** monographie de la wilaya de Boumerdes.
- Degrémont., 1989.** Mémento technique de l'eau, 9eme Edition, Tome 1 et 2, Editions Lavoisier, Paris
- Donahy R., 1958.** Nature des solset croissance végétale. Ed.D'organisation. Paris. 312p
- Dridi B et Toumi C., 1986.** Influence d'amendement organique et d'apport de boues sur les propriétés d'un sol cultivé. Rev Etude et gestion des sols, 6, 1 :7-14.
- Duchaufour, Ph., 1997.** Abrégé pédologie, sol, végétation, environnement, 5eme éd., Masson, Paris
- Duthil, J., 1973.** La fertilisation phosphatée des sols calcaires. An Agro, INA Vol VI n°2, pp.
- Escourrou., 1978.** Climatologie pratique. Ed. Masson,172p.
- FAO., 2003.** L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. 73p
- Fuentes, A., Llorens, M., Saez, J., Soler, A., Aguilar, M.I., Ortuño, J.F., Meseguer, V.F., 2004.** Simple and sequential extractions of heavy metals from different sewage sludges. Chemosphere. 54, 1039- 1047
- Galet, P., 2000.** Précis de viticulture.6ème édition. Dehan. Montpellier
- Gary M., Zenshi P., Thamas Sims-George J. et Vance F., 1994.** Soil and environmental quality. CRC. Press. 313p.
- Gobat, J.M.; Arango, M.et Matthey, W., 1998.** Le sol vivant. 1 ere édition Presse polytechnique et Universitaire romands Lausanne. 515P.
- Grissa H. et Ben Khedher M., 2000.** Culture Maraîchère. Principes de base en agriculture biologique. Centre Technique de l'agriculture biologique.33p.
- Gros, A., 1979.** Engrais, Guide pratique de la fertilisation paris ,France, la maison Rustique, 370 p.
- Grulois. P., Famel, J., Hangouet, J.P et Fayoux, C., 1996.** Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme...en boues, l'eau, l'industrie, les nuisances, 195, pp42-46.
- Hamdy et Lacirignola., 2005.** Coping with water scarcity ine the Mediterranean : What, why, and How ?. september, 2005.
- Hartani, T., 2004.** La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie. Projet INCO-WADEMED. Actes du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée Rabat, du 19 au 23 avril 2004
- Henin, S., Monnier, G., Gras R., 1969.** Le profil cultural. Masson, Paris 2<sup>ème</sup> Edition, 332p.
- Hillel, D., 1974.** L'eau et le sol. Principe et processus physiques. Vander éd. Bruxelles, 288 p
- Huglin, P., et Schneider, C., 1998.** Biologie et écologie de la vigne, Paris, Lavoisier, 370 p

- Jared, E., Mansuy, L., Faure, P., 2003.** Caractérisation of the macromolecularorganic content of sewage sludges by thermally assisted hydrolysis and methylation-gas chromatography-mass spectrometer (THM-GC/MS). *J. Anal. Appl. Pyrol*, p68-69, 331-350.
- Jocteur Monrozier L., 2001.** Conséquence de l'anthropisation des sols. Les Boues quels risques, Colloque Marseille, 5 avril 2001. Mounement Nationa de lutte pour l'Environnement.
- Kabata-Pendias, A., 2011.** Trace elements in soils and plants. 4th ed. CRC Press Taylor & Francis Group. 405p.)
- Koull, N., et Halilat, MT., 2016.** Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algérie). *EGS, Volume 23, 2016 - pages 9 à 19.*
- L. Bruckler., 1998 :** B.C. Ball, P. Renault, Laboratory estimation of gas diffusion coefficient and effective porosity of soils, *Soil Science*, vol. 147 N°1, pp 1-10
- Ladjal, F. et Abbou, S. 2016.** Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issues des STEP en Algérie. Journée d'étude Ministère des Ressources en Eau. Alger 03 Février 2016
- Lambink, D., Nortcliff, S., White, T., 2004.** The importance of précision in sampling sludges, biowaste and treated soils in a regulatory frame work *Trends in Analytical Chemistry*, p 171, 10-19.
- Lasheen, M.R., Ammar, N.S., 2009.** Assessment of metals speciation in sewage sludge and stabilized sludge from different Wastewater Treatment Plants, Greater Cairo, Egypt. *Journal of Hazardous Materials*. 164: 740-749.
- Lasnier-Lachaise L., 1973.** *Agronomie nouvelle*. Flammarion. Paris. 284p
- Lavelle, P., & Spain, A., 2001.** *Soil Ecology*. Kluwer Academics, The Netherlands
- Looser, M.O., Parriaux, A., Bensimon M., 1999.** Landfill underground pollution détection and characterization using inorganic traces. *Water Research*, p 33, 17, 3609-3616.
- Lounici, N., 1980.** essai de valorisation des fientes déshydratées comme amendement organique en culture maraîchères ; Thèse ing. INAA, pp 14-17, 55-60.
- Magesan G.N., Williamson J.C., Yeates G.W. et Lloyd-Jones A.Rh., 2000.** Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery *Bioresource Technology* 71, 21-27
- Mallouhi, N., 1979.** Contribution à l'étude d'évolution du compost urbain dans les sols salés carbonatés, Thèse, Doct, Ing, 104 p.
- Martinen, S.K Kettunen, R.H., Rintala, J.A., 2003.** Occurance and removal of organic pollutant in sewage and landfill leachates. *The Science of the total environment*, p 301, 1-12.
- Mathieu C., et Pieltain F., 2003.** *Analyses chimiques des sols méthodes choisies*. Tec et Doc, Lavoisier ; Paris. 387p

- Mininni, G., Sbrilli, A., Guerriero, E., Rotatori, M., 2004.** Dioxins and furans formation in pilot incineration tests of sewage sludge spiked with organic chlorine. *Chemosphere*, 54, 1337- 1350.
- Morril L.G., Mahilum B.C., Mohiuddin S.H., 1982.** Organic compounds in soils: sorption, degradation and persistence. Science. Publisher. 326p
- MRE., 2016.** Ministère des Ressources en Eau, Algérie, 2016
- Mtshali, JS., Tiruneh, AT., Fadiran, AO., 2014.** Characterization of sewage sludge generated from wastewater treatment plants in Swaziland in relation to agricultural uses. *Resour Environ* 4:190–199.
- Mustin, M., 1987.** Le Compost, gestion de la matière organique.F. Dubuse 954 pages.
- Nammari, D.R, Hogland, W., Marques, M., Nimmermark, S., Moutavtchi, V., 2004.** Emissions from a controlled fire in municipal solid waste bales. *Waste Management*, 24, 9-18.
- Paul, E., Rols, J.L., Debellefontaine, H., 1999.** Perspectives de recherche et d'innovation pour une réduction de la production des boues urbaines, Journée technique : station d'épuration comment maîtriser à la source la qualité et la quantité des boues, INSA, Toulouse (France)
- Pereira, L.S., Oweis, T., Zairi, A., 2000.** Irrigation management under water scarcity. *Agric Water Manag* 57:175–206.
- Pernes-Debuyser, A et Tessier D., 2002.** pH effect on soils properties: long time experiment of 42 plots in Versailles. *Revue des sciences de l'eau Journal of Water Science*. Volume 15, numéro hors-série, 2002.
- Pommel B., 1975.** La valorisation agricole des déchets. Les boues résiduelles urbaines.73p
- Prevot H., 2000.** La récupération de l'énergie issue du traitement des déchets. Rapport du conseil général des mines. Juillet 2000.
- Qadir, M., Sharma, B.R. Bruggeman, A. Choukr-Allah, R., Karajeh, F., 2007.** Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agricultural water management* 87: 2-22
- Ramirez-Fuentes E., Lucho-Constantino C., E. Escamilla-Silva et L. Dendooven 2000.** Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time; *Bioresource Technology* 85, 179–187
- Rémy, J.C., Marin-Laflèche A., 1976.** L'analyse de terre : réalisation d'un programme d'interprétation automatique. *Ann. Agron*, 25: 607-632.
- Rivière, J.L., 1998.** Evaluation du risque écologique des sols pollués. Lavoisier Tec. et Doc. ed. Paris: Association Record.
- Robert, M., 1996.** Le Sol : Interface Dans L'environnement, Ressource Pour Le Développement. Ed. Masson. 244 P.

**Sahnoune, M., 1986.** Contribution à l'étude des litières de volailles comme amendement organique en culture maraîchère sous trois étages bioclimatiques. Thèse. Mag. I.N.A. Alger. 65p.

**Salhi, M., 2003.** Procédés couplés boues activées-ozonation pour la réduction de la production de boues : étude, modélisation et intégration dans la filière de traitement de l'eau, Génie des procédés de l'environnement, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Toulouse, 360 p.

**Solís, C., Andrade, E., Mireles, A., Reyes-Solís, I.E., García-Calderón, N., Lagunas-Solar, M.C., Piña, C.U., Flocchini, R.G., 2005.** Distribution of heavy metals in plants cultivated with wastewater irrigated soils during different periods of time. Nuclear instruments & methods in physics research, 1, pp. 351-355

**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. Collection Sciences et Techniques Agricoles. 23<sup>ème</sup>. Ed. Paris. 472p.

**Soltner, D., 2004.** Distribution Liquid Et Voie Métabolique Chez Quatres Bactéries Gramnégative Hydrocarbonoclaste. Variation En Fonction De Sources De Carbone. Docteur De L'université PARIS 6.

**Soltner, D., 2005.** La base de la production végétale Tom I. Le sol et son amélioration 24eme Ed. collection science et technique agricole. 472P.

**Vannier, G., 1979.** Relations trophiques entre la microfaune et la microflore du sol; aspects qualitatifs et quantitatifs. B. Zool. 46, pp. 343-361.

**Walter, I., Martínez, F. Cala, V., 2006.** Heavy metal speciation and phytotoxic effects of three representative sewage sludges for agricultural uses, Environmental Pollution 139, 507-514.

**Werther, J., Ogada., 1999.** Sewageludge combustion. Progress in Energy and combustion Science, p 25, 55-116.

# ANNEXES



## ANNEXE 1 : Tableau Plages descriptives du pH dans les sols

Qualification du sol	Valeur du pH
Ultra acide	< 3,5
Extrêmement acide	3,5 à 4,4
Très fortement acide	4,5 à 5,5
Fortement acide	5,1 à 5,5
Modérément acide	5,6 à 6,0
Légèrement acide	6,0 à 6,6
Neutre	6,6 à 7,3
Légèrement alcalin	7,4 à 7,8
Modérément alcalin	7,9 à 8,4
Fortement alcalin	8,5 à 9,0
Très fortement alcalin	9,0

## ANNEXE 2 : Tableau Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J.H. (1983)

Classe	CE en $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 25 °C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles au sel
Classe III	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la plus part des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

---

**ANNEXE 3 : Tableau Classification des teneuses en matière organique (MO) dans le sol.  
(DEJON et *al*, 1998 in Tir 2001).**

<b>MO (%)</b>	<b>Sol</b>
<b>&lt; 1%</b>	Taux très faible; sol très pauvre en MO.
<b>1,2%</b>	Taux faible; sol pauvre en MO.
<b>2,4%</b>	Bonne; sol riche en MO.
<b>&gt;4%</b>	Très bonne; sol très riche en MO.

**ANNEXE 3 : Tableau Classification des teneuses en matière organique (MO) dans le sol.  
(DEJON et *al*, 1998 in Tir 2001).**