



DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN REPUBLIC
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف
CHADLI BENDJEDID EL TARF UNIVERSITY

كلية علوم الطبيعة والحياة
FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES

قسم



Mémoire de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master en

« **Toxicologie industrielle et environnementale** »

Thème

Effet des rejets industriels sur la qualité des sols, cas des terrains agricoles de la commune Gharbi Aissa (Annaba)

Présenté Par : **MERDACI Roua**

MEKDICHE Abir

Soutenue publiquement le : 16/ 06/2026

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
SIOUANE Nour- eddine	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Président
BOUKHATEM Amel	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Directeur de mémoire
ALLOUCH Meriem	MAA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Examineur

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du comité de soutenance pour avoir accepté d'examiner cette thèse et pour leurs précieux commentaires et leurs conseils avisés, qui ont grandement contribué à son enrichissement.

*Nous exprimons également notre profonde gratitude à notre directrice de thèse **Dr Boukhatem Amel** pour son soutien indéfectible, ses conseils avisés et sa patience tout au long des différentes étapes de la réalisation de cette thèse. Ses conseils et son accompagnement ont joué un rôle déterminant dans sa réussite.*

*Par ailleurs, nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements au **Dr Allouch Meriem et Dr Siouane Nour-eddine** pour son aide précieuse dans la réalisation de cette thèse et pour son soutien et ses conseils, qui ont eu un impact positif sur sa finalisation.*

Nous prions pour que Dieu récompense chacun abondamment et que ce travail soit inscrit parmi leurs bonnes actions.

Dédicace

Cet accomplissement n'a pas été de simples pages écrites, mais un long chemin mêlant effort et espoir, nuits de veille et prières, jusqu'à devenir un rêve qui touche enfin la réalité... C'est donc avec toute la sincérité de mon cœur que je le dédie :

Avec tout mon amour et ma profonde gratitude, et un cœur rempli de fierté et de reconnaissance, je dédie le fruit de mon travail

***À mon cher père**, mon soutien dans la vie, celui qui m'a appris la patience et la persévérance, et qui a toujours été la lumière guidant mon chemin... Je te dois toute ma reconnaissance et mon respect.*

***À ma chère mère**, source de tendresse et de générosité, dont les prières m'ont accompagnée à chaque pas et qui a porté ma fatigue avant même ma joie... Je te dédie ma réussite et tout ce que j'ai accompli.*

***À mon cher mari**, mon partenaire de vie, qui a été mon véritable soutien, m'encourageant avec patience et croyant en moi même dans les moments les plus difficiles... Toute ma gratitude t'est adressée.*

***À mes chères grands-mères**, qui ont toujours été une source de sagesse et de chaleur... Que Dieu vous accorde une longue vie.*

***À mon frère Idris et à mes sœur Salsabil , Amna** , compagnons de mon parcours, qui ont partagé avec moi les moments difficiles comme les plus heureux, et qui ont toujours été présents avec amour et soutien.*

***À ma chère binôme de mémoire Abir** , avec qui j'ai partagé les efforts, les doutes et les réussites... Merci pour ta collaboration, ta patience et ces moments qui ont rendu ce travail plus léger et plus humain.*

***À mes chers amis** , qui ont illuminé mon chemin par leurs sourires et ont été présents à mes côtés en toutes circonstances... Merci du fond du cœur.*

À vous tous, je dédie ce modeste travail, en témoignage de mon amour et de ma fidélité.

Roua

Dédicace

{بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ}

Je remercie « **Dieu** », le Tout-Puissant, qui m'a donné la foi et la force d'achever ce travail.

À ceux qui ont éclairé mon chemin et qui sont à l'origine de toutes mes réussites...

Je dédie le fruit de mon travail à **mon cher père**, mon soutien indéfectible, et à **ma mère** bien-aimée, qui est le cœur et l'âme de ma vie. Je prie pour qu'elle retrouve une santé pleine et durable, car ses prières, ses larmes et sa patience ont été la force qui m'a permis de persévérer malgré toutes les difficultés.

À **mon fiancé Seifeddine**, qui a été mon pilier avant de devenir mon compagnon de vie, je te remercie pour ton amour, ta patience et ton soutien indéfectible dans les moments les plus difficiles, ainsi que pour la confiance que tu m'as accordée alors que j'étais au plus bas.

À **ma sœur Khawla**, son mari et leurs **enfants, Bilsan et Qusay**, qui ont apporté à ma vie une joie indescriptible ; à **ma sœur Nourhane**, son mari et leur fille **lourine**, pour la chaleur familiale irremplaçable ; et à **mon frère Akram**, mon soutien et ma force... Je te remercie d'être toujours à mes côtés.

Je tiens également à remercier chaleureusement la merveilleuse famille de mon fiancé : **Aïcha, Mourad** et ses sœurs **Ferial, Kawthar** et **Zainab**, pour leur amour, leur affection et leur soutien indéfectible.

À ma partenaire de travail, **Roua**, ma compagne de voyage, je vous remercie pour chaque instant de travail acharné et pour avoir partagé l'espoir avant même l'effort.

Et à tous mes amis qui m'ont soutenu par un mot gentil ou une prière sincère... Vous avez tous contribué à ce succès.

Je vous dédie à tous cet ouvrage ; il n'est pas seulement pour moi, mais pour vous et grâce à vous... Avec tout mon amour.



Listes des figures

N° Figures	Titre	Pages
1	Les constituants d'un sol.	4
2	Représentation schématique des particules de sable, de limon et d'argiles	6
3	Triangle des textures selon Département d'agriculture des États-Unis	6
4	Structure du sol	7
5	Quelques exemples de structure de sol	7
6	Les constituants de la matière organiques des sols	10
7	L'acquisition des teneurs totales en éléments traces métalliques dans le sol	23
8	Démarche pour la réhabilitation des sols dégradés	27
9	Techniques de traitement de sols contaminés	29
10	Technique de traitement par biopile	31
11	Système d'incinération	34
12	Situation géographique de la région d'Annaba	37
13	Répartition de l'humidité hygroscopique (%) des sols des différents sites étudiés	45
14	Répartition de la porosité (%) des sols des différents sites étudiés	46
15	Répartition granulométrique (%) des sols des différents sites étudiés	47
16	Variation du pH des sols selon les sites étudiés	48
17	Variation de la conductivité électrique (EC, $\mu\text{S}/\text{cm}$) des sols selon les sites étudiés	49
18	Répartition de la matière organique (%) des sols des différents sites étudiés	50
19	Variation de la teneur en calcaire total (CaCO_3 %) des sols selon les sites étudiés	50

Liste des tableaux

N° tableau	Titre	Page
01	Réparation des classes des pH des sols étudiés du périmètre selon les normes	8

Listes des abréviations

MO	La matière organique
MOP	La matière organique particulaire
MOD	La matière organique dissoute
MES	La Matière en suspension
ETT	Eaux Traitée
HAP	Hydrocarbures aromatique polycycliques
Cd	le cadmium
Hg	le mercure
Pb	le plomb
Cr	le chrome
NO3	- les nitrates
Zn	Le zinc
Cu	Le cuivre
Ni	Le nickel
CO2	Le dioxyde de carbone
NO	Le monoxyde d'azote
SO2	Le dioxyde de soufre
SO3	Le trioxyde de soufre
NO2	Le dioxyde d'azote
H2SO3	L'acide sulfureux
HNO3	L'acide nitrique
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
PH	Potentiel hydrogène
PCB	Polychlorinated biphenyls
CO	Carbonne organique
H2O2	Peroxyde d'hydrogène

Résumé

Le sol constitue un élément essentiel des écosystèmes terrestres, assurant des fonctions écologiques, agronomiques et environnementales fondamentales. Dans ce contexte, la présente étude vise à évaluer les caractéristiques physico-chimiques des sols agricoles de la région de Gharbi Aissa (wilaya d'Annaba, Nord-Est de l'Algérie), afin d'apprécier leur qualité et leur fertilité.

Pour ce faire, plusieurs paramètres ont été analysés, notamment la granulométrie, le pH, la conductivité électrique, l'humidité hygroscopique, la porosité, la matière organique et le calcaire total. Les résultats montrent une dominance de la fraction argileuse, indiquant une texture fine des sols. Le pH varie de légèrement acide à neutre (5,47–6,52), tandis que la conductivité électrique révèle une salinité faible à modérée. La teneur en matière organique est relativement élevée, traduisant une bonne fertilité, alors que les teneurs en calcaire total confirment le caractère calcaire des sols.

Globalement, les sols étudiés présentent un potentiel agronomique favorable. Toutefois, certaines contraintes liées à la texture et à la composition chimique nécessitent une gestion adaptée. Cette étude met en évidence l'importance du suivi des paramètres physico-chimiques pour une utilisation durable des sols agricoles.

Mots clé : Evaluation ; Sol ; Paramètre physico-chimique ; fertilité ; région d'Annaba

Abstract

Soil is an essential component of terrestrial ecosystems, ensuring fundamental ecological, agronomic, and environmental functions. In this context, the present study aims to evaluate the physico-chemical characteristics of agricultural soils in the Gharbi Aissa region (Annaba province, Northeast Algeria), in order to assess their quality and fertility.

To achieve this, several parameters were analyzed, including particle size distribution, pH, electrical conductivity, hygroscopic moisture, porosity, organic matter, and total limestone content. The results show a dominance of the clay fraction, indicating a fine soil texture. The pH ranges from slightly acidic to neutral (5.47–6.52), while electrical conductivity indicates low to moderate salinity. The organic matter content is relatively high, reflecting good fertility, whereas total limestone levels confirm the calcareous nature of the soils.

Overall, the studied soils exhibit favorable agronomic potential. However, certain constraints related to texture and chemical composition require appropriate management practices. This study highlights the importance of monitoring physico-chemical parameters for the sustainable use of agricultural soils.

Keywords: Evaluation; Soil; Physico-chemical parameters; Fertility; Annaba region

ملخص

يُعدّ التربة عنصراً أساسياً في النظم البيئية الأرضية، حيث تؤدي وظائف بيئية وزراعية وبيئية مهمة. في هذا الإطار، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة الزراعية في منطقة غربي عيسى (ولاية عنابة، شمال شرق الجزائر)، وذلك لتقدير جودتها وخصوبتها.

ولتحقيق ذلك، تم تحليل عدة معايير، منها التركيب الحبيبي، الأس الهيدروجيني (pH)، التوصيلية الكهربائية، الرطوبة الاسترطابية، المسامية، المادة العضوية، ونسبة الكلس الكلي. أظهرت النتائج سيادة الجزء الطيني، مما يدل على قوام ناعم للتربة. كما يتراوح الأس الهيدروجيني بين الحامضي قليلاً إلى المتعادل (5.47–6.52)، في حين تشير التوصيلية الكهربائية إلى ملوحة ضعيفة إلى متوسطة. وتُظهر نسبة المادة العضوية ارتفاعاً نسبياً، مما يعكس خصوبة جيدة، بينما تؤكد نسب الكلس الكلي الطابع الكلسي للتربة.

بشكل عام، تتمتع التربة المدروسة بإمكانات زراعية جيدة، إلا أن بعض القيود المرتبطة بالقوام والتركيب الكيميائي تتطلب إدارة ملائمة. وتبرز هذه الدراسة أهمية متابعة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لضمان الاستغلال المستدام للتربة الزراعية.

الكلمات المفتاحية: تقييم؛ التربة؛ الخصائص الفيزيائية والكيميائية؛ الخصوبة؛ منطقة عنابة

Table des matières

	Pages
Remercîment Dédicace Listes des figures Liste des tableaux Listes des abréviations. Résumé	
Introduction	01
Chapitre I : Généralités sur le sol	
Introduction	03
1. Définition Du Sol	03
2. Origine et constituants du sol	04
3. Diverses phases du sol	04
3.1. Phase liquide du sol La phase liquide du sol	04
3.2. Phase gazeuse du sol	04
3.3. Phase solide du sol	05
4. Les caractéristiques physico-chimiques des sols	05
4.1. Propriétés physiques du sol	05
4.1.1. Texture organique	05
4.1.2. La structure	06
4.2. La porosité	07
4.3. Propriétés biologiques	08
4.4. Propriétés chimiques	08

4.4.1. pH du sol	08
4.4.2. Humidité du sol	08
4.4.3. La température du sol	09
4.5. La matière organique (MO)	09
4.6. Matière en suspension (MES)	10
5. Les fonctions du sol	10
6. Action sur les propriétés physiques du sol	11
6.1. Le macro brassage	12
6.2. Le micro brassage	12
6.3. La formation de galeries	12
6.4. La fragmentation	12
6.5. La formation d'agrégats	13
7. Effets de la qualité des ETT (Eaux Traitée) sur les sols agricoles	13
7.1. Qualité du sol L'évaluation de la qualité des sols	13
7.2. Facteurs agricoles influençant la qualité des sols	13
Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole.	
Introduction	14
1. Pollution du sol	14
2. Origine de la pollution des sols	14
3. Les activités industrielles	15
4. Les activités urbaines	16
5. Causes de la pollution des sols	16
5.1. Les polluants agricoles	16
5.1.1. Le trafic routier	16

51.2. Exploitation des mines	17
5.1.3. Les déchets ménagers	17
5.1.4. L'industrie	17
5.1.5. L'urbanisation	17
5.2. Les déchets radioactifs	18
5.3. Le pétrole et ses dérivés	18
5.4. Les pluies acides	18
6. Les conséquences de la pollution des sols	18
6.1. Déclin de la biodiversité	18
6.2. Diminution de la fertilité du sol	19
6.3. Modification de la structure du sol	19
6.4. Empoisonnement de la nappe phréatique	19
6.5. Accélération du changement climatique	19
6.6. Désertification	19
6.7. Risque sanitaire	20
7. Principaux types de polluants	20
7.1. Polluants minéraux	20
7.2. Polluants organiques	20
8. Les différents polluants du sol	21
8.1. Les hydrocarbures	21
8.1.1. Sources naturelles	21
8.1.2. Sources anthropiques	21
8.2. Les métaux lourds	22
8.2.1. Le fond géochimique	22

8.3. Les engrais et les pesticides	22
9. Les formes de dégradation des sols	23
9.1. Définition la dégradation des sols	23
9.2. Type de dégradation	24
9.2.1. Dégradation physique	24
9.2.2. Dégradation biologique	24
9.2.3. Dégradation chimique	25
9.3. Dégradation des sols agricoles	25
9.4. Les autres activités humaines responsables de la dégradation du sol	26
9.5. Les dégradations du sol dues aux activités humaines	26
10. Techniques de réhabilitation et décontamination des sols	26
10.1. Démarches pour la réhabilitation des terres agricoles	26
10.2. Techniques de décontamination	27
10.2.1. Les traitements biologiques :	29
10.2.2. Les procédés chimiques	31
10.2.3. Les traitements thermiques	32
11. Pollution industrielle en Algérie	34
Chapitre III : Matériels et Méthodes	
I. Présentation de la zone d'étude	36
1.Situation géographique de la région Gharbi Aissa (willaya d'Annaba)	36
1.1. Localisation	37
2. Topographie et relief	38
3.Situation climatique	38
3.1. Climat	38

3.2. Les températures annuelles et leur variabilité interannuelle	38
4.La géologie	38
5.Description lithologique	39
5.1. Crétacé supérieur	39
5.2. Paléocène-Éocène	39
5.3. Oligocene	39
5.4. Miocène	39
5.6. Plio-Quaternaire	39
6. Hydrogéologie	40
7.La pédologie	40
II. Matériel et méthode	42
1. Analyses de sol	42
1.1. Techniques d'échantillonnage	42
1.2. Préparation des échantillons	42
1.3. Les paramètres physico-chimiques	42
1.3.1. Analyses chimiques	43
2. Le prélèvement des échantillons des sols	44
Chapitre VI : Résultats et discussion	
1. Les paramètres physiques	45
1.1. Humidité hygroscopique	45
1.2. La porosité	46
1.3. Granulométrie	46
2. Les paramètres chimiques	47

2.1. pH du sol	47
2.2. Conductivité électrique	48
2.3. La matière Organique	49
2.4. Calcaire Total	50
Discussion	51
Conclusion	53
Références Bibliographiques	

INTRODUCTION

Introduction

Le sol, à l'échelle de la planète, est une très mince couche de terre recouvrant les roches émergées. Malgré cela, c'est un système complexe et dynamique, responsable de nombreuses fonctions naturelles, en interaction directe avec les autres compartiments de l'écosphère. Cet écosystème est à la fois un support pour les êtres vivants, un réservoir de matières organiques et minérales, un régulateur des échanges et des flux, un lieu de transformation de la matière organique et un système épurateur de substances toxiques. Il est indispensable à la vie qu'il abrite, et c'est en retour la vie biologique qui participe activement à sa formation (pédogenèse) à partir de la roche mère (**Gobat et al., 2003**).

Le concept de qualité des sols est étroitement lié à celui de la durabilité, afin d'assurer un fonctionnement satisfaisant pour les générations futures. Cependant, la pollution provoquée par la présence de substances ou d'organismes issus des activités humaines (agriculture, industries, etc.) sur ou dans le sol est préjudiciable, directement ou indirectement, à la qualité de ce dernier (**Nicolas, 1997**).

Parmi ces sources de dégradation, les activités industrielles occupent une place prépondérante, en raison des rejets de déchets solides, liquides et gazeux contenant des substances toxiques telles que les métaux lourds (plomb, cadmium, mercure), les hydrocarbures et divers composés chimiques persistants. Ces polluants peuvent s'accumuler dans le sol, modifier ses propriétés physico-chimiques, perturber l'activité biologique et entraîner une diminution de sa fertilité.

L'évaluation de la qualité des sols se fait à l'aide d'indicateurs chimiques, physiques et biologiques, particulièrement sensibles aux perturbations et aux pressions anthropiques. Avec l'ampleur de la croissance démographique que connaît notre planète, les effets directs de l'activité humaine sur les systèmes écologiques et leur biodiversité constituent une préoccupation mondiale majeure (**Green et al., 2005**). Dans ce contexte, la question « ce terrain est-il pollué ? » devient essentielle mais complexe, en raison de la diversité des sources de contamination et de leurs impacts.

C'est pour cela que la protection de l'environnement et de la diversité biologique constitue un défi majeur pour notre société, nécessitant la mise en place de mesures pratiques et légales dans le cadre du développement durable (**Yaakoubi et al., 2009**). En Algérie, des initiatives telles que les projets « Sama Safia » et « Dounia El Madina » ont été mises en

Introduction

œuvre, toutefois, la pollution industrielle demeure une problématique persistante et en expansion.

Dans ce contexte, la dégradation des sols liée aux activités industrielles commence à prendre de l'ampleur dans certaines régions, notamment dans les zones à vocation agricole, ce qui nécessite une attention particulière. Dès lors, une question principale se pose : dans quelle mesure les activités industrielles influencent-elles la qualité physico-chimique des sols agricoles, et quels sont les impacts de cette pollution sur leur fertilité et leur fonctionnement ?

De ce fait, nous avons axé notre étude sur les caractéristiques physico-chimiques des sols agricoles de la commune de Gharbi Aissa, wilaya d'Annaba (Nord-Est de l'Algérie), dans le but d'évaluer leur qualité et leur fertilité, ainsi que de déterminer l'impact des activités industrielles sur ces sols.

Notre mémoire est structuré en deux parties :

- La première partie présentera des notions générales sur le sol, notamment ses propriétés physico-chimiques, ainsi que des généralités sur la pollution des sols.
- La deuxième partie sera consacrée à la présentation du site d'étude, au matériel et aux méthodes utilisés pour le suivi analytique, suivie de l'interprétation des résultats obtenus.

Chapitre I. Généralités

Sur le sol

Chapitre I : Généralités sur le sol

Chapitre I. Généralités sur le sol

Introduction

En écologie, un sol est un écotone, à l'interface entre deux ou plusieurs milieux. Il est plus complexe et plus riche que la roche et les trois milieux qui l'entourent, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère **(Soltner.,2005)**. Le sol a pris naissance avec la vie, il y a très longtemps, bien avant l'Homme. Depuis que l'Homme existe, le sol l'accompagne : des civilisations se sont construites et détruites en fonction de l'évolution anthropique des sols **(Koller., 2004)**.

1. Définition Du Sol

Le sol est défini comme la couche supérieure de la croûte terrestre composée de particules minérales, de matières organiques, d'eau, de gaz, d'air et d'organismes. Les constituants minéraux se divisent en deux catégories : des minéraux primaires résultant directement de la désagrégation de la roche mère, et des minéraux secondaires néoformés. Les matières organiques du sol, quant à elles, se composent d'une fraction organique vivante (flore du sol, faune et racines végétales) de taille grossière (20 mm),

Et Le sol fait partie de la biosphère, dynamique et vivant, c'est le résultat d'une évolution lente au cours de laquelle le climat, le relief et les organismes ont participé à le façonner en altérant la roche mère et en la faisant interagir avec la matière vivante **(Soltner D., 1992)**.

A ce stade, le sol comporte un horizon B qui correspond à l'accumulation des niveaux lessivés (entraînement mécanique depuis la surface). Le sol constitue le support pédologique de la plante et sa base de vie et de production **(Dagadi., 2011)**.

Selon **(Plamondon A.,2009)**, la couverture au sol est l'ensemble de débris ligneux ou bois morts, de litières, de la végétation basse constituée des espèces des sous-bois excepté les espèces de la strate arborescente se trouvant à la surface du sol. Signalons que la couverture au sol est différente de la couverture du sol du fait que cette dernière inclue les espèces de la strate supérieure, C'est un milieu biologique différencié en horizons d'épaisseur variable où se développe une activité intense des plantes, des animaux et des bactéries qui, par leurs actions, agissent sur le sol pour un bon équilibre **(Deprince, 2003)**

Chapitre I : Généralités sur le sol

2. Origine et constituants du sol

Au cours du temps, le sol s'épaissit et se modifie ; il acquiert des constituants (matières organiques, argiles,...) et des structures (agrégats, horizons,...) qui lui sont spécifiques. Il provient de la décomposition et de l'altération des roches par l'action de l'eau, de l'air et des êtres vivants (**Soltner, 2005**). La fabrication du matériau qui deviendra le sol par altération des roches est un phénomène lent (l'échelle est celle du siècle et du millénaire). Cependant, les principales propriétés des sols peuvent évoluer très vite : c'est le cas de la structure, de la porosité de l'activité biologique et des teneurs en certains éléments nutritifs (**Gobat et al., 2003**). Le tableau 1 résume l'origine et les principaux constituants du sol.

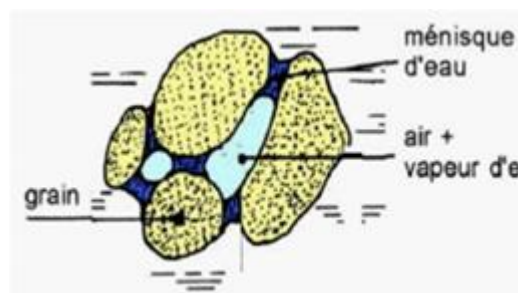


Figure N°01 . Les constituants d'un sol (Lemière L J.J et al., 2000).

3. Diverses phases du sol

3.1. Phase liquide du sol La phase liquide du sol

Est souvent désignée par le terme « solution du sol », occupe une partie plus ou moins importante de la porosité du sol, est constituée d'eau où se trouvent diverses substances organiques et minérales dissoutes et des particules en suspension. La composition de la solution du sol varie selon : Le climat, Les apports anthropiques (fertilisants, produits de traitement phytosanitaire...etc.) L'activité biologique du sol (exsudats racinaires, produits de synthèse et de dégradation microbienne ...etc.).

3.2. Phase gazeuse du sol

Dans un sol bien aéré, les gaz qui règnent dans l'atmosphère du sol sont : L'azote (78 à 80%) ; L'oxygène (18 à 20%) ; Le dioxyde de carbone (0,2 à 3%). D'autres molécules gazeuses d'origine anthropique telles que les pesticides ou les Hydrocarbures aromatiques

Chapitre I : Généralités sur le sol

polycycliques peuvent également être détectées dans l'atmosphère du sol. Ces gaz peuvent exister dans le sol. Soit à l'état libre. Soit dissous dans la solution du sol. Cependant, dans certaines conditions (d'hydro-morphine par exemple), la phase gazeuse peut être absente ; tout l'espace poral du sol est alors occupé par l'eau et le sol est dit saturé

3.3. Phase solide du sol

La phase solide représente entre un demi et deux tiers du volume du sol. En général, 90% du solide est formé par des composants inorganiques. L'une des exceptions sont les sols tourbes qui contiennent plus de 50 % de matière organique. Les deux principaux éléments composant les sols sont : l'oxygène et la silice. Du point de vue minéralogique les constituants solides du sol peuvent être classés en deux groupes : les minéraux primaires et les minéraux secondaires. Les minéraux primaires sont les silicates qui apparaissent dans les sols par désintégration physique des roches, avec comme représentants dominants les minéraux sableux.

4. Les caractéristiques physico-chimique des sols

4.1. Propriétés physiques du sol

4.1.1. Texture organique

La texture du sol s'établit selon les proportions des particules de sable, de limon et d'argile dont il est constitué. Ces particules sont classées en fonction de leur diamètre. Ces particules de sable sont les plus grosses et les particules d'argile sont les plus fines (**Ponge et Robert, 1996**).

A texture organique est aussi déterminée dans un triangle, qui permet l'attribution de l'échantillon aux domines fibrique, mésique ou saprique, bases de la classification des tourbes (**Gobat J.M et al., 1991**). en plus d'indication granulométrique, elle fournit $\bar{R}$ c'est là une différence par rapport à la texture minérale $\bar{R}$ des informations sur la microstructure du matériel (**Gobat J.M et al., 2010**).

Chapitre I : Généralités sur le sol

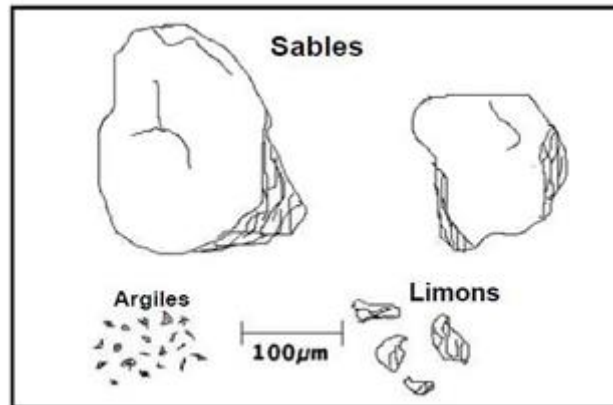


Figure N° 02 . Représentation schématique des particules de sable, de limon et d'argiles
(Hillel.,2004)

Le sol est aussi classé en fonction de la proportion des grains appartenant aux trois classes principales qui sont représentées sous forme de triangle (Figure 3)

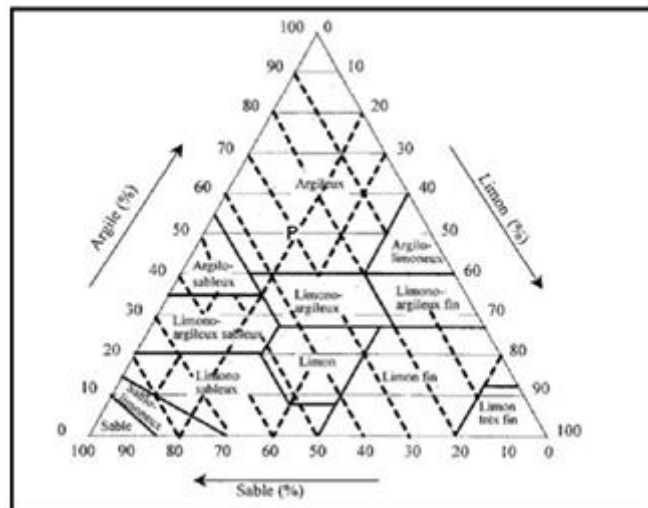


Figure N°03. Triangle des textures selon Département d'agriculture des États-Unis (Clapp, R.B. etHornberger, M.,1978),(Morel-Seytoux, Kluwer.,1989)

4.1.2. La structure

La structure du sol désigne la texture et la disposition des particules qui le composent (Deprince, 2003). Elle traduit la façon dont les particules terreuses sont disposées les unes par rapport aux autres. Elle résulte de la force de cohésion de l'argile et de l'humus qui tendent à agglomérer entre elle les particules (Calvet, 2003).

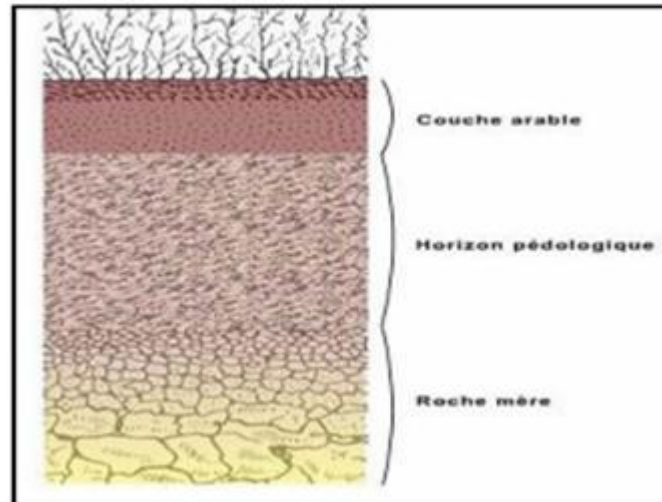


Figure N°04. Structure du sol (Cornu S., et Clozel B.L.,2000)

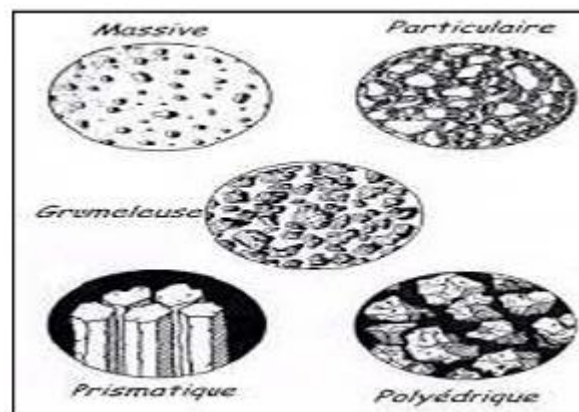


Figure N°05. Quelques exemples de structure de sol (GOBAT.2010)

4.2. La porosité

La porosité d'une couche du sol en place est la partie d'un volume unitaire qui n'est pas occupé par la phase solide. Elle se détermine à partir de la mesure de la densité apparente (d_a) (poids de terre sèche par unité de volume apparent) et de la densité ou du poids spécifique réel (d_r) de la phase solide (Koller, 2004). C'est le réseau dans lequel circulent l'eau et les gaz. Selon la taille des pores la porosité se devise en macroporosité, mesoporosité et microporosité (Gobat et al., 2010).

Chapitre I : Généralités sur le sol

4.3. Propriétés biologiques

Les caractéristiques biologiques des sols dépendent de la matière organique où l'humus désigne le mélange complexe de matière organique dans le sol. Le terme humus peut s'appliquer suivant les auteurs aux horizons organiques du sol incluant la litière ou bien aux horizons se situant sous la litière qui sont composés de matières organiques transformées par les décomposeurs vivants des sols (**Ponge et Robert., 1996**).

4.4. Propriétés chimiques

4.4.1. pH du sol

Le pH (pour potentiel hydrogène) est un indice qui indique le niveau d'acidité ou d'alcalinité du sol, il est exprimé sur une échelle de 1 à 14. Une valeur de 1 indique une solution très acide, la valeur 7 indique la neutralité, tandis que la valeur 14 exprime l'alcalinité du sol ou la basicité selon tableau N°01 .Il est défini comme le logarithme décimal de la concentration d'une solution en ion H^+ (**Nemar W.,2015**). Il permet d'approfondir les modalités d'interaction entre les ions et les surfaces absorbantes du sol (**Yekken.N.,Alouche.Ch 2022**).

Tableau N°01. Répartition des classes des pH des sols étudiés du périmètre selon les normes (**Diaea.,Drha., Seen.,2008**)

pH	< 6	6 à 6.5	6.5 à 7.3	7.3 à 7.8	7.8 à 8.5	8.5 à 9	> 9
Casse du sol	Acide	Faiblement acide	Neutre	Faiblement basique	Moyennement basique	Tendance alcaline	Très Alcaline

Le pH varie selon les saisons et le pouvoir tampon (**Gobat et al., 2003**). De nombreux animaux ne peuvent vivre qu'entre certaines limites de pH bien précises, d'autres, au contraire, sont très tolérants aux variations d'acidité du milieu (**Bachelier, 1978**).

4.4.2. Humidité du sol

L'humidité du sol a une influence sur la conductivité et la capacité thermique, donc sur les variations de température en fonction de la profondeur et du temps. Pour la pédofaune, l'eau est un facteur primordial, l'excès comme l'insuffisance lui est néfaste (**Gobat et al., 2003**).

Chapitre I : Généralités sur le sol

La capacité de rétention de l'eau dans les sols varie en fonction de leur porosité. Elle se mesure généralement en pourcentage de l'eau contenue dans un sol par rapport au volume total de terre (**Ramade, 2003**). Cette capacité agit sur les vers de terre ; quand le sol se dessèche, ces derniers ne meurent pas, mais ils s'enfoncent dans le sol, se roulent en boule et se déshydratent en perdant jusqu'à la moitié de leur eau (**Pesson, 1971**).

4.4.3. La température du sol

La température influence la vitesse et l'intensité de nombreux processus biologiques et physiques (**Koller, 2004**).

Elle varie très peu en profondeur, comme elle reste, pour les animaux du sol, un facteur limitant très important. Chaque espèce possède une température préférentielle pour son activité et les variations de celle-ci déterminent une migration verticale de la faune (**Bachelier, 1963**).

Ainsi selon (**Pesson, 1971**), Le froid ralentit les activités vitales des animaux et le gel contribue à la mort de nombreuses espèces : les acariens peuvent résister 3 à 4 jours à -12°C, et les collemboles meurent par un froid de quelques degrés en dessous de zéro. Les fortes températures quant à elles influencent la respiration cutanée de la plupart des animaux.

4.5. La matière organique (MO)

La matière organique (MO) des sols est constituée de l'ensemble des composés contenant du carbone qui ont été formés par les organismes vivants. La MO du sol constitue un compartiment très hétérogène du sol en perpétuel renouvellement. On définit le turnover de la MO comme le temps de dégradation totale d'un composé organique dans un sol. Le turnover de la MO est influencé par les apports annuels au sol. La MO représente la plus grande réserve de carbone de la surface de la terre, toutefois elle ne représente que quelques pourcents de la masse totale du sol et environ 2 % de son volume. La matière organique est essentiellement constituée de carbone, sa composition moyenne est de 50 % de carbone, 40 % d'oxygène, 5 % d'hydrogène, 4 % d'azote et 1 % de soufre. La nature et la fonctionnalité de la MO dépendent fortement de son origine et son état de dégradation dans le sol (**Bonneau, M.,1979**),(**Andreux et al.,1980**). On peut dissocier la MO des sols en trois classes principales : la composante vivante (microorganismes, petits vertébrés, racines...), la matière organique particulaire (MOP) très peu dégradée, et la matière organique dissoute (MOD) fortement dégradée. Les constituants non vivants représentent environ 85 % de la MO.

Chapitre I : Généralités sur le sol

La matière organique du sol joue trois rôles essentiels :

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

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

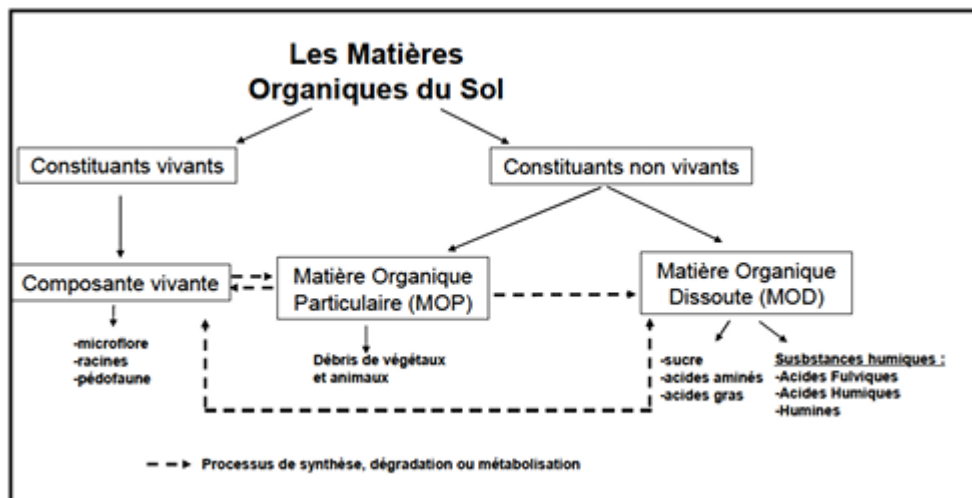


Figure N° 06. Les constituants de la matière organiques des sols (Calvet, R.,2003) ,
(Sebastia, J.,2007)

4.6. Matière en suspension (MES)

Il s'agit des matières non solubilisées dans l'eau. Elles comprennent toutes les matières minérales ou organiques. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière, par conséquent, la photosynthèse. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles, hydrocarbures aromatiques...)

5. Les fonctions du sol

La notion de sol vivant n'apparaît pas discutable, si l'on considère que le nombre d'organismes présents dans une cuillère à café (10g) de sol fertile peut excéder 9 milliards, et

Chapitre I : Généralités sur le sol

est supérieur au nombre d'êtres humains présents sur la planète (**Doran et al., 1999**). Selon (**Bachelier, 1978**), le sol présente des utilités diverses pour les sociétés humaines et pour tous les organismes vivants :

- Il nourrit le monde, il produit, contient et accumule tous les éléments nécessaires à la vie (azote, phosphore, calcium, potassium, fer, oligoéléments,), y compris l'air et l'eau. Le sol joue un rôle de garde-mangé, plus ou moins grand et plus ou moins rempli.
- C'est un composant fondamental du cycle des eaux continentales : après une pluie, les sols poreux évitent le ruissellement et contribuent à l'alimentation des nappes phréatiques. La porosité des sols détermine la proportion de l'eau qui ruisselle et de l'eau qui s'infiltre dans les sols.
- Le sol filtre et épure les eaux qui le traversent en influençant leur composition chimique et biologique suite à la pollution (activités industrielles ou agricoles).
- Le sol influence la composition de l'atmosphère, il stocke et relâche des gaz à effet de serre comme il est un puits pour le carbone (matière organique);
- C'est le lieu de vie dont le passage est obligé pour de nombreuses espèces animales et végétales ainsi que de nombreux cycles ;
- Il représente une vaste réserve génétique qui abrite et influence une grande partie de la biodiversité terrestre où l'activité biologique est essentielle à sa construction, à son fonctionnement ainsi qu'à sa fertilité ;
- L'ensemble des interactions entre le milieu et les organismes vivants induisent un certain nombre de fonctions écologiques et environnementales qui se regroupent dans la notion de fonctionnement biologique des sols.

Action de la pédofaune sur les propriétés du sol

L'action de la faune sur les sols est de nature différente et d'importance très variable selon les sols et les groupes fauniques considérés (**Bachelier, 1978**).

6. Action sur les propriétés physiques du sol

Le rôle mécanique de la faune du sol dépend de la taille, du régime alimentaire et du comportement des organismes impliqués (**Gobat et al, 2003**). Cette action physique de la faune intervient sur les propriétés du sol telles que la porosité ou la structure en agissant

Chapitre I : Généralités sur le sol

indirectement sur l'évolution des gaz et des liquides dans le milieu tout en l'améliorant. Elle permet également la création d'habitat et de réseaux de migration (**Freyssinel, 2007**).

6.1. Le macro brassage

Il permet la circulation d'importants volumes de terre entre les horizons du sol et la remontée en surface des horizons riches en matières minérales ainsi que l'enfouissement des horizons organiques superficiels et des litières. C'est grâce aux vers de terre, aux fourmis, aux scarabées et à certains mammifères (taupes, campagnols,) que s'assure le transport vertical dans le sol en creusant leurs gabarits et en construisant des grands nids (**Gobat et al., 2003**).

6.2. Le micro brassage

Cette activité se limite aux horizons superficiels malgré la faible remontée des matières minérales, mais ses effets s'observent jusqu'à 60 cm de profondeur par lessivage et accumulation des crottes ainsi que l'incorporation des matières organiques par l'intermédiaire des déjections (**Gobat et al., 2003**).

6.3. La formation de galeries

Ces structures jouent un rôle important pour l'aération du sol et son régime hydrique. Elles sont le fait des vers de terre et des termites, auquel s'ajoutent les nids et les déblais de fourmi. Chacun agit à son échelle et crée des galeries de diamètres variés qui offrent des voies de pénétration préférentielle pour les racines, les éléments fins lessivés, les excréments, ou encore les invertébrés épigés. En revanche, la mésofaune (acariens, collembolles,...) ne paraît pas modifier directement la porosité du sol mais tend à agrandir et aménager les cavités naturelles (**Gobat et al., 2003**).

6.5. La fragmentation

Il s'agit d'une réduction mécanique de la matière organique qui permet la multiplication des surfaces attaquables de l'ordre de 50 à 200 fois selon (**Bachelier, 1978**). Elle est due à l'activité successive des phyto-saprophages qui ingèrent et transforment leurs aliments ainsi que les fragmenteurs qui influencent fortement l'évolution de la matière organique dans le sol et permettent l'intervention successive et organisée de chaque maillon (**Gobat et al., 2003**).

Chapitre I : Généralités sur le sol

6.5. La formation d'agrégats

Les vers de terre et les macro-arthropodes qui ingèrent des particules de terre, avec leur nourriture, contribuent à la formation d'agrégats, en mélangeant des matières organiques et minérales dans leur tube digestif. Pour leur stabilisation, le chevelu racinaire a une action mécanique par les sécrétions de la microflore ainsi que le réseau d'hyphes de champignons et de fibres végétales qui consolident la structure des sols ; sans oublier la pédofaune associée à la microflore qui participe à l'amélioration et la stabilisation de l'organisation structurale du sol (Freyssinel, 2007).

7.Effets de la qualite des ETT (Eaux Traitée) sur les sols agricoles

7.1. Qualité du sol L'évaluation de la qualité des sols

Nécessite un ensemble minimal de paramètres physiques, chimiques et biologiques (Gregorich et al., 1994 ; Doran et Safely, 1997) qui doivent être agrégés pour fournir un indice global de la qualité des sols (Burns et al., 2006). La comparaison d'indicateurs individuels avec des valeurs de référence est une façon d'évaluer la qualité des sols (Bucher, 2002 ; Carey et al., 2009 ; Nelson et al., 2009), mais les indicateurs individuels sont souvent interdépendants ou peuvent présenter une redondance fonctionnelle (Hunt et Wall, 2002), donc le fait de les combiner de manière significative en un seul indice peut améliorer l'évaluation (Andrews et al., 2002). Les valeurs des indicateurs sélectionnés doivent être converties en scores avant qu'ils ne soient intégrés dans un indice. Cela nécessite la mise en place d'une relation entre la fonction du sol en question et les indicateurs (Erkossa et al., 2007)

7.2. Facteurs agricoles influençant la qualité des sols

Le sol est sous pression et sa qualité est soupçonnée de diminuer. La Commission Européenne (2002) a reconnu que la dégradation des sols est un problème grave qui est dû aux activités humaines telles que les pratiques agricoles inappropriées et l'expansion urbaine et industrielle.

L'altération des caractéristiques du sol par les activités anthropiques modifie les capacités fonctionnelles du sol. Les technologies agricoles et des pratiques comme la monoculture, la gestion des résidus, la fertilisation minérale, l'utilisation abusive des pesticides, les machines agricoles lourdes et l'irrigation inadéquate peuvent affecter de

Chapitre I : Généralités sur le sol

manière significative la qualité des sols en modifiant leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques (**Fauci et Dick, 1994**). L'impact humain à long terme (par exemple, colmatage), ainsi que la gestion du sol à court terme (par exemple, l'irrigation) modifie les flux de matières et d'énergie. L'érosion, la diminution de la teneur en matière organique et de la biodiversité, la contamination, le compactage, la salinisation et les glissements de terrain ont été identifiés comme les principales menaces pour les sols (**Andrews et Carroll, 2001**). Les cultures horticoles conventionnelles, en raison de l'utilisation intensive de pesticides et d'engrais, sont la principale activité qui entraîne la détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols (**Albiach et al., 2000**). Bien que l'agriculture irriguée présente certains avantages tels que l'augmentation du rendement (**Cetin et al., 2004**), elle entraîne certains problèmes tels que l'augmentation des taux de drainage, la salinisation-alcalinisation et la dégradation de la structure des sols (**Çullu et al., 2002**). L'irrigation est directement liée à l'état des eaux du sol, ce qui pourrait potentiellement affecter la structure du sol et donc le rapport eau-air, la nutrition des plantes, la biomasse microbienne du sol et son activité.

Chapitre III :

La Pollution du sol et Impact des
rejets industriels sur
le sol agricole

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

Introduction

La pollution recouvre des réalités multiformes dont l'histoire reflète fidèlement, d'une part, les progrès de la civilisation technologique corrélée à ceux de la production industrielle, et d'autre part, la croissance démographique et la biomasse humaine à laquelle est lié un accroissement corrélatif du rejet de déchets (**Ramade, 2007**). La pollution est reconnue comme un problème majeur, dans le monde, qui menace la santé et la vie humaine (**Bugge, 1976**). Elle est causée essentiellement par l'Homme et ses différentes activités qui dégradent l'environnement de plus en plus (**Leguay, 2007**).

1. Pollution du sol

Diverses sources peuvent être à l'origine de la pollution des sols notamment l'agriculture moderne où l'utilisation abusive des engrais et pesticides, ainsi que les activités industrielles d'extraction, de transformation, de stockage ou de transport qui sont principalement les causes des contaminations (**Ramade, 1982**). Il existe également une pollution due aux retombées des métaux lourds rejetés dans l'atmosphère sous forme d'aérosols (plomb, mercure, cadmium...), et diverses substances dégagées par les activités industrielles (SO₂, CFC, NO_x, CO), ainsi que des radionucléides ramenés au sol par les précipitations (**Viala et al, 2005**).

2. Origine de la pollution des sols

Le problème des sols contaminés est aujourd'hui très préoccupant dans tous les pays industrialisés. Ce phénomène est la conséquence des activités industrielles, de la gestion des déchets et du manque de contrôle environnemental qui ont eu cours par le passé. Les activités industrielles constituent une source importante de contamination des sols. Les rejets atmosphériques, les déversements et l'entreposage associés à ces activités ont contaminé les terrains industriels ainsi que les sols environnants. La nature des substances chimiques en cause, l'absence de normes, de contrôle et de préoccupations environnementales jusqu'à une époque récente peuvent expliquer l'ampleur actuelle de la contamination des sols. La dispersion des déchets domestiques et industriels dans des lieux d'enfouissement non contrôlés pendant plusieurs années a également eu pour conséquence de contaminer les sols,

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

les eaux souterraines ainsi que les eaux de surface. La présence de toxiques dans les sols peut également être d'origine naturelle.

Il s'agit de composés organiques (HAP et HAP chlorés) résultant de la combustion de végétaux et, surtout, d'oligo-éléments métalliques qui constituent le fond géochimique (zinc, arsenic, chrome, nickel, plomb, mercure, cadmium, cuivre). La reconnaissance des sols contaminés en tant que problème environnemental est un phénomène relativement récent. Bien que la contamination des sols ait eu lieu principalement au cours du siècle dernier, la communauté scientifique, la classe politique et le public ne se sont intéressés à cette problématique que depuis une vingtaine d'années. Deux raisons expliquent que les sols contaminés soient devenus un problème environnemental, social, économique et de santé publique (**Zmirou D et al., 2003**).

Pour la classification classique le phénomène de pollution envisageant ce qui se passe au niveau du sol, de l'air et de l'eau. Mais, actuellement, elle peut se faire selon la nature du facteur ou d'agent polluant considéré : Pollution physique -Radionucléides actifs (émission de rayonnements) -Caléfaction (pollution thermique) -Bruit et vibrations à basse fréquence (infrasons).

Pollution chimique Parmi les principaux polluants impliqués dans la pollution chimique :

- Dérivés gazeux du carbone et hydrocarbures liquides, matière plastiques, pesticides, les métaux lourds, etc.
- La pollution organique par les hydrocarbures est provoquée par les différentes activités humaines qui sont à l'origine de nombreuses contaminations localisées ou diffuses au niveau des sols et sous-sols à savoir

3. Les activités industrielles

- Des accidents, incidents ou anomalies diverses, lors de l'extraction du stockage, de la transformation et du transport de matières premières, de produits ou de déchets dangereux, ou lors de la distribution des produits dangereux.
- Des transferts de pollution issus des rejets atmosphériques ou aqueux, vers les sols.

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

4. Les activités urbaines

- En lien avec des activités artisanales ou commerciales utilisant ou engendrant des produits et déchets dangereux au même titre que les activités industrielles.
- Par retombées atmosphérique de nombreuses sources de pollution atmosphériques dans les villes ou à leur périphérie comme les usines d'incinération ou les véhicules motorisés. La pollution par les hydrocarbures est due à des rejets, volontaires ou non, de produits pétroliers. Elle révèle à la fois de la pollution chimique et de la pollution organique .

Autre voie de pollution est bien marquée la pollution minérale par métaux lourds. Ces derniers présents dans l'eau et l'environnement terrestre sont des éléments nécessaires au fonctionnement normal des plantes et des animaux. Ils jouent un rôle important dans la transformation de la matière, principalement dans les mécanismes enzymatiques

5. Causes de la pollution des sols

Les sources de pollution du sol sont aussi nombreuses que diverses.

5.1. Les polluants agricoles

Les taux élevés d'azote et de phosphate résultant de l'utilisation excessive des engrais, de pesticides et de fumier modifient l'acidité des sols. Dans le sol, les pesticides sont affectés par différents processus physiques, chimiques et biologiques couplés qui conditionnent leur rétention, leur dégradation et leur transfert vers les autres compartiments de l'environnement (eau, plante, atmosphère) (Mamy et al., 2009).

5.1.1. Le trafic routier

Le trafic routier est une source d'un grand nombre de polluants (monoxyde de carbone, oxyde d'azote, dioxyde de soufre, hydrocarbures). Les véhicules sont aussi une source de métaux lourds tels que le plomb, le zinc, le cuivre et le cadmium. Ces polluants sont susceptibles de se disperser dans l'environnement proche, selon plusieurs voies comme les eaux de ruissellement et les retombées sèches ou humides. Ils ne peuvent pas être dégradés (Haferburg et Kothe 2012) et s'accumulent dans les sols pendant plusieurs années et menacent les écosystèmes et la chaîne alimentaire (Paz-Ferreiro et al., 2014 ; Wawer et al., 2015) .

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

5.1.2. Exploitation des mines

Et carrières L'exploitation minière et l'extraction des ressources entraînent d'importants dégâts et de vastes pollutions dues notamment à la diffusion des métaux lourds naturellement présents dans les sols qui par conséquent sont dégradés jusqu'à l'épuisement. Après exploitation, les déchets miniers sont généralement abandonnés sur place sous forme de terrils.

5.1.3. Les déchets ménagers

La quantité de déchets ménagers a connu au cours des dernières décennies un accroissement en raison de la croissance démographique accélérée. Ce phénomène est plus critique dans les pays en développement qui n'ont pas toujours les moyens pour gérer les déchets (**Thonart et al., 2005**). La mise en décharge sauvage des déchets est une pratique très courante et elle peut être dommageable pour l'environnement et pour la population. Au-delà des nuisances générées (odeurs, fumée, plastiques volants), les décharges sauvages sont une source de pollution des sols et des eaux de la nappe phréatique (**Nhari et al., 2014**) Ces déchets devraient être recyclés (plastique) ou se dégrader naturellement.

5.1.4. L'industrie

Tous les secteurs industriels peuvent générer différentes sources de pollutions. L'industrie lourde produit souvent des quantités d'eau usée et de produits chimiques indésirables comme les produits pétroliers, les détergents les déchets radioactifs et qui sont susceptibles d'entrer en contact avec le sol.

5.1.5. L'urbanisation

Une grande partie des sols est bétonnée pour répondre à la demande croissante d'urbanisation. Sous le béton, le sol est mélangé et compacté ce qui rend la circulation de l'eau et des racines des plantes difficile. La construction de bâtiments et d'autres infrastructures urbaines nécessite souvent l'excavation et le déplacement de grandes quantités de sol. Ceci permet la perturbation de la couche arable du sol et la libération des contaminants emprisonnés dans le sol.

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

5.2. Les déchets radioactifs

Les déchets radioactifs sont riches en métaux lourds tels que l'uranium, le radium et le plutonium dont leur durée de vie est plus ou moins longue. Présents dans le sol ou dans les sites de stockage, leurs émanations peuvent pénétrer dans l'organisme par contact, ingestion ou inhalation (**Mangano, 2009**).

5.3. Le pétrole et ses dérivés

L'exploitation des champs pétroliers rejette dans l'environnement de nombreux résidus. Les opérations de forage introduisent du pétrole et une grande variété d'autres composés chimiques complexes dans le milieu à travers les déblais de forage et les fluides tels que les fluides à base de pétrole ou à base de fluides synthétiques (**Kloff et Wicks 2004**). L'utilisation du pétrole et ses dérivés a une certaine répercussion au stade du transport, du stockage sur le nombre des incidents susceptibles de contaminer les sols.

5.4. Les pluies acides

Les pluies acides sont des précipitations anormalement acides causées par les polluants présents dans l'air tels que le SO₂, SO₃, NO₂ et le NO qui se mélangent à la pluie pour former le H₂SO₃ et le HNO₃ et retombent sur le sol induisant ainsi son acidification (**Schindler, 1988**). Cette acidité modifie la structure des sols et empêchent le développement normal des végétaux ce qui entraîne des déséquilibres écologiques.

6. Les conséquences de la pollution des sols

Face à cela, tout l'équilibre qui existe sous nos pieds est bouleversé. La matière organique essentielle aux organismes se raréfie, les réserves de carbone diminuent, l'eau peine à s'infiltrer provoquant l'étouffement des sols et une véritable réaction en chaîne se met en place (Conservation Nature).

6.1. Déclin de la biodiversité

Qui dit moins de matière organique dit moins de nutriments pour les êtres vivants et moins de protection contre le transfert des polluants dans la chaîne alimentaire. Alors les substances toxiques s'infiltreront dans les eaux souterraines puis pénétreront dans les végétaux qui seront consommés par les animaux puis par les hommes.

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

Pire encore, la pollution des sols entraîne une véritable extinction des différents maillons des écosystèmes souterrains. Le sol abrite pourtant une quantité formidable de micro-organismes, d'insectes et d'invertébrés. Sans eux, impossible de maintenir une terre en bonne santé. Finie l'absorption du carbone, la richesse de la biodiversité et les différents services rendus par la nature. Et puis, étant donné que des aliments sains ne peuvent être produits que sur des sols sains, c'est aussi notre sécurité alimentaire qui est en jeu.

6.2. Diminution de la fertilité du sol

Au-delà de la contamination de la faune et des cultures, c'est le rendement agricole lui-même qui est largement altéré. Un sol pollué compromet la sécurité alimentaire mondiale en réduisant la quantité et la qualité des récoltes.

6.3. Modification de la structure du sol

La disparition des nombreux organismes vivants du sol tels que les vers de terre peut affecter sa structure et avec elle sa capacité à agir comme un filtre face aux contaminants. La plupart des plantes, incapables de s'adapter à des changements rapides, se font alors plus rares. Tandis que le déclin des bactéries et des champignons aggrave le problème de l'érosion.

6.4. Empoisonnement de la nappe phréatique

L'eau douce stockée sous les couches du sol est directement exposée au ruissellement de surface. L'introduction de polluants chimiques dans les eaux souterraines peut conduire à une diminution de la ressource en eau potable et une contamination généralisée avec l'apparition de plusieurs maladies parfois mortelles.

6.5. Accélération du changement climatique

Au cours de la première décennie du 21^e siècle, la dégradation des sols a rejeté entre 3,6 et 4,4 milliards de tonnes de CO₂ dans l'atmosphère.

6.6. Désertification

On estime qu'environ 45 % de la population mondiale pourrait vivre dans des régions considérées comme arides d'ici à 2050. Les zones humides mondiales, elles, ont reculé de 87 % au cours des trois derniers siècles.

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

6.7. Risque sanitaire

Les milieux pollués comme les zones minières, les sites industriels ou d'élimination des déchets sont aussi de formidables vecteurs de maladies. Des bronchites dans le meilleur des cas, mais aussi des cancers, de l'anémie et des problèmes neurologiques dans les cas les plus graves. Un sol contaminé peut également affecter le bétail et entraîner des intoxications alimentaires à grande échelle.

Entre les problèmes sanitaires, la contamination des eaux et la diminution des rendements agricoles, 50 à 700 millions de personnes pourraient ainsi être forcées de migrer d'ici à 2050.

Comme toujours, il ne faut pas oublier que tout est lié. Le sol entretient des liens étroits avec la vaste majorité des écosystèmes de la planète, et constitue l'une des conditions fondamentales au maintien de la vie.

7. Principaux types de polluants

Un polluant est une substance présentant des effets toxiques vis-à-vis des organismes vivants et qui peut provoquer la contamination de la chaîne alimentaire. On distingue deux types de polluants (**Khellout S., 2004**).

7.1. Polluants minéraux

Les métaux lourds : le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le chrome (Cr), ne vient ensuite Ni, Cu, Zn et Se qui est toxique pour les végétaux. Les sels : les nitrates (NO₃⁻), les sels de sodium.

7.2. Polluants organiques

Les polluants organiques d'origine industrielle incluent le pétrole et ses dérivés, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les hydrocarbures chlorés. Les hydrocarbures les plus dangereux font partie des composés aromatiques et des hydrocarbures chlorés. Le benzène et le toluène sont deux composés aromatiques très utilisés en industrie, engendrant une pollution notable. De façon générale, les composés aromatiques sont toxiques et parfois cancérigènes, mutagènes. Le degré de dangerosité devient plus important quand le sol assure difficilement la dégradation biologique de ce type de produits (**Khellout S., 2004**).

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

8. Les différents polluants du sol

8.1. Les hydrocarbures

La pollution des sols par les hydrocarbures est majoritairement accidentelle ou d'origine industrielle sauf dans le cas d'épandages volontaires d'hydrocarbures à des fins expérimentales (**Mansouri O., 2013**). Les hydrocarbures sont des molécules composées uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène (**Fattal P., 2008**). Ce sont des composés organiques de formule brute C_nH_m (où n et m sont des entiers naturels). Ils se forment à partir des débris d'algues de résidus de la faune marine et du plancton ; le vieillissement, la température et la pression qui s'exerce sur les fonds marins transforment cette substance organique en hydrocarbures (**Battaz S., 2009**).

De par leur abondance naturelle, ils font partie des produits chimiques les plus importants pour l'humanité et sont notamment utilisés comme source d'énergie primaire (**Gaudu F, 2014**). Les hydrocarbures peuvent être regroupés selon des familles : les hydrocarbures aliphatiques, les hydrocarbures cycliques, les hydrocarbures aromatiques, les asphaltènes. Les hydrocarbures proviennent de deux sources principales :

8.1.1. Sources naturelles

Les feux de forêt, de prairie et les éruptions volcaniques, l'érosion des roches sont considérés comme les plus importants processus naturels qui génèrent les hydrocarbures (**Girard et al., 2005**).

8.1.2. Sources anthropiques

Les hydrocarbures présents dans les sols proviennent généralement d'une pollution pétrolière (production, raffinage, transport) ou issue de la pétrochimie, d'usines à gaz, de certaines industries chimiques ou industries mécaniques. Les produits pétroliers, notamment dans les stations-services, sont parmi les principales sources de pollutions du sol à cause des déversements des hydrocarbures lors du remplissage des cuves de stockage de la station ou de la distribution de carburant, lors d'une fuite dans les réservoirs ou dans les canalisations entre les citernes et les îlots de pompes c'est une pollution ponctuelle (**Colin , 2000**).

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

8.2. Les métaux lourds

Les éléments traces métalliques sont tous potentiellement toxiques. Cela dépendra de leur concentration dans le milieu considéré (ex. sols) mais surtout de leur forme chimique (spéciation). Ils sont présents dans les sols, les eaux, les plantes, les animaux, ... Les métaux lourds arrivent au sol suite au stockage de déchets industriels et urbains, aux pratiques agricoles, aux retombées atmosphériques et aux décharges. Les métaux lourds sont caractérisés par des propriétés physicochimiques particulières, ils sont Indéfiniment stables, solubles dans l'eau ce qui leur permet de rejoindre les nappes souterraines et peuvent être prélevés par les plantes.

La toxicité des métaux lourds est due à leur non dégradabilité, leur toxicité à faible concentration, leur tendance à s'accumuler dans les organismes vivants et à se concentrer le long des chaînes trophiques (**Kara K., 2020**). Les teneurs en métaux lourds mesurées aujourd'hui dans les sols résultent de processus naturels :

8.2.1. Le fond géochimique

C'est la composition chimique d'un sol et des roches du sous-sol dont il est la décomposition. Il détermine en partie la qualité du sol, de l'eau et la vie de la flore et de la faune. Il est plus ou moins modifié par l'évolution pédogénétiques (différenciation d'horizons). La notion de « fond géochimique » est utilisée dans le domaine de l'évaluation environnementale, de l'étude de la pollution des sols et de la gestion des sites et sols pollués (**Kara K., 2020**).

8.3. Les engrais et les pesticides

Le développement d'une agriculture plus intensive, même si elle a permis d'accroître les productions vivrières, a contribué à la pollution des sols notamment suite à l'usage intensif d'engrais de synthèse et de produits phytosanitaires pour lutter contre les mauvaises herbes et les parasites. Des fertilisants minéraux ou organiques (lisiers, boues de station d'épuration) sont alors dispersés à la surface des sols afin d'accroître les rendements des végétaux cultivés. Ces produits contiennent des éléments qui ne sont pas tous dégradables. Ils peuvent donc rester dans le sol ou être entraînés par la pluie vers les nappes phréatiques ou les rivières ou être transférés vers les plantes, les animaux et l'homme. Les énormes excédents de déchets solides d'origine agricole, produits par les exploitations ou la consommation urbaine des

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

productions végétales et animales ne sont plus recyclés selon les pratiques traditionnelles mais entassés dans des décharges où la fermentation anaérobie produit des composés ammoniacaux ou sulfurés très toxiques entraînant une contamination accrue des sols et des eaux souterraines. L'utilisation croissante d'engrais et de pesticides, l'épandage de lisier, de boues de station d'épuration et d'autres résidus d'origine urbaine introduit sur les terres agricoles une quantité croissante de polluants organiques et de métaux toxiques qui s'accumulent dans ces dernières et conduisent à une pollution irréversible des sols cultivés qui compromet, à long terme leur fertilité (Kara K., 2020).

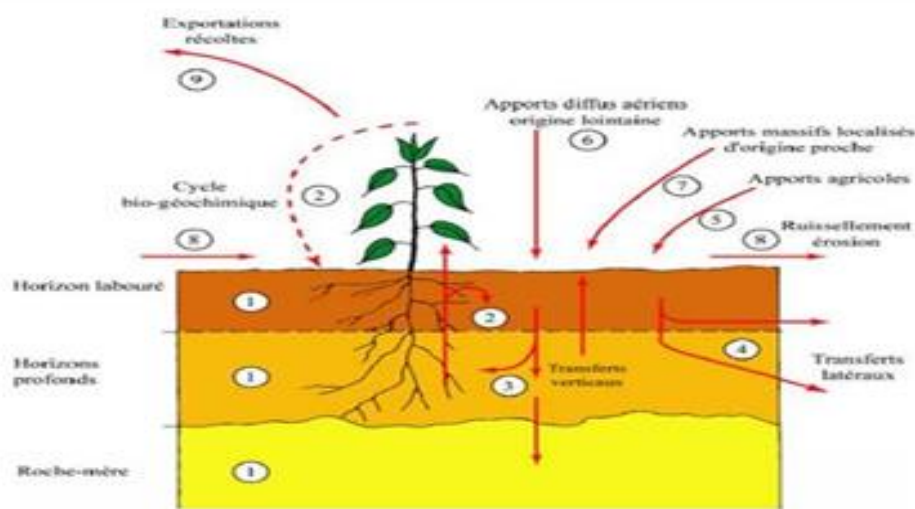


Figure N°07. L'acquisition des teneurs totales en éléments traces métalliques dans le sol

9. Les formes de dégradation des sols

9.1. Définition la dégradation des sols

La dégradation des sols est un phénomène naturel inhérent aux processus physico-chimiques et biologiques qui dynamisent notre planète. Le devenir géologique des sols est compromis par l'existence de facteurs exogènes qui concourent tôt ou tard à leur destruction. La vitrification est l'un des rares processus, avec l'enfouissement, qui permette d'en conserver le témoignage dans les séries géologiques. Le reste est affaire d'interprétation. On ne peut donc évoquer ce concept de dégradation qu'au travers du filtre de l'homme et des objectifs économiques qu'il s'est fixé : on entend par dégradation des sols perte de leur potentiel au regard de ce que l'on espérait qu'il soit. Mais l'homme a toujours été un facteur de dégradation des sols et ceci dès le Néolithique.

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

Il advient que son action se superpose à des processus naturels qui vont parfois dans le même sens (car la nature est par essence minimale), ce que montre la planche 1 cicontre, tentative de reconstitution historique de l'évolution des sols du site archéologique de Mondeville (Chancerel et paraître).

Le processus de dégradation des sols est un phénomène qui n'émeut pas les populations et il n'existe pas, à ce sujet, de pression sociale susceptible d'alerter la classe politique comme c'est le cas pour la perte de biodiversité, pour le trou de la couche d'ozone, pour le réchauffement de la Terre ou pour la pollution de l'air. Pourtant il s'agit d'un phénomène naturellement présent dans les cycles géologiques mais accéléré par les contraintes liées au mode de vie occidental et par l'émergence des processus de production intensifs. Ceci au nom de la satisfaction des besoins alimentaires de la planète. L'érosion hydrique et L'agriculture intensive jouent un rôle très important dans la dégradation des sols (principales causes de dégradation) où ce dernier présente plusieurs types qui sont reportés ci-dessous.

9.2. Type de dégradation

9.2.1. Dégradation physique

Elle entrain une dégradation des propriétés physique du sol comme l'aptitude à la pénétration racinaire, la perméabilité et l'aération .la formation des croutes empêche l'infiltration de l'eau et accéléré l'écoulement superficiel. La germination et la levée sont rendues plus difficiles. Les faibles indices d'infiltration diminuent la capacité de rétention d'eau et favorisent ainsi l'apparition de situation de stress hydrique **(Tidjani , 2004)**.

9.2.2. Dégradation biologique

Lorsque le sol ne peut plus fonctionner comme habitat biologique, l'installation, la croissance et le développement des êtres vivants sont perturbés, voire complètement réprimés. On peut alors parler d'une altération de sa qualité biologique, qui entraîne une détérioration biologique lorsqu'elle est réduite ou entièrement perdue **(Chaussod ,1996)**. On peut supposer que ce dernier est le résultat de la dégradation chimique du sol (seule ou associée à une dégradation physique).

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

9.2.3. Dégradation chimique

Une série de processus pédologiques et chimiques entraînent une diminution de la productivité des sols. Dans l'optique d'une utilisation durable des sols agricoles, la diminution des réserves en nutriment pour les végétaux est particulièrement préoccupante. Cela signifie que la restitution par la minéralisation, la teneur du sol en nutriment diminuerait rapidement.

La salinisation entraînera une diminution de la quantité d'eau disponible pour les plantes. Cela peut également occasionner des effets toxiques sur les cultures, une élévation de l'alcalinité du sol et sous certains des altérations de structures et une diminution de la capacité d'infiltration. Le manque de la matière organique fait que l'aptitude du sol à retenir les nutriments devinent trop faible et le lessivage augmente fortement. De ce fait de très faible valeur de capacités d'échange cationique potentielle sont beaucoup plus défavorables que des carences de tel ou nutriment (**Greco J., 1966**).

9.3. Dégradation des sols agricoles

Même si elle a permis d'accroître les productions vivrières, a contribué à la pollution des sols notamment suite à l'usage intensif d'engrais de synthèse et de produits phytosanitaires pour lutter contre les mauvaises herbes et les parasites.

Ces produits contiennent des éléments qui ne sont pas tous dégradables. Ils peuvent donc rester dans le sol ou être entraînés par la pluie vers les nappes phréatiques ou les rivières ou être transférés vers les plantes, les animaux et l'homme.

L'agriculture peut aussi agresser le sol en provoquant son tassement par le passage d'engins de plus en plus lourds. Le sol compacté ne laisse passer ni l'eau, ni l'air et la faune des recycleurs du sol (par exemple, les vers de terre) diminue.

Le sol laissé nu une bonne partie de l'année voit une part non négligeable de ses éléments fertiles emportés par l'eau (érosion hydrique) ou le vent (érosion éolienne), En cas de tempêtes ou de fortes pluies, c'est plusieurs dizaines de tonnes de sol par hectare et par an qui peuvent disparaître et être entraînés vers les cours d'eau qu'ils rendent boueux. La baisse de la qualité des sols peut donc induire une baisse des rendements des récoltes et de leur qualité nutritive (**Boulaine ,1975**).

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

9.4. Les autres activités humaines responsables de la dégradation du sol

- Les autres causes de pollutions ou de dégradations des sols dues aux activités humaines sont : la mise en décharge de déchets et l'épandage de déchets notamment les boues de stations d'épuration (sites permettant de traiter les eaux usées) et les composts urbains, qui contaminaient les sols avant l'instauration de réglementations contraignantes,
- Les rejets de polluants organiques et de métaux par les sites industriels, anciens ou actuels, ou par les véhicules (gaz d'échappement des voitures, des camions...),
- L'érosion accélérée due à la perte de couverture végétale par exemple en cas de déforestation ou incendie de forêts, qui se traduit par une dégradation et une transformation du relief,
- L'imperméabilisation, due à la construction de routes, d'entrepôts, d'habitations qui couvrent le sol et le condamnent à mort,
- La mise en culture de prairies et de forêts, le labour et la moindre restitution des résidus de culture (pailles...) qui diminuent la biodiversité et les matières organiques contenues dans les sols (**Hanifi K., 1998**).

9.5. Les dégradations du sol dues aux activités humaines

Toutes ces menaces affectent les diverses fonctions du sol, notamment celles qui sont primordiales pour la santé humaine, comme la production alimentaire, ou encore la filtration et le stockage des eaux souterraines, principale source d'eau potable. D'après diverses sources dont la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), on estime que près de la moitié des sols du monde sont déjà dégradés en conséquence des activités humaines, phénomène qui s'accroît et qui pourrait s'aggraver avec les changements climatiques (**Edward, 2010**).

10. Techniques de réhabilitation et décontamination des sols

10.1. Démarches pour la réhabilitation des terres agricoles

La réhabilitation des terres agricoles a pour objet de rétablir la capacité du sol à produire des biens économiques. La production primaire est grandement contrôlée par les interactions entre disponibilité en eau et disponibilité en éléments minéraux dans le sol.

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

La réhabilitation nécessite donc que soit créées des conditions pour assurer une infiltration effective de l'eau et son maintien dans le sol et pour assurer le rétablissement des cycles des éléments minéraux et d'un complexe. Où s'effectuent le maintien et la libération des éléments minéraux. La figure N°08 présente une démarche pour la réhabilitation des sols dégradés dans un contexte où le manque d'eau- et des éléments minéraux sont les contraintes à lever : Ce sont les formes de dégradation les plus fréquentes dans la zone semi-aride, mais il faut également noter qu'il y a des cas de dégradation liées à un excès d'eau ou de certains éléments chimiques (hydromorphie, acidité toxicité ou pollution liée à certains produits, etc.) (Floret Ch et al.,2001).

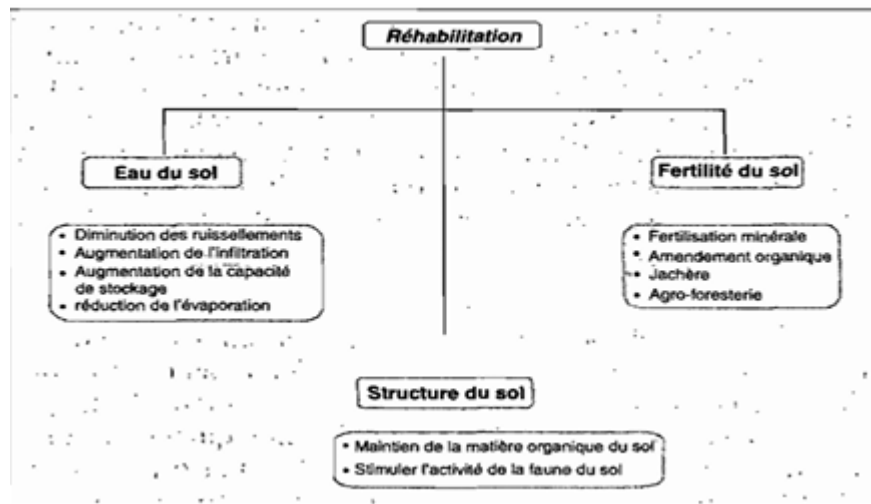


Figure N°08. Démarche pour la réhabilitation des sols dégradés (Floret et al., 2001)

10.2. Techniques de décontamination

La solution la plus simple de gestion des sols pollués est l'excavation suivie de l'enfouissement dans un site approprié. Par contre, la réutilisation du sol, si possible, est fortement suggérée et devrait être encouragée par les gouvernements. Si le confinement et l'enfouissement règlent le problème de la contamination au niveau de la gestion des risques, il s'agit de techniques ne pouvant pas s'insérer dans un cadre de développement durable.

La réhabilitation des sols peut être effectuée aussi bien in-situ qu'ex-situ en utilisant différentes technologies, tels que les traitements physiques, thermiques, chimiques et les procédés biologiques. Les technologies ex-situ demandent toujours une excavation du

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

matériel contaminé avant le traitement ; deux solutions sont possibles : soit l'usage d'une usine mobile sur le site, soit le traitement dans des usines fixes. Dans le deuxième cas, un transport du matériel sera nécessaire. Bien que les techniques de traitement in-situ soient bien acceptées par l'opinion publique, la généralisation d'une méthode est difficile à cause de la variabilité des caractéristiques des sites.

Les techniques de décontamination peuvent aussi être séparées dans différents groupes selon la stratégie utilisée : on parle d'immobilisation quand les contaminants sont laissés dans la matrice mais les risques sont contrôlés ; toutes stratégies qui prévoient une séparation des polluants de la matrice peuvent être classifiées comme techniques d'extraction.

Dans certains cas, les polluants peuvent être dégradés ou transformés en formes moins dangereuses. La Figure N° 04 propose quelques techniques classifiées sur la base des stratégies utilisées.

Certaines peuvent être pratiquées in-situ, d'autre ex-situ ou les deux à la fois. La sélection d'une stratégie dépend de plusieurs facteurs, tels que les conditions hydrologiques, la situation environnementale, la grandeur du site, le type de sol et le niveau de saturation en eau.

Elle dépend aussi de la concentration et du type de polluant et de l'usage envisagé du site **(Mulligan C et al., 2001)**. Le choix des techniques dépend du type de pollution (étendue, profondeur, ancienneté, etc.), des objectifs visés, des impératifs législatifs, des conditions de terrain et des coûts. Les propriétés des contaminants sont très importantes pour la sélection des techniques efficaces pour la décontamination **(Xing W et al., 2006)**

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

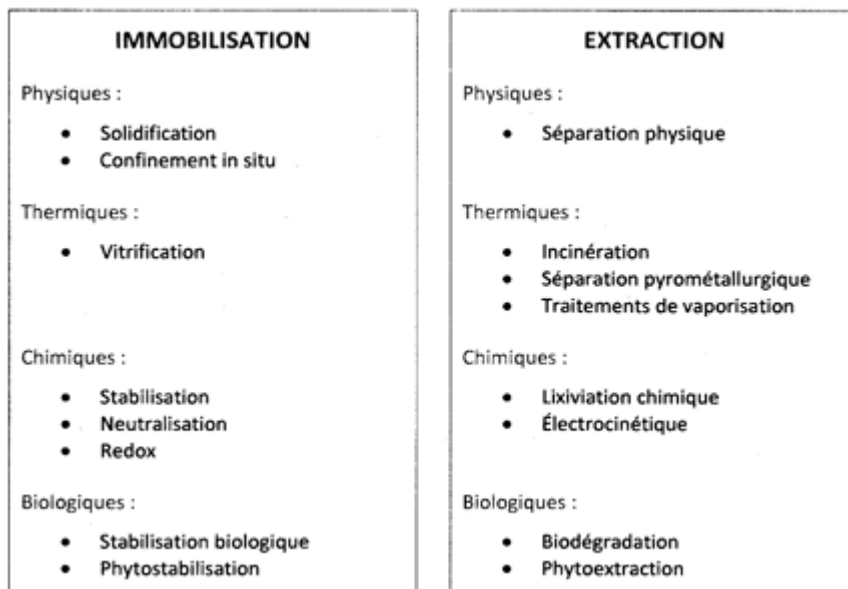


Figure N°09. Techniques de traitement de sols contaminés (Mulligan et *al.*, 2001).

10.2.1. Les traitements biologiques

Il existe plusieurs méthodes de traitement biologique. Parmi celles-ci, il est possible de compter le bioréacteur, la phytoremédiation, le compostage, le landfarming, le biosparging, l'atténuation naturelle contrôlée, la barrière perméable réactive, ou encore l'électroremédiation.

Toutefois, la plupart de ces technologies ne sont pas efficaces pour le traitement des sols contaminés par des contaminants organiques, ou encore ne sont pas économiquement intéressantes, leur niveau d'efficacité n'étant pas encore au point. Dans le cadre de cet essai, deux technologies de traitement biologique seront développées, bioventilation/biodégradation et le biopile (Jorgensen K et *al.*, 2000).

A. Biodégradation et bioventilation

Soit le principe de biodégradation s'explique par la dégradation des composés à base de carbone par des microorganismes. Il est donc question, en d'autres mots, de cultiver des microorganismes sur les sols contaminés. Le processus de dégradation des contaminants peut

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

s'effectuer en présence ou en l'absence d'oxygène (aérobie, anaérobie). Cette technologie est applicable sur une pile de sols excavés ou de façon in-situ. Le principe de volatilisation, quant à lui, consiste en l'injection d'air dans les sols afin de permettre au contaminant de s'y accrocher. L'utilisation simultanée ou séquentielle des principes de biodégradation et de volatilisation mène à la bioventilation.

Le phénomène de bioventilation nécessite parfois d'injecter des nutriments dans les sols, d'ajuster le taux d'humidité, d'ajouter des composés libérateurs d'oxygène, ou encore d'ajuster les réactions chimiques par l'ajout d'électrons. Comme mentionné précédemment, il existe deux types de biodégradation, soit aérobie et anaérobie.

La biodégradation aérobie est plus efficace et moins complexe à maîtriser que la biodégradation anaérobie, donc elle est plus couramment utilisée (**Mddefp., 1999**).

B. Biopile

La technique de traitement des sols par biopile (ou biotertre) , consiste à amonceler les sols excavés, à les humidifier, à les amender et à les aérer afin d'accélérer la biodégradation des contaminants (Office québécois de la langue française, 2013). Cette technologie est éprouvée et largement utilisée en Amérique du Nord et en Europe. Elle consiste tout d'abord à mélanger des sols excavés avec un amendement (agent structurant) tel des copeaux de bois. Les contaminants dans les sols sont ensuite biodégradés grâce à la mise en place de conditions idéales (température, taux d'humidité, nutriments, oxygène, pH...) (**Colombano S et al., 2010**).

Les sols contaminés excavés sont traités dans une installation spécifiquement conçue pour le traitement. L'installation peut se situer sur le terrain même ou dans un centre spécialisé. Les sols excavés sont la plupart du temps recouverts d'une membrane imperméable (géomembrane). Ceci permet de limiter les infiltrations d'eau de pluie, de retenir les gaz des polluants volatils ainsi que de maintenir la température au bon niveau. Pour permettre d'augmenter l'efficacité du traitement, il est possible d'ajouter des éléments nutritifs sous forme solide ou liquide. De l'oxygène est également nécessaire pour une dégradation en mode aérobie.

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

Les lixiviats ainsi que les rejets atmosphériques créés par la dégradation des polluants sont récupérés et traités avant d'être rejetés dans l'environnement. Tel que présenté sur la figure N°05 , plusieurs équipements sont requis pour effectuer ce traitement.

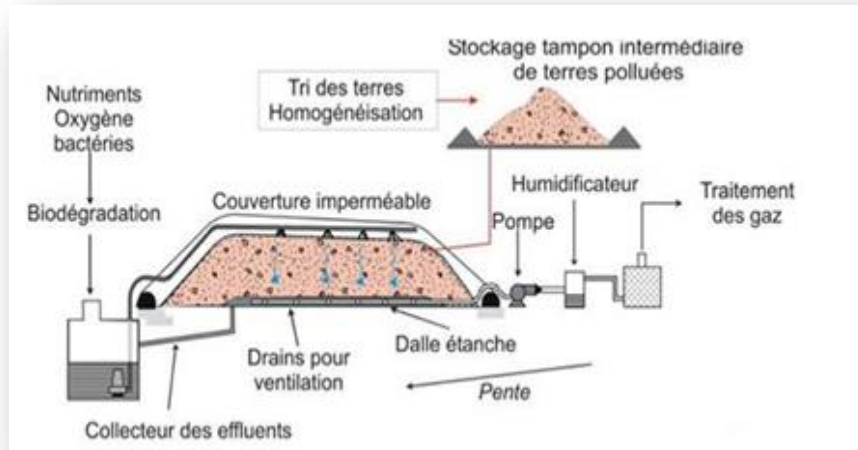


Figure N° 10. Technique de traitement par biopile (**Colombano et al., 2010**)

10.2.2. Les procédés chimiques

Dans le cadre de cet essai, deux technologies chimiques seront présentées, soit l'oxydation chimique et le lavage des sols in-situ. L'extraction chimique et la réduction chimique sont également des technologies chimiques existantes, mais leur niveau d'efficacité à ce jour ainsi que les frais y étant associés ne sont pas compétitifs pour le moment.

A. Oxydation chimique

La technique d'oxydation chimique est largement répandue dans les pays industrialisés. Cette technique consiste en une dégradation des contaminants en contact avec des réactifs oxydants injectés dans la zone de sols contaminés (in-situ) ou mélangés dans un conteneur adapté (ex situ). L'oxydation chimique in-situ consiste à injecter sous pression un produit oxydant (ozone, peroxyde, etc.) à l'intérieur de la matrice des sols contaminés, que la zone soit saturée ou non.

Les polluants peuvent être totalement dégradés (minéralisation) ou partiellement (sous-produits plus biodégradables). Ce traitement chimique permet de générer des réactions dans la

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

zone contaminée de façon à modifier les produits toxiques en produits qui ne nuisent pas à l'environnement (**Dueso N et al., 2009**).

L'oxydation chimique de façon ex-situ est moins répandue. Il s'agit d'excaver les sols et de les insérer peu à peu dans un conteneur adapté. À l'intérieur du conteneur, les sols sont acheminés de l'entrée à la sortie par un système de spirale.

Pendant ce temps (qui peut être réglé selon les concentrations de contaminants et l'imperméabilité des sols), les réactifs sont mélangés aux sols dans le but d'entrer en contact avec les contaminants. Un mouvement de rotation favorise ce contact.

Les sols se présentant à la sortie sont par la suite échantillonnés afin de vérifier l'efficacité du traitement, puis remis en place dans l'enclave d'excavation. Cette solution est privilégiée principalement lorsque l'imperméabilité des sols ne permet pas le traitement in-situ (**Dueso et al., 2009**).

B. Lavage des sols in-situ

Le traitement des sols avec un solvant consiste, en d'autres mots, à laver les sols. Les contaminants adsorbés sur les sols s'accrochent aux solvants ou à l'eau, dépendamment du type de lavage, permettant aux sols d'être réutilisés sur le site. Cette méthode de traitement n'est pas couramment employée. Ce procédé ne s'applique pas de façon in-situ. Le lavage à l'eau nécessite préalablement un tri granulométrique, permettant de séparer les particules fines des particules grossières. Les particules fines sont ensuite acheminées vers une phase aqueuse (ou autre solution de traitement privilégiée).

Lorsque les contaminants adsorbés aux sols en sont séparés, la solution aqueuse est ensuite traitée. Pour augmenter l'efficacité du traitement à l'eau, des agents chélatants et surfactants sont ajoutés à la solution liquide, de même que des acides et des bases, de l'eau chaude et de la vapeur (**Dufresne M., 2013**).

10.2.3. Les traitements thermiques

Parmi les traitements thermiques existants, on compte la vitrification, la pyrolyse et la thermolyse. Ces procédés ne sont toutefois pas encore assez développés pour que leur utilisation soit préférable à celle de la désorption thermique ou de l'incinération, qui seront les deux technologies décrites dans cette section (**Dufresne M., 2013**).

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

A. Désorption thermique

La désorption thermique, qui fait présentement concurrence à l'incinération, est de plus en plus utilisée. Bien développée aux États-Unis, cette technique consiste en la dégradation des molécules des contaminants par l'effet de l'augmentation de la température. La technique de désorption thermique est appliquée par l'injection de chaleur dans les sols (in-situ) ou dans un four (ex-situ) afin d'en extraire les contaminants volatils et semi-volatils (principe de volatilisation). Ce principe est applicable de façon ex-situ, une fois les sols contaminés excavés, et in-situ, directement dans la zone de sols contaminés. Le principe de désorption thermique ex-situ consiste à mettre les sols contaminés dans une unité de désorption (four) qui atteint des températures comprises entre 150 et 540°C. Ceci permet aux contaminants adsorbés aux particules du sol de s'en détacher et favorise la volatilisation des composés qui seront par la suite récupérés sous forme gazeuse.

Le principe de désorption thermique in-situ, quant à lui, consiste à injecter de la vapeur dans la zone contaminée, à chauffer le sol par résistance électrique (courant électrique), à chauffer par micro-ondes ou encore avec un puits thermique. Le traitement par désorption thermique insitu est encore en développement, contrairement au traitement ex-situ qui est déjà commercialisé (**Roudier P., 2005**).

B. Incinération

Parmi les techniques de traitement les plus anciennes, l'incinération consiste à brûler les sols contaminés dans un four atteignant des températures extrêmes (870 à 1 200°C). Les contaminants sont donc détruits ou volatilisés. Depuis de nombreuses années utilisées comme technique de traitement des sols, l'incinération a été développée graduellement au fil des ans, s'appliquant maintenant à plusieurs polluants. Les contaminants visés sont principalement organiques. L'incinération est utilisée pour de nombreux polluants organiques (volatils, semi volatils, voire peu volatils) à des teneurs très concentrées (de l'ordre de plusieurs pour cent parfois), hydrocarbures pétroliers (essences, gazoles, kérosènes), fractions plus lourdes d'hydrocarbures, solvants chlorés, huiles, PCB, pesticides, dioxines/furanes, HAP, composés explosifs. Exception faite des composés radioactifs, l'intégralité des polluants peut être traitée par incinération (**Colombano S et al, 2010**).

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

Quatre techniques sont connues à ce jour, soit les dispositifs à lit fluidisé, les dispositifs à circulation, la technique infrarouge ainsi que le four rotatif. La première étape consiste à excaver les sols, puis à les assécher. Après avoir été tamisés (seules les particules de taille centimétrique sont incinérées), les sols sont acheminés vers le système de chauffage. À 400°C, les contaminants se volatilisent, et à plus de 1 000°C, ils sont détruits complètement. Le sol peut ensuite être réutilisé sur le site. Les émanations gazeuses doivent être récupérées et brûlées à plus de 1 300°C (**Roudier P., 2005**).

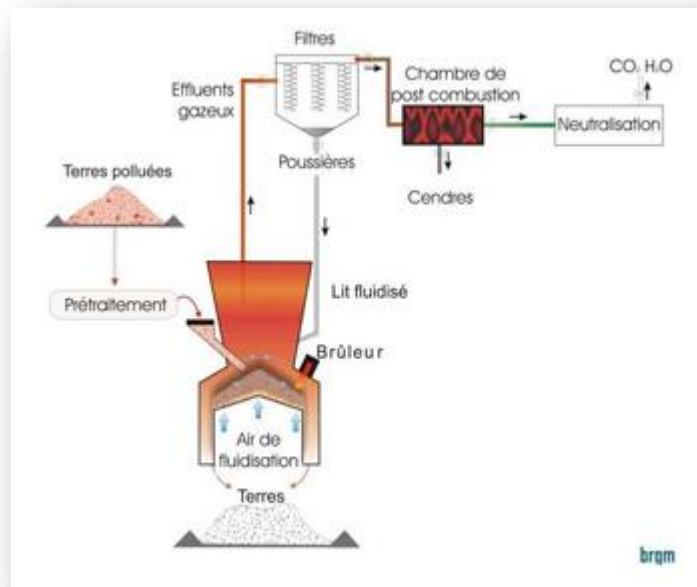


Figure N°11. Système d'incinération (Colombano S et autres, 2010)

11. Pollution industrielle en Algérie

En Algérie, le terme pollution fait penser surtout à la pollution industrielle telle que l'industrie électronique, par exemple, qui utilise de nombreux produits chimiques dangereux tout en rejetant une quantité considérable de solvants, de produits chimiques de nettoyage et d'autres mélanges dont les risques et la toxicité sur l'environnement et la santé des populations sont très élevés (**Rebah, 2005**). Nos installations industrielles des années 70 n'ont pas fait l'objet d'une étude d'impact, d'une étude de danger ni d'une simple enquête publique. Aussi, le concept de développement durable était encore inconnu comme on ignorait le concept HSE, ce qui a engendré un niveau élevé de pollution et une consommation excessive des ressources naturelles (**Rebah, 2005**). De nombreuses unités industrielles n'étaient pas dotées

Chapitre II : La Pollution du sol et Impact des rejets industriels sur le sol agricole

d'équipement anti-pollution, sauf de rares stations d'épuration acquises à ce moment, avérées au fil du temps inopérantes. A cette époque les technologies polluantes ont été installées sur les terres agricoles les plus fertiles et les nappes d'eau **(Rebah, 2005)**. Actuellement, malgré l'évolution de l'industrie chez nous, il y a une prise de conscience importante par rapport aux années précédentes, cela se concrétise à l'ENIEM. en devenant certifiée ISO 14001 depuis 2008, et à la Sonatrash qui a très bien améliorée ses techniques de travail, etc. **(Audit Environnemental, 2008)**.

CHAPITRE III :

Matériels et Méthodes

Chapitre III : Matériels et Méthodes

I. Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique de la région Gharbi Aissa (willaya d'Annaba)

1.1. Localisation.

Gharbi Aissa (Annaba) anciennement Bône durant la période de la colonisation française et Hippone dans l'Antiquité) est la quatrième ville d'Algérie en nombre d'habitants après la capitale Alger, Oran et Constantine. Chef-lieu de la wilaya d'Annaba, Annaba est située à 152 km au nord-est de Constantine, à 536 km à l'est d'Alger et à environ 100 km à l'ouest de la frontière tunisienne. Elle est également une métropole littorale dont la population dépasse 600 000 habitants.

La cote d'Annaba (Fig.07) constitue un golfe, situé à l'extrême Est de l'Algérie, et limité par deux caps : le cap Rosa à l'Est ($36^{\circ} 68' \text{LN}$, $8^{\circ} 15' \text{LE}$) et le cap de Garde à l'Ouest ($36^{\circ} 38' \text{N}$, $7^{\circ} 16' \text{E}$) (**Ayada M, 2003**). la distance séparant les deux caps est d'environ 40Km. Ce plateau continental est non seulement étroit mais il est accidenté, surtout au voisinage des deux caps.

Il est restreint 7,2 km au Nord du cap de Garde, puis s'élargit dans le golfe jusqu'à 23,2 km et se rétrécit légèrement à l'Est. Dans le golfe d'Annaba se jettent essentiellement deux oueds : Seybouse et Mefrag qui charrient les eaux de pluie et les eaux des rejets urbains, industriels et agricoles (**Boudraa W, Merzoug S-E, Djamaa F, Benghatti S, 2011**).

La région d'Annaba est caractérisée par un climat méditerranéen, avec l'alternance d'une saison douce et humide et une saison chaude et sèche (**Boudraa W, Merzoug S-E, Djamaa F, Benghatti S, 2011**)

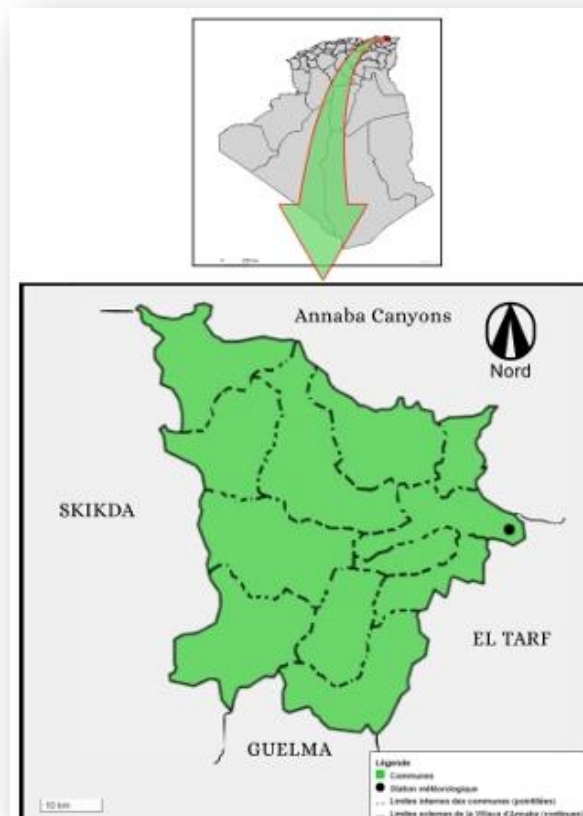


Figure N°12. Situation géographique de la région d'Annaba

2. Topographie et relief

L'étude géomorphologique donne une idée sur les possibilités aquifères des formations et leurs sources d'alimentation. Au niveau de la région d'Annaba, nous distinguons trois formes morphologiques distinctes, il s'agit de la plaine d'Annaba, le cordon dunaire et les reliefs montagneux qui correspondent à la retombée des djebels Edough au Nord et les massifs de Belleleita au Sud-Ouest et Bouhammra au Sud. I. Les montagnes Au contact brutal de la plaine d'Annaba et la mer s'élève l'entité cristallophyllienne du massif de l'Edough témoin des évènements géologiques et tectoniques complexes. La masse principale de ce massif qui a l'allure d'un dôme anticlinal est limitée au Sud-Ouest par la dépression du lac Fetzara, à l'est par la plaine d'Annaba et au nord par la mer. La ligne de crête longue et relativement rectiligne suit une direction sud-ouest, nord-est en débutant de la bordure du lac Fetzara au sud-ouest, s'élève rapidement à plus de 600 m à koudiet El-Rohna, atteint 1008 m à Kef Sbaa (point culminant) puis s'abaisse régulièrement pour s'achever par la presqu'île du cap de garde.

Chapitre III : Matériels et Méthodes

3. Situation climatique

3.1. Le Climat

Annaba bénéficie d'un climat méditerranéen. Elle est connue pour ses longs étés chauds et secs. Les hivers y sont doux et humides ; les jours de neige sont rares. Les pluies sont abondantes et peuvent être diluviennes. Il fait généralement chaud surtout de la mi-juillet à la mi-août.

3.2. Les températures annuelles et leur variabilité interannuelle

La température est un facteur très important régissant le phénomène d'évapotranspiration et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les données des températures disponibles sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station des Salines sur une période de 33 ans (1973/2006).

4. La géologie

Voici les principales caractéristiques géologiques d'Annaba

- La région d'Annaba est située dans la chaîne calcaire des monts de l'Edough qui appartiennent au domaine de l'Avant-pays de la chaîne des Mogods-Edough-Kroumirie-Nefzaoua.

Le sous-sol est constitué majoritairement de formations sédimentaires calcaires d'âge secondaire (Crétacé) et tertiaire (Éocène, Oligocène, Miocène). On trouve aussi des formations marneuses et gréseuses.

- La ville est implantée sur une vaste plaine littorale formée de dépôts quaternaires (plio-quaternaires) issus de l'érosion des reliefs calcaires environnants

-La région est marquée par un intense plissement et une tectonique de nappes liés à la poussée de la plaque africaine contre la plaque eurasiennne lors de l'orogénèse alpine

-On note la présence de nombreuses failles inverses responsables du plissement et du chevauchement des différentes unités géologiques.

-La sismicité de la région est modérée en raison de l'activité de ces failles (**L'article Géométrie des plis et champs de déformation dans la région d'Annaba (Nord-Est algérien)**», 2018).

5. Description lithologique

La série sédimentaire rencontrée à Annaba est constituée de plusieurs formations datant du Crétacé au Quaternaire:

5.1. Crétacé supérieur

- Calcaires massifs et calcaires gréseux (formation Abiod)
- Marnes et marno-calcaires (formation Boulma)

5.2. Paléocène-Éocène

- Gres quartzitiques (formation Jebel Goussa)
- Alternances marno gréseuses (formation Souar)

5.3. Oligocene

- Calcaires blancs récifaux (formation Eur-Rmel)
- Marnes bleues (formation Ain Mlilat)

5.4. Miocène

- Grès calcaires et pélites (formation Djetna).
- Poudingues, gres et argiles (formation Gourine).

5.6. Plio-Quaternaire

- Dépôts alluviaux et fluvio-lacustres.
- Formations de plages soulevées et dunes consolidées.

On note la prédominance des faciès calcaires et marneux d'origine marine, reflétant un environnement sédimentaire de plate-forme et bassin peu profonds pendant le Secondaire et le Tertiaire. Les formations gréseuses témoignent d'apports détritiques. **(Le mémoire de Master "Étude lithologique et minéralogique des formations oligo miocènes d'Annaba" 2020).**

Chapitre III : Matériels et Méthodes

6. Hydrogéologie

Les principales caractéristiques hydrogéologiques de la région d'Annaba

La région d'Annaba repose sur deux principaux systèmes aquifères superposés:

1) Le système aquifère de la nappe profonde des calcaires crétacés et éocènes

-Vaste nappe captive à semi-captive dans les formations calcaires très fissurées et karstifiées

-Alimentation par les affleurements au niveau des reliefs (Edough, Chénoua)

-Nappe profonde (100 à 600m) et artésienne par endroits

-Eaux minéralisées modérément (1à 3 g/l).

2) Le système aquifère des nappes phréatiques quaternaires

-Nappes libres contenues dans les formations alluviales, colluvions, dunes consolidées

-Alimentées par la pluie et les crues des oueds

-Nappes peu profondes (5 à 30m) et vulnérables aux pollutions

-Eaux peu minéralisées (<1 g/l) mais souvent saumâtres près du littoral

On note aussi de petites nappes d'altérites sur les reliefs et quelques sources de source karstiques sur les monts de l'Edough. (L'ouvrage «Hydrogéologie de la région d'Annaba 2015).

7. La pédologie

La région d'Annaba présente plusieurs types de sols liés à la nature des roches mères et au climat méditerranéen :

➤ Sols calcimagnésiques sur les reliefs calcaires

Ce sont des sols peu évolués, rendzines ou rendzines grises, pauvres et caillouteux, développés sur les affleurements calcaires des monts de l'Edough

Chapitre III : Matériels et Méthodes

➤ Sols fersiallitiques rouges sur marnes et argiles

Ce sont des sols argileux, profonds et rouges, développés sur les formations marneuses du Miocène. Ils couvrent une grande partie de la plaine d'Annaba et sont propices aux cultures

II. Matériels et méthodes

1. Analyses de sol

1.1. Techniques d'échantillonnage

Nous avons réalisé une sortie, au niveau de station Gharbi Aissa à la fin du mois de Septembre avec neuf prélèvement.

1.2. Préparation des échantillons

Une fois la description terminée, nous avons effectué le prélèvement des échantillons, en commençant du haut vers le bas ceci pour avoir les deux couches des échantillons de sol, en utilisant une pioche, des sachets en plastiques et un marqueur pour la numérotation de chaque échantillon. Les échantillons ramènent au laboratoire pour sécher pendant 5 jours à l'air libre, broyer puis tamiser à 2 mm pour obtention de la terre fine.

1.3. Les paramètres physico-chimiques

1.3.1. Analyses physiques

a) Densité apparente

Par la méthode pycnomètre.

b) Densité réelle

Déterminer par la méthode de la paraffine.

c) La porosité

Calculer par la formule suivante :

$$(D_r - D_a / D_r) / 1000$$

d) Granulométrie

L'étude des différents constituants granulométriques à travers une analyse mécanique a permis de déterminer la distribution pondérale des différentes fractions texturales (sable, argile et limon) suivant :

Chapitre III : Matériels et Méthodes

- Destruction la matière organique du sol par oxydation avec l'eau oxygénée (H_2O_2 , 30 %)
- Sous l'effet d'un chauffage doux sur plaque chauffante ; Désagrégation des ciments (Sesquioxides amorphes) qui lient surtout les fractions colloïdales par une attaque à l'acide chlorhydrique (HCl , 0.02 N) porté à ébullition modérée, cette étape est suivie d'un lavage à l'eau distillée.
- Les fractions très fines sont séparées du sable par tamisage sous eau sur un tamis de 50 μm . La granulométrie des fractions sableuses se fait par tamisage à sec. Les prélèvements du limon et de l'argile s'effectuent moyennant la pipette de Robinso
- Kohn après dispersion de la suspension colloïdale avec l'hexamétaphosphate de sodium et agitation de la suspension (limons + argiles), avec un agitateur rotatif. Le temps et la profondeur de prélèvement sont déduits de la loi de Stokes et enfin ;
- La classe texturale est déterminée à partir du triangle textural de classification USDA.

1.3.1. Analyses chimiques

a) pH EAU

C'est une mesure qui donne des indicateurs sur l'acidité ou basicité du sol. La mesure du pH s'accomplit par la lecture directe sur pH-mètre (**Black& Evan,1965**)

b) pH KCL

La détermination de l'acidité d'échange se fait à la même façon que le pH EAU mais à la place de l'eau distillées on met une solution KCL (1N).

c) Conductivité électrique

C'est le degré de salinité dans le sol. La détermination de la conductivité électrique se fait sur extrait de sol (rapport sol/eau=1/2) à l'aide d'un conductimètre.

d) Carbone organique

Le carbone : Déterminé selon la méthode de Anne.

e) matière organique

La teneur en matière organique (MO) est tirée de la relation :

$$\% \text{MO} = \% \text{CO} \times 1,723$$

Chapitre III : Matériels et Méthodes

2. Le prélèvement des échantillons des sols

La démarche que nous avons adoptée consiste en un plan d'échantillonnage aléatoire simple, sur la couche superficielle du sol (presque 15cm) à l'intérieur des terrains agricoles de la commune de Gharbi Aissa, wilaya de Annaba, dont on a échantillonné 20 échantillons représentatifs de la zone en question. Les échantillons de sols ont été prélevés le mois de Septembre.

Au laboratoire et après séchage, broyage et tamisage du sol on a effectué les analyses physico-chimiques suivantes :

Sur la fraction fine du sol on a effectué les analyses physico-chimiques suivantes :

- La granulométrie par la Méthode Internationale à la pipette.
- Le pH par un pH mètre **(Baise et Girard , 1995) (Nebbache et al., 2022)**.
- La conductivité électrique par un conductimètre.
- L'humidité hygroscopique par un Séchage à l'étuve (24h à 105°C).
- La densité réelle par un pycnomètre **(Delcour, 1981) (Samai et al., 2022)**.
- La matière organique par incinération au four à moufle (4h à 450°C) **(Samai et al., 2020)**.
- Le calcaire total par la méthode tétrimétrique. Et sur la fraction du sol non broyée, on a effectué qu'une seule analyse :
- La densité apparente à la paraffine **(Mathieu C et Pieltain F., 2003)**.

Le traitement statistique des résultats obtenus était réalisé par le logiciel Minitab version 10, dont on a fait l'analyse de la variance à un seul critère de classification, dont on a utilisé le teste de Tuckey.

CHAPITRES VI :

Résultats et Discussion

Résultats

1. Les paramètres physiques

1.1. Humidité hygroscopique

L'analyse de l'humidité hygroscopique des sols montre des valeurs relativement proches, comprises entre 15 % et 18 %, indiquant une faible variabilité entre les sites. Le site 6 présente la valeur la plus élevée (18 %), suivi des sites 1, 2 et 3 avec des valeurs similaires (17 %), tandis que le site 5 affiche une valeur intermédiaire (16 %). Le site 4 enregistre la valeur la plus faible (15 %). Cette homogénéité suggère des caractéristiques texturales et minéralogiques relativement similaires entre les sols étudiés, notamment en lien avec leur richesse en fractions fines (argile et limon), connues pour leur capacité à retenir l'humidité.

Globalement, ces valeurs traduisent une bonne capacité des sols à adsorber l'eau sous forme hygroscopique, ce qui peut influencer leur comportement hydrique et leur disponibilité en eau pour les plantes, particulièrement en conditions de faible humidité.

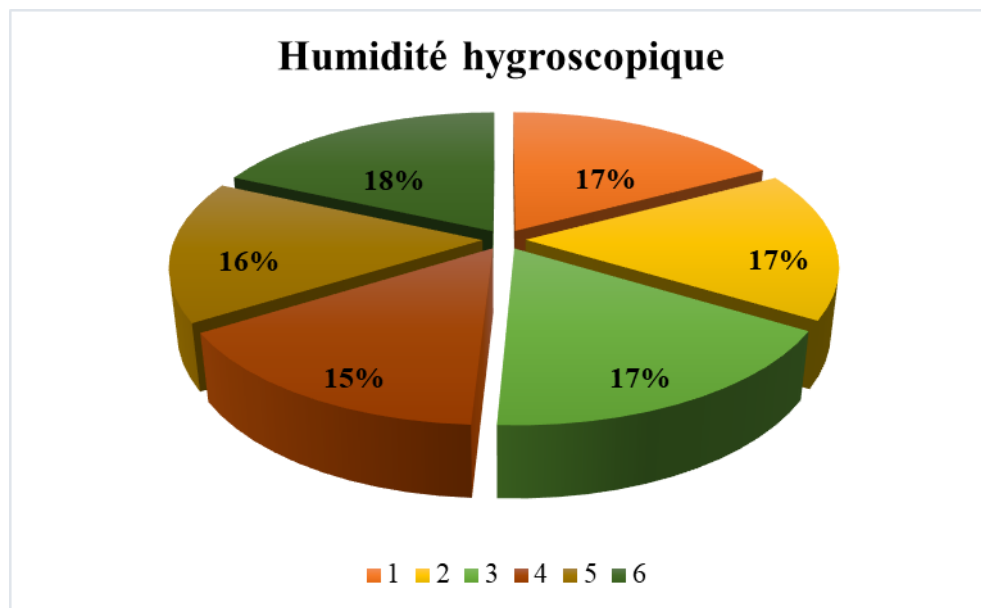


Figure N°13. Répartition de l'humidité hygroscopique (%) des sols des différents sites étudiés

Chapitre VI. Résultats et Discussion

1.2. La porosité

L'analyse de la porosité des sols étudiés montre des valeurs très proches, comprises entre 16 % et 17 %, indiquant une faible variabilité entre les sites. Les sites 1, 2, 4 et 6 présentent une porosité légèrement plus élevée (17 %), tandis que les sites 3 et 5 affichent des valeurs légèrement inférieures (16 %).

Cette homogénéité suggère des conditions structurales similaires entre les sols, probablement liées à une texture comparable, dominée par des fractions fines. Une porosité relativement stable favorise une bonne circulation de l'air et de l'eau dans le sol, essentielle au développement des racines et à l'activité biologique.

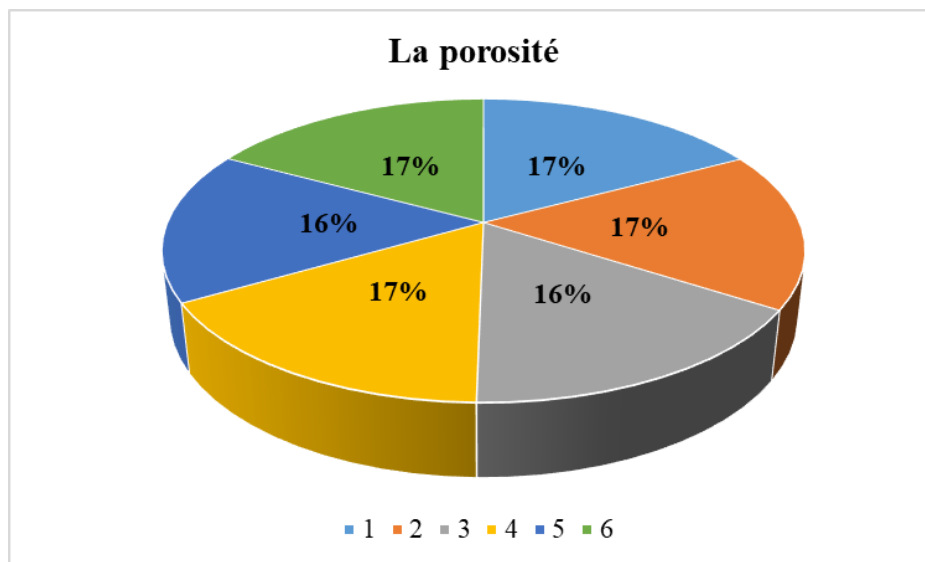


Figure N°14. Répartition de la porosité (%) des sols des différents sites étudiés

1.3. Granulométrie

La figure 12 relative à la granulométrie met en évidence la répartition des fractions texturales (sable, limon et argile) au niveau des six sites étudiés.

L'analyse des résultats montre une nette dominance de la fraction Clay dans l'ensemble des échantillons, avec des valeurs variantes approximativement entre 41,5 % et 45 %. La fraction Silt occupe une position intermédiaire, avec des teneurs relativement homogènes comprises entre 34 % et 37 %. En revanche, la fraction Sand est la moins représentée dans tous les sites, avec des valeurs comprises entre 16 % et 23 %. Par ailleurs, les variations

Chapitre VI. Résultats et Discussion

observées entre les sites restent relativement faibles, traduisant une certaine homogénéité texturale. Le site 2 présente néanmoins une proportion légèrement plus élevée en Sand, suggérant une meilleure perméabilité relative, tandis que les sites 5 et 6 se distinguent par des teneurs en Clay plus importantes, indiquant des sols plus lourds et plus compacts.

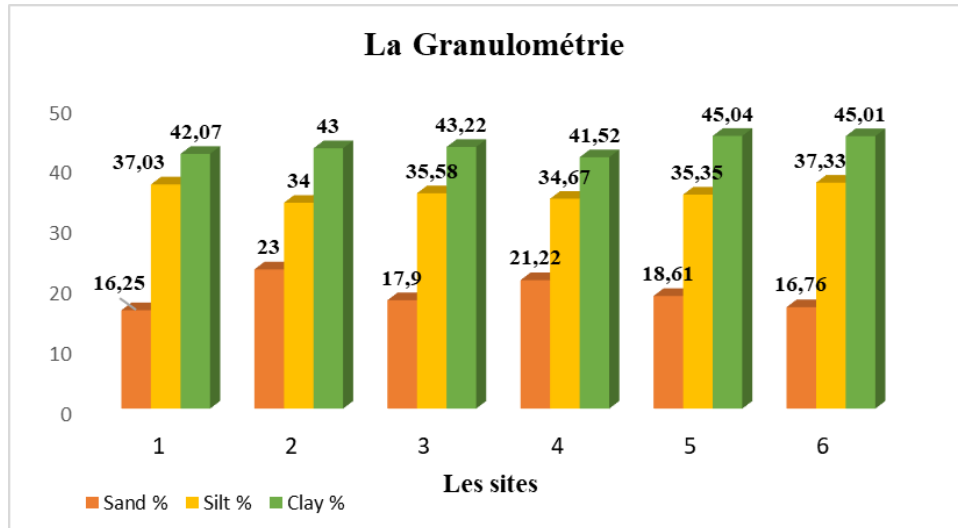


Figure N°15. Répartition granulométrique (%) des sols des différents sites étudiés

2. Les paramètres chimiques

2.1. pH du sol

L'analyse des valeurs de pH mesurées dans les différents sites montre que les sols présentent un caractère globalement légèrement acide à proche de la neutralité, avec des valeurs comprises entre 5,47 et 6,52. Le site 1 enregistre le pH le plus élevé (6,52), suivi du site 4 (6,33), indiquant des conditions proches de la neutralité. En revanche, les sites 2 (5,65), 3 (5,84), 5 (6) et surtout le site 6 (5,47) présentent des pH plus faibles, traduisant une acidité modérée.

Les variations observées entre les sites restent relativement faibles, ce qui suggère une certaine homogénéité des conditions chimiques.

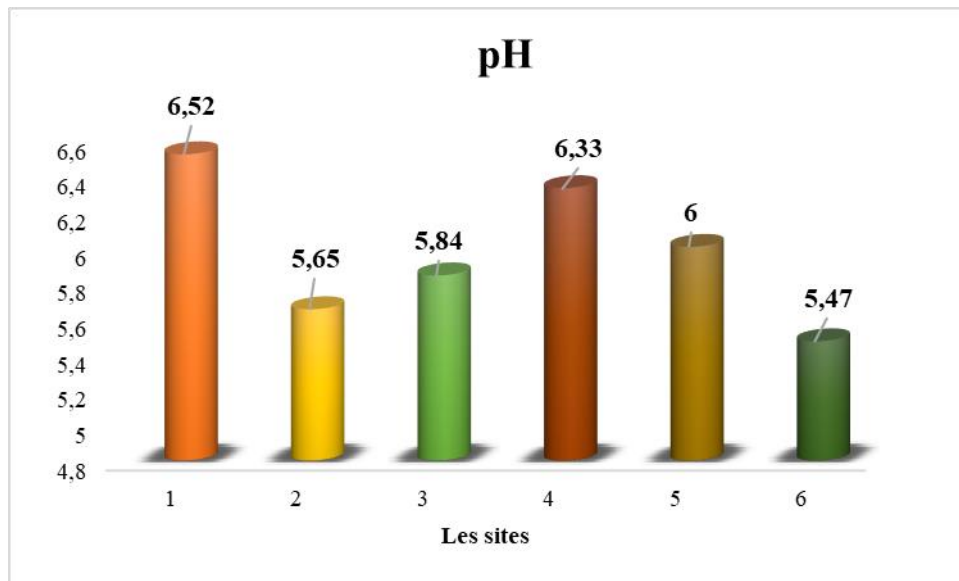


Figure N° 16. Variation du pH des sols selon les sites étudiés

2.2. Conductivité électrique

L'analyse de la conductivité électrique (EC) des sols montre des valeurs comprises approximativement entre 1050 et 1650 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indiquant une variabilité modérée entre les sites. Le site 2 présente la valeur la plus élevée (~ 1650 $\mu\text{S}/\text{cm}$), suggérant une concentration plus importante en sels solubles, tandis que le site 6 enregistre la valeur la plus faible (~ 1050 $\mu\text{S}/\text{cm}$), traduisant une salinité relativement réduite. Les sites 1, 3, 4 et 5 présentent des valeurs intermédiaires, comprises entre environ 1250 et 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui indique une certaine homogénéité globale avec des différences peu marquées. Cette variation peut être liée à des facteurs tels que la nature du sol, les conditions hydriques ou les pratiques culturales.

Globalement, les valeurs observées indiquent des sols à salinité faible à modérée, ne présentant pas de contrainte majeure pour la croissance des plantes. Toutefois, des niveaux plus élevés, comme au site 2, pourraient influencer la disponibilité en eau et en nutriments, nécessitant une surveillance dans le cadre de la gestion agronomique.

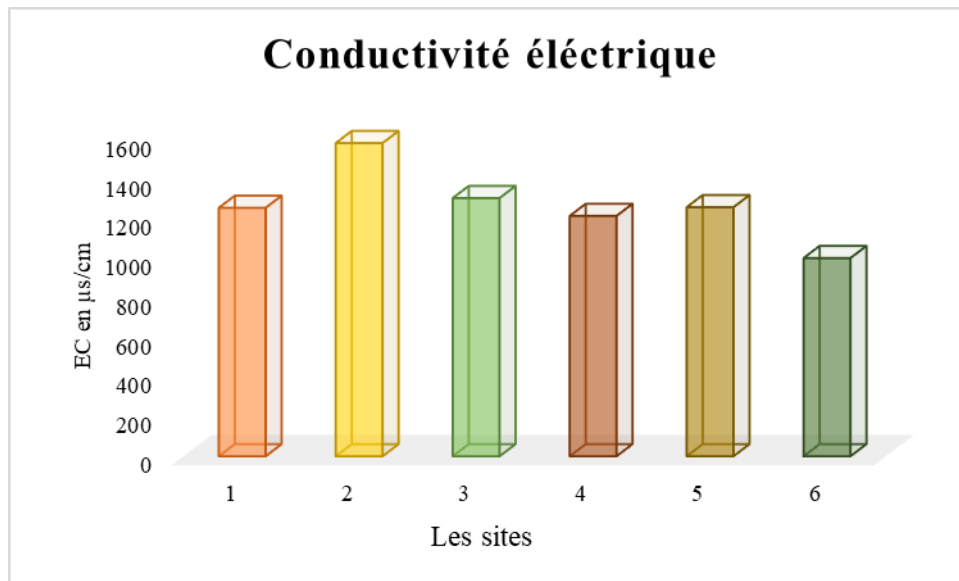


Figure N° 17. Variation de la conductivité électrique (EC, $\mu\text{S}/\text{cm}$) des sols selon les sites étudiés

2.3. La matière Organique

L'analyse de la teneur en matière organique des sols montre des valeurs comprises entre 6,12 % et 9,26 %, traduisant une variabilité modérée entre les sites. Le site 2 présente la teneur la plus élevée (9,26 %), suivi des sites 3 (8,82 %) et 6 (8,77 %), indiquant une richesse relative en matière organique. En revanche, les sites 4 (7,19 %) et 5 (7,41 %) affichent des valeurs intermédiaires, tandis que le site 1 enregistre la teneur la plus faible (6,12 %).

Cette variabilité peut être liée à des différences dans les apports organiques, la couverture végétale ou les conditions environnementales. Globalement, les teneurs observées sont relativement élevées, ce qui reflète une bonne fertilité des sols, favorisant la rétention des nutriments, l'amélioration de la structure et l'activité biologique.

Ainsi, les sols étudiés présentent un potentiel agronomique favorable, bien que les variations entre sites suggèrent des dynamiques locales influençant l'accumulation de la matière organique.

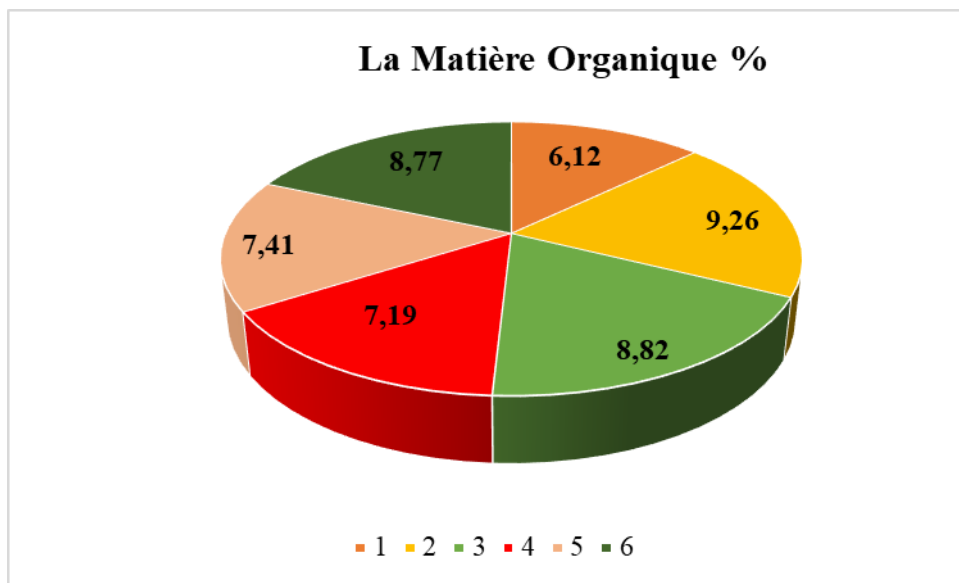


Figure N°18. Répartition de la matière organique (%) des sols des différents sites étudiés

2.4. Calcaire Total

L'analyse de la teneur en calcaire total (CaCO_3) des sols étudiés montre des valeurs relativement proches, comprises entre 20,44 % et 22,22 %, indiquant une faible variabilité entre les sites. Le site 5 présente la teneur la plus élevée (22,22 %), suivi des sites 6 (21,36 %) et 3 (21,32 %), traduisant une plus forte richesse en carbonates. En revanche, les sites 1 (20,44 %), 4 (20,49 %) et 2 (20,53 %) affichent des valeurs légèrement plus faibles.

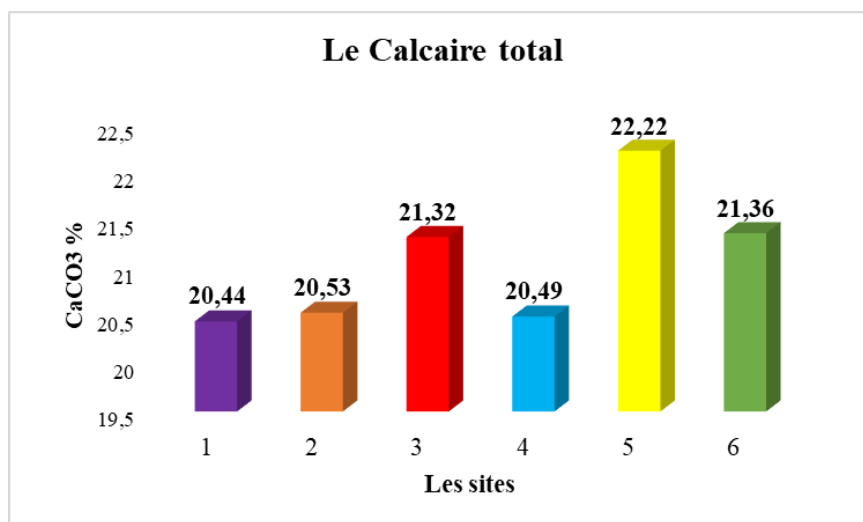


Figure 19. Variation de la teneur en calcaire total (CaCO_3 %) des sols selon les sites étudiés

Discussion

L'analyse des paramètres physico-chimiques des sols étudiés révèle une relative homogénéité entre les différents sites, traduisant des conditions édaphiques globalement similaires. Toutefois, certaines variations observées peuvent être attribuées à des facteurs locaux tels que la nature du substrat, les conditions hydriques et les pratiques culturales.

Sur le plan physique, la dominance de la fraction argileuse (41,5–45 %) indique que les sols étudiés présentent une texture fine, caractérisée par une forte capacité de rétention en eau et une faible perméabilité. Cette structure texturale est typique des sols argileux, qui, selon **Brady et Weil (2008)**, retiennent efficacement l'eau mais peuvent limiter l'infiltration et l'aération. Cette caractéristique est confirmée par les valeurs relativement élevées de l'humidité hygroscopique (15–18 %), traduisant une aptitude importante des sols à adsorber l'eau, notamment en raison de la présence de particules fines et de la matière organique (**Hillel, 2004 ; Lal, 2020**).

Par ailleurs, la porosité relativement stable (16–17 %) suggère une structure du sol peu variable entre les sites. Bien que cette homogénéité soit favorable à une certaine stabilité structurale, elle peut également indiquer une faible macroporosité, limitant ainsi la circulation de l'air et de l'eau. Selon **Dexter (2004)**, une porosité modérée dans les sols argileux peut refléter un équilibre fragile entre rétention et drainage, nécessitant une gestion adaptée pour éviter les phénomènes de compaction.

Sur le plan chimique, les valeurs de pH comprises entre 5,47 et 6,52 indiquent des sols légèrement acides à proches de la neutralité. Cette gamme est généralement favorable à la disponibilité des éléments nutritifs essentiels, notamment l'azote, le phosphore et le potassium. Toutefois, comme le soulignent **Russell (1973) et Neina (2019)**, un pH légèrement acide peut entraîner une diminution de la disponibilité du phosphore et favoriser la solubilisation de certains éléments toxiques à fortes concentrations, comme l'aluminium.

La conductivité électrique, variant entre 1050 et 1650 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indique une salinité faible à modérée. Bien que ces valeurs ne constituent pas une contrainte majeure pour la croissance des plantes, elles peuvent influencer l'absorption de l'eau par les racines, en particulier dans les conditions de stress hydrique. **Richards (1954) et Rengasamy (2010)** soulignent que même une salinité modérée peut affecter la productivité des cultures sensibles, ce qui justifie une surveillance régulière, notamment dans les zones à climat semi-aride.

Chapitre V. Résultats et Discussion

La teneur relativement élevée en matière organique (6,12–9,26 %) constitue un indicateur positif de la fertilité des sols étudiés. La matière organique joue un rôle essentiel dans l'amélioration de la structure du sol, la capacité de rétention en eau et la disponibilité des nutriments. Ces résultats concordent avec les travaux de **Stevenson (1994)** et **Lehmann et Kleber (2015)**, qui mettent en évidence son importance dans le fonctionnement biologique et chimique des sols. De plus, cette richesse en matière organique pourrait expliquer, en partie, la stabilité des propriétés physiques observées.

En revanche, les teneurs élevées en calcaire total (20,44–22,22 %) indiquent des sols calcaires typiques des régions méditerranéennes. La présence importante de CaCO_3 peut tamponner le pH du sol et limiter la disponibilité de certains éléments nutritifs, notamment le phosphore et les micronutriments tels que le fer. **Duchaufour (1997)** et **la FAO (2022)** soulignent que ces sols nécessitent souvent des pratiques de gestion spécifiques, telles que l'apport de matière organique ou d'amendements acidifiants, afin d'améliorer la nutrition des plantes.

En synthèse, les sols étudiés présentent un potentiel agronomique globalement favorable, caractérisé par une bonne teneur en matière organique, une salinité modérée et un pH adapté à la majorité des cultures. Toutefois, la dominance de la texture argileuse et la forte teneur en calcaire constituent des facteurs limitants potentiels, pouvant affecter la structure du sol, la disponibilité des nutriments et la dynamique de l'eau. Ainsi, une gestion intégrée, incluant des apports organiques réguliers et une maîtrise des pratiques d'irrigation, apparaît essentielle pour optimiser la productivité et la durabilité de ces sols.

CONCLUSION

Conclusion

Conclusion générale

Au terme de cette étude consacrée à l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques des sols agricoles de la région de Gharbi Aissa (Annaba), il ressort que ces sols présentent globalement une bonne qualité agronomique, malgré certaines contraintes naturelles et potentielles pressions environnementales.

Les résultats obtenus montrent une dominance de la fraction argileuse, traduisant une texture fine caractéristique des sols lourds, favorable à la rétention d'eau mais pouvant limiter l'aération et le drainage. Cette particularité est confirmée par des valeurs relativement élevées d'humidité hygroscopique et une porosité modérée, indiquant une structure globalement stable mais susceptible à la compaction.

Sur le plan chimique, les sols étudiés présentent un pH légèrement acide à neutre, ce qui est généralement favorable à la disponibilité des éléments nutritifs. La conductivité électrique indique une salinité faible à modérée, ne constituant pas une contrainte majeure pour la croissance des cultures. Par ailleurs, la teneur relativement élevée en matière organique témoigne d'une bonne fertilité des sols, contribuant à l'amélioration de leur structure et à la rétention des nutriments. En revanche, les teneurs élevées en calcaire total confirment le caractère calcaire de ces sols, pouvant limiter la disponibilité de certains éléments nutritifs essentiels.

En tenant compte du contexte régional, marqué par un climat méditerranéen et une influence possible des activités agricoles et industrielles, ces résultats montrent que les sols étudiés conservent un potentiel productif intéressant. Toutefois, certaines contraintes, notamment la texture argileuse et la richesse en calcaire, nécessitent une gestion appropriée afin d'optimiser leur utilisation.

Ainsi, il est recommandé d'adopter des pratiques agricoles durables telles que l'apport de matière organique, la gestion raisonnée de l'irrigation et la surveillance de la salinité, afin de préserver la qualité des sols et assurer une production agricole durable. Enfin, cette étude souligne l'importance du suivi régulier des propriétés physico-chimiques des sols, en particulier dans les zones exposées aux pressions anthropiques, afin de prévenir toute dégradation future.

Références

Bibliographiques

Références bibliographies

A

Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., Ingelmo, F. (2000). Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. - Bioresource Technology, 75, 43-48.

Andreux, et al Sur une méthodologie de fractionnement physique et chimique des agrégats des sols: origine de la matière organique des fractions obtenues. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'académie des sciences série D. 1980.

Andrews, S.S., Carroll, C.R. (2001). Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. Ecol. Appl. 11, 1573–1585.

Andrews, S.S., Karlen, D.L., Mitchell, J.P. (2002a). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agric. Ecosyst. Environ. 90, 25–45.

Andrews, S.S., Mitchell, J.P., Mancinelli, R., Karlen, D.L., Hartz, T.K., Horwath, W.R., Pettygrove, G.S., Scow, K.M., Munk, D.S. (2002b). On-farm assessment of soil quality in California's central valley. Agron. J. 94: 12–23.

Audit environnementale de l'ENIEM, 2008. Centre Horizon bleu, société d'étude et de réalisation, cité les Orangers, 17 Résidences Roxanne Rouïba.

Ayoda M., 2003. Soil fertility and pollution. 12 p

B

Bachelier G., 1963. La vie animale dans le sol ; Edition O.R.S.T.O.M. 278p.

Bachelier G., 1978. La faune des sols ; son écologie et son action. Edition O.R.S.T.O.M. 391p.

Bachelier G., 1979. La faune des sols : écologie et action. ORSTOM, 391 p.

Bachelier G., 1979. La faune des sols ; son écologie et son action. Edition O.R.S.T.O.M. 391p.

Baise D., et Girard M., 1995. Bibliographic References. AFES. Paris, INRA, 336p.

Baise D., Girard M.C., 1995. Références pédologiques. INRA, 336 p.

Battaz S., 2009. Etude comparative de la dégradation d'une terre polluée par des hydrocarbures lourds. Mémoire de Magister. 2009

BLACK C.A., EVANS D.D. Et AL, 1965. Methods of Soil Analysis. ASA, 1572 p.

Bonneau, M. Pedologie. Masson, Paris; New York; Barcelone...etc.1979

Boudraa W., Merzouk S.E., Djamaa F., Benghatti S., 2011. Pollution des sols en Algérie. 18 p.

Boulaine j., 1977. Pédologie. Masson, Paris, 463 p.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils* (14th ed.). Pearson Prentice Hall.

Bucher, E. (2002). Soil quality characterization and remediation in relation to soil management. - PhD thesis, Department of Crop and Soil Sciences, Pennsylvania State University, USA.

Bugge Ch., 1976. La pollution industrielle, problèmes juridiques et administratifs. Edition P.U.F., 257p.

Burns, R.G., Nannipieri, P, Benedetti, A., Hopkins, D.W. (2006). Defining soil quality. - In: BLOEM, J., HOPKINS, D.W., BENEDETTI, A. (Eds.). - Microbiological Methods for Assessing Soil Quality.- CAB International, Wallingford, 15-22.

C

Calvet, R. Le sol: propriétés et fonctions. Ed. France agricole; Dunod, Paris. 2003

Carey, P.L., Benge, J.R., Haynes, R.J. (2009). Comparison of soil quality and nutrient budget between organic and conventional kiwifruit orchards. - Agriculture, Ecosystems & environment, 2009, 132: 715.

Cetin, B., Ozer, H., Kuscü, H. (2004). Economics of drip irrigation for apple (*Malus domestica*) orchards in Turkey. - New Zealand journal of crop and horticultural science, 32 (4), 349-354.

Chaussod R., 1996. La qualité biologique des sols : Evaluation-Implication, Edition I.N.R.A, pp261-264.

Clapp, R.B. etHornberger, M., Empirical equations for some soil hydraulic properties, Water Resources Research.1978.

Colin F.,2000. Pollution localisé des sols et sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés. Edition TEC et DOC.2000

Colombano S. Et AL., 2010. Industrial Pollution And Soil Quality. 13 P.

Cornu S., et Clozel B.L., Extractions séquentielles et spéciation des éléments traces métalliques dans les sols naturels. Analyse critique. Étude et gestion des sols.2000.

Çullu, M. A. (2002). Estimation of the Effect of Soil Salinity on Crop Yield Using Remote Sensing and Geographic Information System. - Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 27, 23-28.

D

Dajoz R., 2001. Précis D'écologie. Dunod, 615 P.

Delcour F., 1981. Introduction A La Pédologie. 78 P.

Delcour F., 1981. Introduction to Pedology. Fac, Sc, Agron. Gembloux 78p.

Deprince A., 2003. La faune du sol, diversité, méthodes d'étude, fonctions et perspectives- Le courrier de l'environnement de l'INRA n° 49, pp 123-138, En ligne à www.inra.fr/deprinc49.htm DI CASTRI 1981

Dexter, A. R. (2004). Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120(3–4), 201–214. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004>

Diaea.,Drha., Seen. Direction de l'irrigation et de l'aménagement de l'espèce agricole, Service des Expérimentation, des Essais et de la Normalisation-Rabat.2008.

Doran, J.W., Safely, M. (1997). Defining and assessing soil health and sustainable productivity. - In: PANKHURST, C.E., DOUBE, B.M., GUPTA, V.V.S.R. (Eds.). - Biological indicators of Soil Health. - CAB International, New York, 1-28.

Doran, J.W., Zeiss, M.R. (1999). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Appl. Soil Ecol.* 15, 3–11.

Dubeux N. Et Al., 2003. Soil Management Practices. 17 P.

Dubeux N. Et Al., 2009. Soil Improvement Techniques. 19 P.

Duchaufour, P. (1997). *Pédologie: Sol, végétation, environnement* (5e éd.). Masson.

Dufresne M., 2013. Analyse Des Sols Contaminés. 140 P.

Erkossa, T., Itanna, F., Stahr, K. (2007). Indexing soil quality: a new paradigm in soil science research. - *Australian Journal of Soil Research*, 45, 129-137.

F

FAO. (2022). *Guidelines for soil description* (5th ed.). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fattal P., 2008. Pollution des cotes par les hydrocarbures. Presseuniversitaire de Rennes.

Fauci, M.F., Dick, R.P. (1994). Microbial biomass as an indicator of soil quality: effects of long-term management and recent soil amendments. - In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. and STEWART, B.A., (Eds). - Defining soil quality for a sustainable environment. - Minneapolis, Soil Science Society of America Special Publication, 35, 1994. 17, 229-234.

Floret C. Et AL., 2001. Impact Of Climate And Human Activity On Soil. 22 P.

Freyssinel G., 2007. Etude de la diversité de la pédofaune dans les systèmes agro forestiers, programme CASDAR Agroforesterie 2006-2008, Recherche et développement de la France, 46p.

G

Gaudu F., 2014. Soil Pollution And Agricultural Productivity. 14 P.

Girard Jm., Walter C., Remy Jc., Berthelin J. Et Morel Jl., 2005. Sols et environnement, Edition Campus DUNOD, Paris, 816p.

Gobat J. M, Aragno M. Et Matty W., 2003. Bases de pédologie ; Biologie des sols : le sol vivant. 2eme Edition PPUR Edition Lausanne. 569 p

Gobat J.M., Aragno M., Matty W., 2003. Biologie Des Sols. Ppur, 569 P.

Gobat Le sol vivant. Bases de pédologie-Biologie des sols. 3e edition presses polytechniques et universitaires romandes. 2010.

Greco J., 1966. Soil Contamination Studies. 75 P.

Green R.E. Et AL., 2005. Farming And Biodiversity. Science, 307, Pp. 550–555.

Green Re., Cornell Sj., Scharleman Jpw., Balmford A., 2005. Farming and the fate of wild nature. Science, 307(5709): pp 550-555.

Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M., Ellert, B.H. (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. - Canadian Journal of Soil Science, 74: 367-385.

H

Hanifi K., 1998. Dégradation Des Sols. 130 P.

Hillel introduction to environnement soil physics, Elsevier a cademic press, 2004

Hillel, D. (2004). *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier Academic Press.

Hunt, H.W., Wall, D.H. (2002). Modelling the effects of loss of soil biodiversity on ecosystem function. - Global Change Biology, 2002, 8: 33-50.

J

Jørgensen K.S. Et Al., 2000. Microbial Processes In Contaminated Soils. 20 P.

K

Kara K., 2000. Heavy Metals In Soils. 110 P.

Keeffe M., Wickens J., 2004. Soil Contamination By Industrial Wastes. 18 P.

Khellouf S., 2004. Étude Des Sols Contaminés. 95 P.

Koller E., 2004. Traitement des pollutions industrielles : Eau, air, déchets, sols, boues, Edition DUNOD, Paris, pp 424.

L

Lal, R. (2020). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 9(2), e00198.
<https://doi.org/10.1002/fes3.198>

Leguay J.P., 2007. La pollution industrielle au moyen âge. 5eme édition, Gisserot, pp14.

Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60–68.

Lembrouk L., 2012. Faune Du Sol Et Pollution. 146 P.

Lembrouk Lillia .,2012 . Impact de la pollution industrielle générée par l'Électro-Industries d'Azazga et l'Entreprise Nationale des Industries Electro-Ménagères d'Oued Aissi sur la faune du sol .p146.

M

Mamy Laure , Enrique Barriuso , Carole Bedos , Pierre Benoit , Véroniquechaplain , Yvescoquet , Christian Mougin , Valérie Pot , Laure Vieuble Gonod , (2009). Des pesticides qui s'accumulent dans les sols ? Conference: Forum des Labos INRA « Concevoir l'agriculture du futur : le pôle EGER face aux enjeux du développement durable »At: Grignon, France

Mangano, J.J., (2009). Newborn hypothyroidism near the Indian Point nuclear plant. www.radiation.org/reading/pubs/091125/hypothyroid_indianpoint.

Mansouri D., 2013. Impact Des Polluants Industriels Sur Les Sols Agricoles En Algérie. 120 P.

Mathieu C., Pieltain F., 2003. Analyse Chimique Des Sols. 387 P.

Mathieu C., Pieltain F.2003. Soil chemical analysis. Selected methods. TEC & DOC. 387 p.

Mémoire de Master «étude lithologique et minéralogique des formation oligo miocènes d'annaba 2020.

Morel-Seytoux, Kluwer. NatoAdvanced Research Workshop, Arles (France) Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling, Theory and Practice éd. AcademicPublishers. 1989.

Mulligan C.N., Yong R.N., Gibbs B.F., 2001. Remediation Technologies For Contaminated Soils. Engineering Geology, 60, Pp. 193–207.

N

Nebbache S., Samai I., Aounallah O., Amri N., Kara L., Zentar A and Kissoum N., 2022. Study of the Soil's Diversity of the Ouled Bechih Forest, Souk-ahras (North East of Algeria). Eco. Env. & Cons. 28 (2) : 2022; pp. (1064-1071). ISSN 0971–765X.

Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019, 1–9.

Nelson D.W. Et AL, 2005. Soil Chemical Analysis. 320 P.

Nemar W. Etude pédologique et floristique de différents sols selon un gradient de pollution. Thèse de (MAG). Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 2015

Nhari F., Sbaa M., Vasel J. L., Fekhaoui M. & El Morhit M., (2014). Contamination des sols d'une décharge non contrôlée par les métaux lourds : cas de la décharge Ahfir-Saidia (Maroc Oriental). J. Mater. Environ. Sci. 5(5) : 1477-1484

Nicolas J., 1997. Échantillonnage Et Environnement. 189 P.

Nicolas J., 1997. Echantillonnage, Environnement, CEBEDOC Editeur, STAVELOT, Belgique, 189p.

P

Paz-Ferreiro J., Lu H., Fu S., Méndez A., and Gascó G., (2014). “Use of phytoremediation andbiochar to remediate heavy metal”, Solid Earth, 5, p. 65–75. Schindler DW, 1988. Effects of acid rain on freshwater ecosystems. Science (Washington), Vol. 239. 149-157

Pesson p., 1971. la vie dans les sols : aspects nouveau, études expérimentales. Coll. Géobiologie, écologie, aménagement, Edition Gauthier-Villars Paris, 417p.

Ponge J.F., Robert M., 1996. Carbon And Nitrogen Dynamics In Soils. Pp. 1–20.

R

Ramade F., 1982. Elément d'écologie-Ecologie appliquée, action de l'Homme sur la biosphère, Edition MC GRAW-HILL, Paris, 422p.

Ramade F., 2003. Elément d'écologie-Ecologie fondamentale, Edition DUNOD, Paris, 689p

Ramade F., 2007. Introduction à l'écotoxicologie, Fondements et applications, Edition TEEC&DOC, Paris- Sud, 584p

Rebah m., 2005. Les risques écologiques en Algérie, Edition A.P.I.C. Alger, 221p.

Rengasamy, P. (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37(7), 613–620. <https://doi.org/10.1071/FP09249>

Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA.

Roudier P., 2007. Soil Properties Under Pollution Stress. 21 P.

Russell, E. W. (1973). *Soil conditions and plant growth* (10th ed.). Longman.

S

Samai I, Chouba I, Nebbache S, Amri N and Ksentini H., 2022. Study of groundwater chemistry in the Lower Valley of Oued Bounamoussa (El Tarf- Algeria). *Eco. Env. & Cons.* 28 (1) : 2022; pp. (445-450). ISSN 0971–765X.

Samai I, Habbachi S, Habbachi W and Amri N., 2020. The determination and estimation of the plain's soil quality of El Hadjar-Annaba: the Algerian North East. *Wulfenia Journal*. Vol 27, No. 8.

Samai I. Et Al., 2022. Groundwater And Soil Pollution Study. 15 P.

Samai I., Chalane F., Bekkouche A., Anguel I., Meghlaoui Z and Zentar A., 2022. Contribution to the study of the diversity of the soils of the Edough massif, North East of Algeria. *Asia Life Sciences*. ISSN: 01173375. Volume 12, Issue 07.

Schindler DW, (1988). Effects of acid rain on freshwater ecosystems. *Science* (Washington), Vol. 239. 149-157.

Sebastia, J.,Prise en compte de la réactivité de différentes fractions des matières organiques du sol dans la prévision de la spéciation des métaux: cas du cuivre. 2007

Soltner D., 1992. Le Sol Et Son Amélioration. 256 P.

Soltner d., 2005. Les bases de la production végétale-le-le climat-la plante. 21eme Edition Sciences et techniques agricoles, 111p.

Stevenson, F. J. (1994). *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

T

Thonart P., Diabate S. I., Hiligsmann S. & Lardinois M. ,(2005). Gestion des déchets ménagers et sites d'enfouissement technique dans les pays du Sud. Guide pratique. Retrieved from www.iepf.org, 04/01/2018

Tidjani S., 2004. Fertilité Des Sols Et Pollution. 98 P.

V

Viala A. Et Botta A., 2005. Toxicologie. Edition Lavoisier, 1122p.

W

Wawer, M., Magiera, T., Ojha, G., Appel, E., Busoils, AS., and Kusza, G. ,(2015). «Caractéristiques de la pollution routière actuelle à l'aide de parcelles de contrôle », Science de l'environnement total, 505, pp.759-804.

X

Xing B. Et Al., 2006. Organic Pollutants In Soil. 16 P.

Y

Yaakoubi A.A., Chalaout M., Rahmani M., Lyachiont Et Oulhote Y., 2009. Effet des margines sur la microflore du sol. Edition Agro-Solution. PP 1-9.

Yakoubi A.A. Et Al., 2009. Effet Des Margines Sur Le Sol. Pp. 1–9.

Yekken N., Alouche Ch., 2022. Pollution Industrielle Des Sols Agricoles. 12 P.

Z

Zemrou D. Et Al., 2003. Pollution Des Sols Industriels. 10 P.