

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abbes Laghrour-Khenchela

Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie

Département : Ecologie et Environnement

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Domaine : Science De La Nature Et La Vie

Filière : Écologie Et Environnement

Spécialité: Protection Des écosystèmes

Thème

**Évaluation des risques de substances des
métaux lourds sur le sol
dans la région de Khenchela
(Khenchela, Kais, Elhamma, Baghai, Ouled Rechache)**

Présenté et soutenu par:
Mlle Messai Kaouthar
Mlle Achour Fatima Zohra

Devant le jury :

<i>Président ;</i>	<i>BERKANI Cherifa</i>	<i>MCA Université khenchela</i>
<i>Encadrant ;</i>	<i>LARBA Rabah</i>	<i>MCA Université khenchela</i>
<i>Examinataire ;</i>	<i>MEZHOUD Amel</i>	<i>MAA Université khenchela</i>

2023-2024

Dédicace :

À mon pilier de force, mon père et à mon frère, qui ont illuminé ma vie de leur amour et de leur soutien inconditionnel. Ce modeste mémoire est dédié à leur mémoire éternelle, en témoignage de l'impact indélébile qu'ils ont eu sur mon parcours académique et personnel.

À ma chère maman, source infinie d'amour et de courage. Ce modeste mémoire est dédié à toi, en reconnaissance de tout ce que tu as sacrifié pour mon éducation et mon bien-être. Ton soutien indéfectible a été ma plus grande force.

À la médaille de l'espoir et à l'exemple angélique Moi-même .

À mes chers frères Hicham , Jawad, Okba et Nassim.

À mes sœurs Ouissam mon compagnon et bras droit, Ahlam mon modèle, et Houda mon courage.

Aux maris de mes sœurs , mes frères

Aux petits-enfants de ma famille

A mon binôme Kaouthar

À l'enseignement Larbaa Rabah

A mon amis Aya ,

À mes chers professeurs Berkani Boulbaiz Fouad , Houha ; Mezhoud Amel, et Cherifa

Avec toute ma gratitude



FATIMA

Dédicace :

A dieu le tout puissant, maître du temps et des circonstances, plein d'amour de tendresse et de bonté. Tout d'abord louange à Allah qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long de mes études et m'a inspiré les bons pas.

A mon père Mohamed qui a été mon ombre durant toutes les années de mes études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger, aucun mot ne peut exprimer mon respect et mon amour.

A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie ma mère Dalila qui m'apporte son appui durant toutes mes années des études, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité. Je prie dieu pour qu'il vous accorde santé et une longue vie. Merci Mama sans toi je ne serai pas arrivé jusque-là.

A mes chères frères Salah, Sohaib, et mes sœurs Khaoula , Anfel .

Mon neveu adoré Ghaithe.

A mes cousines Sara, Kenza, Aridj , Hadia, Wissal.

A mes amies Khadjija, Amira, Nesrine, Rihem, Raounek, Norhan, Aya.

A mon binôme Fatima.

A toute ma famille Messai, Brik,

Sans d'oublie ma grand-mère Safia.

À l'enseignement Larbaa Rabah.



KAOUTHER

Remerciements:

Au terme de la réalisation de ce mémoire, nos plus sincères remerciements s'adressent tout d'abord au Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté pour mener à terme ce présent travail.

En premier lieu, je remercie Monsieur Larbaa Rabeh de m'encadrer dans cette étude, pour sa patience, ses conseils et orientations durant toute la période de la réalisation de ce travail. La gentillesse et la bienveillance avec lesquelles vous avez guidé mes pas dans ce travail ont suscité ma bonne volonté de donner de mon mieux.

Nous remercions tout particulièrement les membres du jury Mme Mazhoude Amel. Et Mme. Berkani Cherifa d'avoir accepté d'étudier ce modeste ouvrage. Encore un grand merci à l'Université Abbes Laghrour Khenchela, en particulier à tous les enseignants du Département de Ecologie et Environnement.

Enfin, nous tenons à témoignerons sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à réaliser ce modeste travail.

TABLE DES MATIÈRES

Dédicace :	
Dédicace :	
Remerciements:	
Liste d'abréviations	
Liste des tableaux.....	
Liste des figures.....	
Introduction	1

GENERALITES

1.1. Définition de sol.....	4
1. 2. Les composants principaux du sol	4
1.3. Définition Les métaux lourds.....	4
1.4 .Les origines des métaux lourds dans les sols	5
1. 4.1. Sources naturelles.....	5
1.4.2. Les sources anthropiques	6
1.5. Les différents types de métaux lourds	6
1. 5.1. Les métaux essentiels	7
1.5.2. Les métaux lourds non essentiels.....	7
1.6. Rôle des Métaux lourds	8
1.7. Propriétés physiques, chimiques et biologiques des métaux lourds	8
1.8. Métaux lourds dans le sol	9
1.9. Les métaux lourds à risque de contamination (ex : Fe, Pb, Cd)	10
1.9.1. Fer.....	10
1.9.1.1. Les propriétés physico-chimiques de fer.....	11
1.9.1.2. Toxicité	11
1.9.2. Le plomb	12
1.9.2.1. Les propriétés physico-chimiques du Plomb :.....	12
1.9.2.2. Toxicité	13
1.9.3. Le cadmium	13
1.9.3.1. Les propriétés physico-chimiques de cadmium.....	14
1.9.3.2. Toxicité	14
1.10. Les Normes réglementaires des métaux lourds	15

MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation des sites d'étude	17
2.1.1. Khenchela	17
2.1.2. Kais	17
2.1.3. Elhamma	17
2.1.4. Baghai	18
2.1.5. Ouled Rechache	18
2.1.6. Informations géographiques	18
2.1. SITUATION CLIMATIQUE	20
2.1.1. La température	20
2.1.2. Précipitation	20
2.1.3. Humidité	21
2.3. Analyse physico-chimique du sol	21
2.3.1. Technique d'échantillonnage et préparation des sols	21
2.3.2. Texture	21
2.3.3. Matière organique	23
2.3.4. Ph	23
2.3.5. Conductivité électrique (salinité)	24
2.3.6. Calcaire	24
2.3.6.1. Calcaire total	25
2.3.6.2. Calcaire actif	25
2.3.7. Azote	25
2.3.8. Les métaux lourds	26

RESULTAT

3.1. Caractéristique des paramètres physico-chimiques des sols des 5 sites étudiés durant les mois d'octobre à Avril	28
3.1.1. Ph	28
3.1.2. Conductivité électrique	29
3.1.3. Matière organique	29
3.1.4. Carbone organique (C %)	30
3.1.5. Calcaire totale	30
3.1.6. Calcaire actif	31
3.1.7. L'Azote	32

DISCUSSION

4.1. Discussion des paramètres physico-chimique	36
4.2. Discussion dosage des métaux lourds	39
Conclusion	42
Références Bibliographiques.....	45
Résumé.....	49

Résumé

La contamination des sols par les métaux lourds est un problème complexe avec des implications importantes pour l'environnement. Dans notre étude, menée dans la wilaya de Khenchela sur cinq régions, nous avons prélevé des échantillons de sol pour effectuer des analyses. Les résultats de cette étude montrent que l'accumulation de métaux lourds dans le sol affecte négativement la fertilité et la production du sol.

Nos analyses ont révélé une présence significative de métaux lourds tels que le plomb, le cadmium et le mercure dans les échantillons de sol. Ces métaux lourds, par leur toxicité et leur persistance, perturbent l'équilibre microbiologique du sol, réduisent la disponibilité des nutriments essentiels et altèrent la structure du sol. Cela entraîne une diminution de la fertilité du sol et, par conséquent, une baisse de la productivité agricole.

Liste d'abréviations

Pb: plomb

Cd : cadmium

Hg: mercure

Fe:fer

T: toxique

E: essentiel

Ph: potentiel d'hydrogène

%: pourcent

T: température

P: précipitation

H: humidité

C :carbon organique

Mo : matière organique

CEC: capacité d'échange cationique

Liste des tableaux

Titre	Page
Tableau 1 : Principaux éléments métalliques essentiels et non-essentiels (HOPKIN,1989).	18
Tableau 2 : Classification de quelques métaux lourds selon leur densité et leur toxicité (Adriano, 2001)	19
Tableau 3 : Les propriétés physico-chimiques de fer (D. Stewart., 2012.)	22
Tableau 4 : Les propriétés physico-chimiques du Plomb (A. Chahid., 2016.)	24
Tableau 5 : Les propriétés physico-chimique de cadmium (G. Genchi 2020)	25
Tableau 6 : Valeurs limites de concentration en métaux lourds dans les sols	26
Tableau 7 : information géographique de la wilaya de khenchela	29
Tableau 8 : Les données de la température pour 30 ans (1991/2021).dans la région de Khenchela	31
Tableau 9 : Les données pluviométriques pour 30 ans (1991/2021) dans la région de Khenchela.	32
Tableau 10 : Les données de L'Humidité pour 30ans (1991/2021).	32
Tableau 11 : Echelle de la texture (Jamagne, 1980).	34
Tableau 12 : Classification des sols d'après leur teneur en matière organique (Gauchers 1968).	34
Tableau 13 : la gamme de pH des sols (Gauchers & Solter, 1981).	35
Tableau 14 : échelle de salinité du sol (Delaunois (1976)	35
Tableau 15 : classification des sols d'après leur teneur en calcaire (Duchauffour 1970).	36
Tableau 16 : Normes d'interprétation pour l'azote d'après Calvet et Vellemin, 1986	37
Tableau 17 : les valeurs des paramètres physico-chimiques mesurés	39
Tableau 18 : Résultats de dosage des métaux lourds dans le sol.	43

Liste des figures

Titre	Page
Figure 1 : Tableau périodique	16
Figure 2 : Les origines des métaux lourds dans les sols	17
Figure 3 : le fer	22
Figure 4 : le plomb	23
Figure 5 : Cadmium	25
Figure 6 : Localisation géographique des sites d'étude (1 ;Khenchela . 2 ;Kais. 3 ;Elhamma. 4 ;Baghai. 5 ;Ouled Rechache)	30
Figure8 : Variation de ph dans les différents sites	39
Figure 9 :La salinité (ms/cm) de sol	40
Figure 10 : Présente la matière organique% dans 5 régions	40
Figure 11 : Carbone organique (%) dans les cinq sites	41
Figure 12 : Calcaire totale dans les sites de l'étude	41
Figure 13 : Calcaire actif dans les sites de l'étude	42
Figure14 : L'azote dans les sites de l'étude	43
Figure 15 : Valeur de fer dans les sols étude	44
Figure 16 : tenure du plomb dans les régions d'étude.	44
Figure 17 : les valeurs du cadmium dans les sites de l'étude	45

INTRODUCTION

Introduction

Les métaux lourds, en raison de leur persistance et de leur toxicité, représentent une menace majeure pour la santé des sols et des écosystèmes associés. Les principales sources de contamination des sols par les métaux lourds incluent les activités industrielles, les rejets miniers, l'utilisation de pesticides et d'engrais, ainsi que les émissions des véhicules et des centrales thermiques (Alloway, 2013). Ces contaminants peuvent s'accumuler dans les sols, où ils perturbent les processus biologiques, chimiques et physiques essentiels, compromettant ainsi la fertilité des sols et la santé des organismes vivants qui en dépendent.

Les sols contaminés par des métaux lourds comme le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le fer (Fe) et l'arsenic (As) peuvent présenter des niveaux de toxicité élevés qui affectent non seulement la croissance des plantes, mais aussi la diversité et l'activité des communautés microbiennes (Giller, Witter, & McGrath, 2009). Cette perturbation des écosystèmes du sol peut entraîner une réduction de la décomposition de la matière organique, de la minéralisation des nutriments et de la fixation de l'azote, affectant ainsi la productivité agricole et la santé des plantes (Smith et al., 1996).

Les effets des métaux lourds sur la santé des sols sont également amplifiés par leurs interactions complexes avec d'autres contaminants et leurs tendances à se lier fortement aux particules de sol, rendant leur biodisponibilité variable et influençant ainsi leur mobilité et leur toxicité (McLaughlin et al., 2000). De plus, ces métaux peuvent pénétrer dans la chaîne alimentaire humaine et animale, entraînant des risques de bioaccumulation et de biomagnification, avec des conséquences potentielles graves pour la santé publique (Kabata-Pendias, 2010).

Il faut donc mener une étude visant à déterminer le type de pollution, ses risques et ses conséquences, en procédant à une sélection des sols et à des analyses pour déterminer les risques pour la santé des sols dus aux métaux lourds, et c'est ce que nous

visions dans ce travail. , qui est l'évaluation des risques des substances sur le sol. La région de Khenchela : Une étude similaire n'ayant pas encore été menée sur des régions spécifiques, nous avons décidé de réaliser l'analyse nécessaire en nous concentrant sur cinq régions : Khenchela, Kais El. -Hama, Ouled Rechache et Baghai.

GENERALITES

1.1. Définition de sol

Le sol est défini comme la couche supérieure de la croûte terrestre, formée par la combinaison de matière minérale, organique, d'air et d'eau, qui soutient la croissance des plantes et abrite une multitude d'activités biologiques. Il est le produit de processus géologiques et biologiques complexes et interagit avec l'atmosphère, l'hydrosphère, la biosphère et la lithosphère. (Brady, N.C., & Weil, R.R 2008)

1. 2. Les composants principaux du sol

- **Matière minérale** : Les particules solides provenant de la fragmentation des roches et des minéraux.
- **Matière organique** : La fraction du sol composée de matière décomposée, tels que les résidus végétaux et animaux en décomposition.
- **Eau** : L'eau retenue dans les pores du sol, essentielle pour la croissance des plantes et d'autres processus biologiques.
- **Air** : Les espaces vides entre les particules du sol qui contiennent de l'air, nécessaire aux organismes du sol pour respirer et pour les processus de décomposition.
- **Organismes vivants** : Les microorganismes, les insectes, les vers de terre et autres organismes qui habitent le sol et jouent un rôle clé dans la décomposition de la matière organique et la formation de la structure du sol. (Brady, N.C., & Weil, R.R.2008)


1.3. Définition Les métaux lourds

Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium ($Z=11$), tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques. (B.V. Rotterdamseweg, Water Treatment et Purification, 1999)

Un métal est un élément chimique dont la masse volumique dépasse 5 g/cm^3 , bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisés par l'homme depuis l'Antiquité. Dans le sol, un métal sera défini comme un élément chimique qui peut former des liaisons métalliques et perdre des électrons pour former des cations. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : Mercure, Plomb, Cadmium, Cuivre, Arsenic, Nickel, Zinc, Cobalt, Manganèse.

Les plus toxiques d'entre eux sont le Plomb, le Cadmium et le Mercure. (LACOUÉ-LABARTHE, Thomas..2007.)

Parmi les métaux lourds, on cite classiquement le Cd, Cr, Co, Cu, Sn, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Pb, Zn ainsi que trois autres éléments, le B, As et Se qui ne sont cependant pas des métaux par leur structure atomique (Impens , 1991).

 Les métaux lourds

Hydrogen 1 H 1.0079																	Helium 2 He 4.0026										
Lithium 3 Li 6.941	Beryllium 4 Be 9.0122											Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Neon 10 Ne 20.180										
Sodium 11 Na 22.990	Magnesium 12 Mg 24.305											Aluminium 13 Al 26.986	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Argon 18 Ar 39.948										
Potassium 19 K 39.098	Calcium 20 Ca 40.078	Scandium 21 Sc 44.956	Titanium 22 Ti 47.867	Vanadium 23 V 50.942	Chromium 24 Cr 51.996	Manganese 25 Mn 54.938	Iron 26 Fe 55.845	Cobalt 27 Co 58.933	Nickel 28 Ni 58.693	Copper 29 Cu 63.546	Zinc 30 Zn 65.38	Gallium 31 Ga 69.723	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.922	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.904	Krypton 36 Kr 83.796										
Rubidium 37 Rb 85.468	Sr 38 87.62	Yttrium 39 Y 88.906	Zirconium 40 Zr 91.224	Niobium 41 Nb 92.906	Molybdenum 42 Mo 95.94	Techetium 43 Tc [98]	Ruthenium 44 Ru 101.07	Rhodium 45 Rh 102.91	Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.87	Cadmium 48 Cd 112.41	Indium 49 In 114.82	Sn 50 118.71	Antimony 51 Sb 121.76	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.90	Xenon 54 Xe 131.29										
Cesium 55 Cs 132.91	Ba 56 137.33											Hafnium 72 Hf 178.49	Tantalum 73 Ta 180.95	Tungsten 74 W 183.84	Rhenium 75 Re 186.21	Osmium 76 Os 190.23	Iridium 77 Ir 192.22	Platinum 78 Pt 195.08	Gold 79 Au 196.97	Mercury 80 Hg 200.59	Tl 81 204.38	Pb 82 207.2	Bismuth 83 Bi 208.98	Polonium 84 Po [209]	Astatine 85 At [210]	Radon 86 Rn [222]	
Francium 87 Fr [223]	Radium 88 Ra [226]											Rutherfordium 104 Rf [261]	Dubnium 105 Db [262]	Seaborgium 106 Sg [266]	Bohrium 107 Bh [264]	Hassium 108 Hs [277]	Mitlenium 109 Mt [268]	Darmstadtium 110 Ds [271]	Roentgenium 111 Rg [272]								
Lanthanum 57 La 138.91	Cerium 58 Ce 140.12	Praseodymium 59 Pr 140.91	Neodymium 60 Nd 144.24	Promethium 61 Pm [145]	Samarium 62 Sm 150.36	Europium 63 Eu 151.96	Gadolinium 64 Gd 157.25	Terbium 65 Tb 158.93	Dysprosium 66 Dy 162.50	Holmium 67 Ho 164.93	Erbium 68 Er 167.26	Thulium 69 Tm 168.93	Ytterbium 70 Yb 173.05	Lutetium 71 Lu 174.97													
Actinium 89 Ac [227]	Thorium 90 Th 232.04	Protactinium 91 Pa 231.04	Uranium 92 U 238.03	Neptunium 93 Np [237]	Plutonium 94 Pu [244]	Americium 95 Am [243]	Curium 96 Cm [247]	Berkelium 97 Bk [247]	Californium 98 Cf [251]	Einsteinium 99 Es [252]	Fermium 100 Fm [257]	Mendelevium 101 Md [258]	Nobelium 102 No [259]	Lawrencium 103 Lr [262]													

Figure 1 : Tableau périodique (theconversation.com)

1.4 .Les origines des métaux lourds dans les sols

La présence de métaux dans les sols peut découler soit de processus naturels, soit d'activités humaines, dénommées anthropiques. Dans les deux cas, les métaux sont introduits dans le sol par des voies distinctes.

1. 4.1. Sources naturelles

Les métaux lourds sont des éléments présents naturellement dans l'environnement, provenant de diverses sources géologiques telles que les roches, les minéraux et les sols. Leur libération dans l'environnement peut être le résultat de processus naturels tels que l'érosion des roches, les phénomènes volcaniques et les activités géothermiques. Par

exemple, le mercure peut être libéré dans l'atmosphère lors des éruptions volcaniques, tandis que le plomb et le cadmium peuvent être présents dans les sols en raison de l'altération des minéraux riches en ces éléments. Les concentrations de métaux lourds dans l'environnement peuvent varier en fonction des caractéristiques géologiques et de la composition chimique des sols. Cependant, les activités humaines telles que l'industrie, l'agriculture intensive et l'utilisation de combustibles fossiles ont considérablement augmenté les niveaux de métaux lourds dans l'environnement au-delà des seuils naturels. Cette contribution anthropique à la contamination des sols par les métaux lourds représente désormais une préoccupation majeure pour la santé des écosystèmes et la santé humaine. (Alloway, B. J. 2013)

1.4.2. Les sources anthropiques

Les métaux lourds dans le sol ont souvent une origine anthropique, résultant directement des activités humaines. Ces éléments toxiques proviennent principalement de l'industrie minière, de la métallurgie, de l'utilisation de pesticides et d'engrais, ainsi que de la pollution industrielle et des rejets de déchets. Par exemple, l'exploitation minière et le raffinage des métaux libèrent des métaux lourds tels que le plomb, le mercure et le cadmium dans l'environnement. De plus, les émissions des véhicules et les activités industrielles contribuent à la contamination des sols par des dépôts atmosphériques. Ces polluants peuvent s'accumuler dans les sols, posant des risques pour la santé humaine et les écosystèmes (Alloway, 2013).

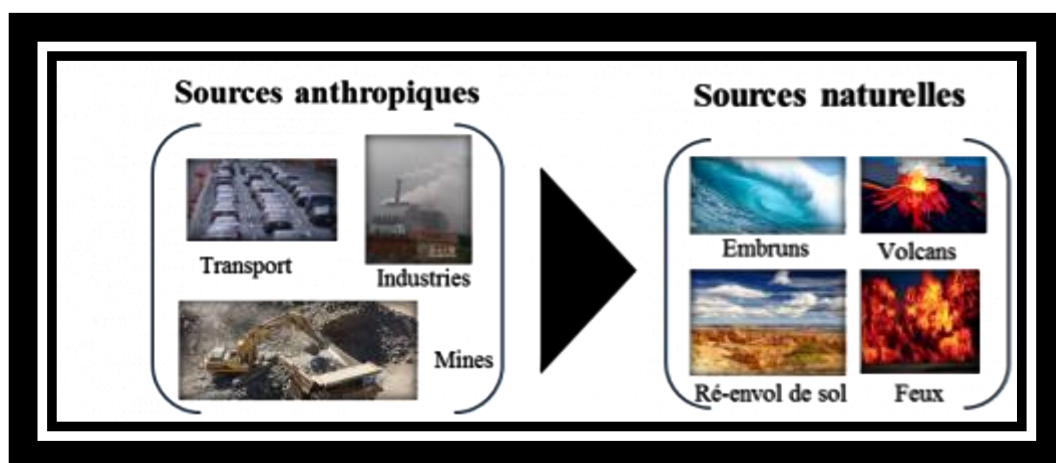


Figure 2 : Les origines des métaux lourds dans les sols (journals.openedition.org)

1.5. Les différents types de métaux lourds

1. 5.1. Les métaux essentiels

Les métaux lourds présents dans le sol, tels que le zinc, le cuivre et le nickel, sont essentiels pour la croissance et le développement des plantes. Par exemple, le zinc est crucial pour la formation des enzymes et des protéines, tandis que le cuivre participe à la photosynthèse et à la respiration des plantes. Le nickel est nécessaire en petites quantités pour le métabolisme de l'azote. Cependant, des concentrations excessives de ces métaux peuvent devenir toxiques pour les plantes, affectant leur croissance et leur santé (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

1.5.2. Les métaux lourds non essentiels

Les métaux lourds non essentiels, tels que le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd) et l'arsenic (As), n'ont aucune fonction biologique connue et sont souvent toxiques même à de faibles concentrations. Le plomb peut causer des dommages neurologiques et des troubles cognitifs, en particulier chez les enfants. Le mercure, sous ses formes organiques et inorganiques, est hautement neurotoxique et peut affecter le développement du cerveau. Le cadmium est associé à des effets néfastes sur les reins et les os, ainsi qu'à un risque accru de cancer. L'arsenic est connu pour être un cancérogène puissant, affectant divers organes et systèmes du corps humain. L'exposition à ces métaux peut se produire par des sources industrielles, des produits de consommation contaminés et la pollution environnementale. (Jarup, L. 2003).

Eléments essentiels Majeurs	Oligo-éléments essentiels	Eléments "essentiels" en ultra trace	Eléments non essentiels
Calcium, Phosphore, Potassium, Soufre, Magnésium, Chlore, Sodium.	Fer, Iode, Cuivre, Manganèse, zinc, Cobalt, Molybdène, Sélénium, Chrome, Nickel, Vanadium, Silicone, Arsenic.	Lithium, Fluor, Aluminium, Étain, Plomb, Zinc.	Cadmium, Mercure

Tableau 1 : Principaux éléments métalliques essentiels et non-essentiels (HOPKIN, 1989).

Métaux lourds	Plantes	Animaux	Densité
----------------------	----------------	----------------	----------------

Cd	T	T	8.65
Cr	E	E	7.20
Cu	-	E	8.92
Ni	T	E	8.90
Pb	T	T	11.34
Zn	E	E	7.14

T : toxique ; **E** : essentiel

Tableau 2 : Classification de quelques métaux lourds selon leur densité et leur toxicité (Adriano, 2001)

1.6. Rôle des Métaux lourds

Les métaux lourds jouent un rôle crucial et diversifié dans plusieurs domaines, allant de la biologie et de la santé publique à l'industrie et l'environnement. Certains métaux lourds, tels que le fer, le cuivre et le zinc, sont essentiels pour les organismes vivants car ils participent à des processus biologiques vitaux, comme la formation de l'hémoglobine, la régulation de l'expression génétique et l'activité enzymatique (Mertz, 1981; Vallee & Auld, 1990). Industriellement, des métaux comme le plomb, le mercure et le cadmium sont utilisés dans la fabrication de batteries, d'instruments de mesure, de pigments et de revêtements métalliques (Nriagu, 1978; ATSDR, 2012). Cependant, leur utilisation extensive entraîne des effets environnementaux significatifs. L'accumulation de métaux lourds dans les sols et les eaux, souvent due à la pollution industrielle et agricole, peut perturber les écosystèmes et poser des risques graves pour la santé publique. Par exemple, le plomb et le mercure peuvent provoquer des dommages neurologiques, tandis que le cadmium est associé à des maladies rénales et à un risque accru de cancer (Järup, 2003; WHO, 2010). La régulation stricte et la surveillance continue de ces métaux sont donc indispensables pour minimiser leurs impacts négatifs sur la santé humaine et l'environnement.

1.7. Propriétés physiques, chimiques et biologiques des métaux lourds

Les métaux lourds sont caractérisés par des propriétés physiques, chimiques et biologiques distinctes qui influencent leur comportement dans l'environnement et leur impact sur la santé humaine. Physiquement, ces métaux possèdent une densité élevée, souvent supérieure à 5 g/cm³, et sont généralement brillants, ductiles, et de bons conducteurs de chaleur et d'électricité (Duffus, 2002). Chimiquement, les métaux lourds présentent une réactivité variable, une capacité à former des complexes organométalliques et une affinité marquée pour les ligands soufrés. Ces propriétés chimiques facilitent leur interaction avec les substances biologiques et environnementales, entraînant souvent des réactions d'oxydation et de réduction (Goyer et Clarkson, 2001). Biologiquement, les métaux lourds sont souvent toxiques même à faible concentration, avec une capacité à se bioaccumuler dans les organismes vivants, perturbant des fonctions cellulaires essentielles comme la synthèse des protéines et la réplication de l'ADN (Tchounwou et al., 2012). Par exemple, le plomb, le mercure et le cadmium sont reconnus pour leurs effets neurotoxiques et cancérigènes, posant des risques significatifs pour la santé publique (Jaishankar et al., 2014). Ces caractéristiques justifient la nécessité de réguler et de surveiller l'exposition aux métaux lourds pour prévenir les effets néfastes sur la santé et l'environnement.

1.8. Métaux lourds dans le sol

La présence de métaux lourds dans le sol constitue une préoccupation environnementale importante en raison de leurs effets potentiellement néfastes sur les écosystèmes et la santé humaine. Ces métaux, tels que le plomb, le cadmium, le mercure et l'arsenic, peuvent être introduits dans le sol par diverses activités humaines telles que l'industrie minière, l'agriculture intensive, les décharges de déchets et les émissions atmosphériques (Adriano, 2001). Une fois dans le sol, les métaux lourds peuvent interagir avec les composants du sol, se lier aux particules du sol et s'accumuler dans les horizons supérieurs. Leur mobilité dépend de facteurs tels que le pH du sol, la teneur en matière organique et la présence d'autres ions compétitifs, ce qui peut influencer leur disponibilité pour les plantes et leur migration vers les eaux souterraines (Alloway, 2013).

L'accumulation de métaux lourds dans le sol peut avoir des conséquences graves sur les écosystèmes. Les plantes absorbent ces métaux par leurs racines, ce qui peut entraîner une

diminution de la croissance des plantes, une altération de la physiologie végétale et une réduction de la biodiversité du sol (Ghosh & Singh, 2005). De plus, les métaux lourds peuvent être transférés dans la chaîne alimentaire, affectant ainsi les populations animales et humaines. La consommation de plantes ou d'animaux contaminés par des métaux lourds peut entraîner des problèmes de santé graves, tels que des troubles neurologiques, des maladies rénales et des cancers (WHO, 2010).

Pour atténuer les risques associés aux métaux lourds dans le sol, diverses stratégies de gestion et de remédiation sont utilisées. La phytoremédiation, qui implique l'utilisation de plantes pour extraire, stabiliser ou dégrader les contaminants, est une approche prometteuse en raison de son caractère écologique et économique (Kidd et al., 2009). D'autres techniques, telles que la stabilisation chimique et la bioremédiation, sont également utilisées pour réduire la mobilité et la toxicité des métaux lourds dans le sol. Cependant, une surveillance continue des sources de contamination et une réglementation stricte des activités industrielles et agricoles sont essentielles pour prévenir la pollution future des sols par les métaux lourds.

1.9. Les métaux lourds à risque de contamination (ex : Fe, Pb, Cd)

1.9.1. Fer

Le fer dans le sol joue un rôle crucial dans de nombreux processus biogéochimiques qui affectent la fertilité et la santé globale du sol. En tant que constituant important des minéraux du sol et des matières organiques, le fer influence la structure du sol ainsi que sa capacité à retenir l'eau et les éléments nutritifs essentiels pour la croissance des plantes. De plus, le fer est impliqué dans des réactions redox qui régulent la disponibilité des éléments nutritifs et la transformation des contaminants dans le sol. Comprendre le cycle du fer dans le sol est donc essentiel pour une gestion durable des terres agricoles et des écosystèmes naturels (Lehmann et al., 2015).



Figure 3 : le fer (vedantu.com)

1.9.1.1. Les propriétés physico-chimiques de fer

Symbole	Fe
numéro atomique	26
Masse atomique	55,85
Densité	7,8 à 20°C
Température de Fusion	1535 °C
Température d'ébullition	2750 °C
Rayon atomique	0,126
Isotopes Configuration électronique	[Ar] 3d6 4s2

Tableau 3: Les propriétés physico-chimiques de fer (D. Stewart., 2012.)

1.9.1.2. Toxicité

La toxicité du fer dans le sol peut avoir des conséquences néfastes sur sa santé et sa productivité. Des niveaux excessifs de fer peuvent entraîner une diminution de la biodiversité microbienne, une dégradation de la structure du sol, une toxicité pour les plantes, une augmentation du pH du sol et une altération de la disponibilité des éléments nutritifs. Ces effets peuvent compromettre la capacité du sol à soutenir la croissance des

plantes et à maintenir des écosystèmes sains. Il est donc essentiel de surveiller et de gérer les niveaux de fer dans le sol pour prévenir les problèmes de toxicité et maintenir sa santé à long terme (Marschner, 2012).

1.9.2. Le plomb

Le plomb, du latin plumbum est un métal mou, gris, habituellement trouvé en petite quantité dans la croûte terrestre à une concentration d'environ 15 mg/kg. Il n'a ni goût ni odeur caractéristique. Il appartient au group IV b de la classification périodique des éléments (Huynh, 2009). Le plomb existe sous trois formes essentielles: le plomb dissous, le plomb colloïdal et le plomb particulaire.



Figure 4 : le plomb (info.medadom.com)

1.9.2.1. Les propriétés physico-chimiques du Plomb :

Symbole	Pb
Numéro atomique	82
Masse atomique	207,2 g/mol
Masse volumique	11,34 g/cm a 20° C
Isotope	4

Température de fusion	327 °C
Température d'ébullition	1755 °C

Tableau 4 : Les propriétés physico-chimiques du Plomb (A. Chahid., 2016.)

1.9.2.2. Toxicité

L'intoxication au Pb par l'intermédiaire de l'alimentation n'est pas un grand risque pour l'homme. Il n'est que très peu soluble dans le sol et les poussières contenant le Pb se déposent sur les fruits et légumes poussant près des sources atmosphériques fortement polluées (exemple autoroutes) sont retirées à 90 % par lavage (Sanders et al., 2009). Le symptôme le plus marquant est le saturnisme: troubles digestifs (coliques), sanguins (anémie, perturbation de la synthèse d'hémoglobine), nerveux (paralysie des extenseurs de la main, encéphalopathie), troubles rénaux: néphrites.

1.9.3. Le cadmium

Le cadmium (Cd) est un métal mou, brillant, blanc argenté ou bleu, que l'on trouve habituellement dans des gisements de plomb, de cuivre ou de zinc. Le cadmium existe généralement sous la forme d'oxyde de cadmium, de chlorure de cadmium ou de sulfate/sulfure de cadmium. C'est dans les gisements de zinc qu'on en retrouve le plus souvent sous forme de sulfure de cadmium. Puisque le cadmium est un sous-produit du traitement des concentrés de zinc, sa production dépend de la demande en zinc (Anonyme, 2009).



Figure 5 : Cadmium (it.funcmater.com)

1.9.3.1. Les propriétés physico-chimiques de cadmium

Numéro atomique	48
Poids atomique	112.41 u
Rayon atomique	155 pm
Configuration électronique	[Kr] 4d10 5s2
Point de fusion	321.07 °C
Point d'ébullition	767.3 °C
C Masse volumique	20 ° C 8.65 g/cm ³
Chaleur de fusion	6.21 kJ/mol
Chaleur de vaporisation	99.6 kJ/mol

Tableau 5 : Les propriétés physico-chimique de cadmium (G. Genchi 2020)

1.9.3.2. Toxicité

La toxicité du cadmium pour le sol est un sujet préoccupant en raison de ses effets néfastes sur la santé des écosystèmes terrestres. Le cadmium est un polluant persistant qui peut s'accumuler dans le sol, principalement à partir de sources telles que les déchets industriels, les engrais phosphatés contaminés et les émissions atmosphériques. L'accumulation de cadmium dans le sol peut entraîner une diminution de la biodiversité microbienne, une altération de la fertilité du sol et une contamination des cultures, ce qui peut à son tour affecter la chaîne alimentaire et la santé humaine. Des études ont montré que le cadmium

peut également être absorbé par les plantes et transféré aux animaux et aux humains par le biais de la consommation alimentaire, ce qui souligne l'importance de surveiller et de réglementer les niveaux de cadmium dans le sol pour protéger la santé environnementale et humaine (Bolan et al., 2003).

1.10. Les Normes réglementaires des métaux lourds

Les métaux lourds	Valeurs limites en mg/kg
Fer	10
Plomb	100
Cadmium	2

Tableau 6 : Valeurs limites de concentration en métaux lourds dans les sols.

MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation des sites d'étude

2.1.1. Khenchela

La wilaya de Khenchela est située à l'Est du pays, au sud-est de Constantine. Sa situation représente la porte vers les grandes villes du sud, non évincer des villes du nord mais elles ont des relations très étroites économiquement et social.

Elle limitée géographiquement au Nord par la Wilaya d'Oum El Bouaghi et le Sud par la wilaya d'El Oued Et Est par la wilaya de Tébessa et Ouest : par la wilaya de Batna

La structure physique de la Wilaya est très hétérogène. Elle se caractérise par trois régions naturelles distinctes : Les hautes plaines du nord Couvrent 15% du territoire, La Zone montagneuse : Occupe la partie centrale et Ouest de la Wilaya avec 36% du Territoire, Les parcours steppiques et sahariens : Couvrent la moitié Sud de la Wilaya avec 49% de la superficie totale.

2.1.2. Kais

Kais est une ville algérienne, située dans le daïra de Kais et la wilaya de Khenchela.

La ville compte 34 383 habitants depuis le dernier recensement de la population. Entourée par

Remila, El Hamma et Taouzient, Kais est située à 29 km au nord-ouest d'El Mahmal la plus grande ville à proximité. Elle comprend plusieurs Briqueterie. Kais est une daïra à vocation agricole.

2.1.3. Elhamma

La Daira d'EL Hamma a été créée par le découpage administratif de l'année 1984 d'une superficie de 852 m² répartie sur quatre communes : (Commune d'ELHamma, Commune d'Ensigha , Commune de Baghai, Commune de Tamza) . Le siège de la Daira est distant de 7 km du siège de la wilaya. La Daira d'Elhamma est connue par son caractère agricole par excellence. Ses activités agricoles s'articulent principalement Sur céréaliculture (Baghai et Ensigha) a Daira d'Elhamma est connue par ses stations thermale de Hammam Salhine à Elhamma et Hammam LeKnif à Baghai . Par ailleurs et sur le plan scientifique la commune d'Elhamma abrite le centre universitaire de khenchela.

2.1.4. Baghai

Baghai est une commune de la wilaya de Khenchela, située dans la région des Aurès, à l'est de l'Algérie. Plus précisément, elle se trouve au nord-est de la wilaya de Khenchela, à une distance d'environ 50 kilomètres du chef-lieu de la wilaya. est limitée par Khenchela, Mtoussa , El Hamma , Aïn Touila et Ensigna. Baghai a un climat méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers frais. En raison de son altitude, les températures peuvent être plus fraîches que dans les régions environnantes, en particulier la nuit. La région est riche en ressources naturelles, notamment des forêts de cèdres, des sources d'eau et une biodiversité variée. L'agriculture est également importante dans la région, avec des cultures telles que les céréales, les olives et les fruits cultivés dans les vallées fertiles.

2.1.5. Ouled Rechache

Daïra d'Ouled Rechache . Elle est limitrophe au nord et à l'ouest d'El Mahmal (Tazougart) et de la wilaya de Tebessa au sud et à l'est. Ouled Rechache est rattaché à la daïra d'Ouled Rechache qui regroupe deux communes : Ouled Rechache et El Mahmal. D'une superficie de 285 km², La ville compte 24932 habitants depuis le dernier recensement de la population. Ouled rechache a un climat semi-aride sec et froid.

2.1.6. Informations géographique

	Latitude	Longitude	Altitude
Khenchela	35,421	07,35	1120 m
Kais	35,494	6,924	934 m
El hamma	35,463	7,082	999 m
Baghai	35,26	7,17	881m
Ouled rechache	35,29	7,3554	1 167m

Tableau 7 : information géographique de la wilaya de khenchela

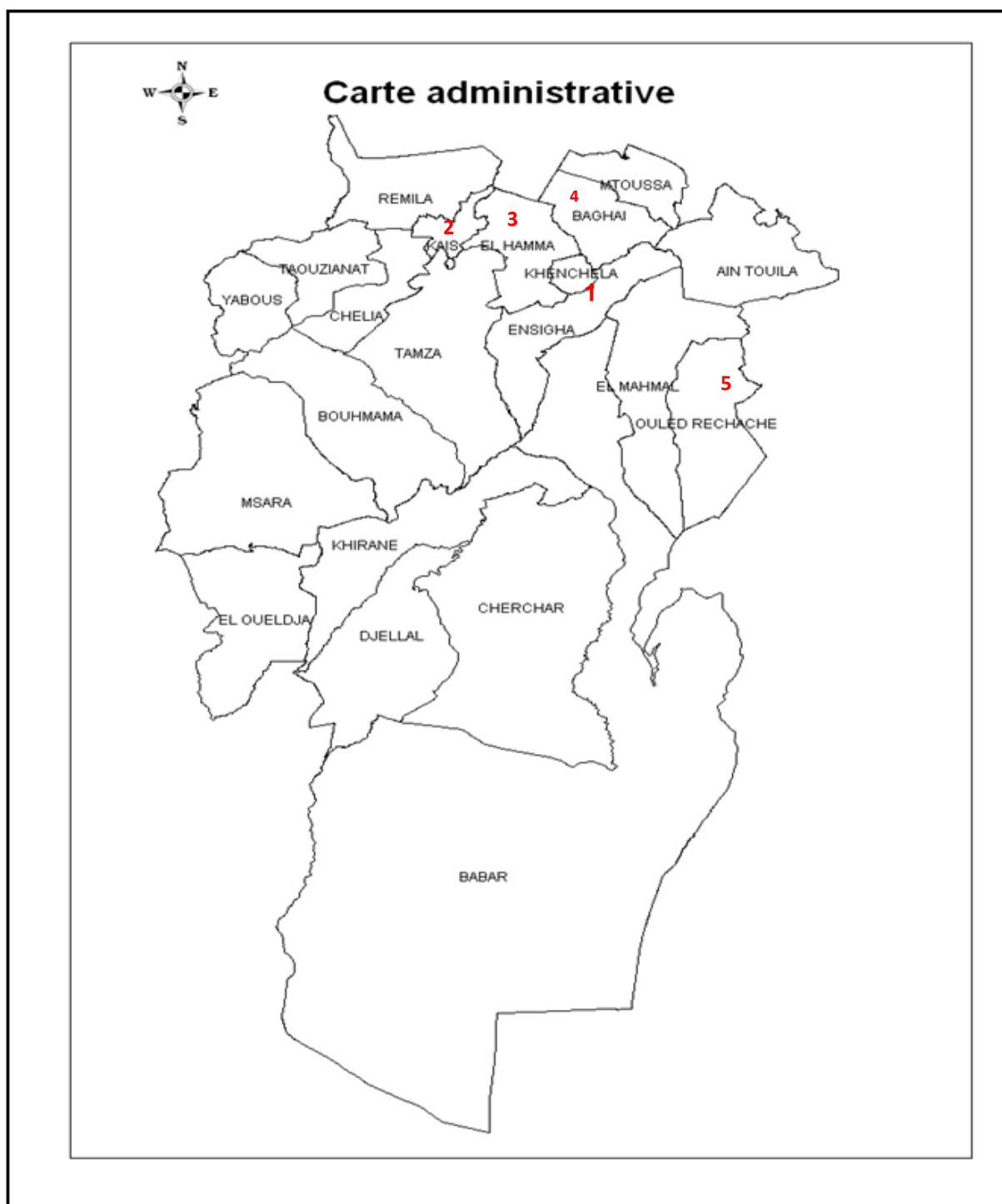


Figure 6: Localisation géographique des sites d'étude (1 ;Khenchela . 2 ;Kais. 3 ;Elhamma. 4 ;Baghai. 5 ;Ouled Rechache)

2.1. SITUATION CLIMATIQUE**2.1.1. La température**

La température est un facteur crucial qui régule l'ensemble des processus métaboliques et influence directement la distribution des espèces et des communautés dans la biosphère. En effet, elle joue un rôle déterminant en limitant ou en favorisant la survie et la reproduction des organismes vivants, ce qui façonne les écosystèmes à l'échelle mondiale.

Tableau 8 : Les données de la température pour 30 ans (1991/2021).dans la région de Khenchela

MOIS	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T Max(C°)	9.1	9.8	14	18.2	22.7	28	32.1	30.9	25.5	20.6	13.7	9.9
T min(C°)	-0.3	-0.2	2.5	5.8	9.5	13.9	17.4	17.1	13.6	9.9	4.3	1.1
T(C°)	4.4	5	8.25	12	16.1	20.95	24.75	24	19.55	15.25	9	5.5
M- m(C°)	8.8	9.6	11.5	12.4	13.2	14.1	14.7	13.8	11.9	10.7	9.4	8.8

Le tableau 02, la région de Khenchela se caractérise par une faible température. La température maximale du mois le plus chaud Juillet est de 32.1°C; alors que la température minimale du mois le plus froid Janvier est de -0.3 °C.

2.1.2. Précipitation

Les précipitations englobent toutes les formes d'eau météorique tombant de l'atmosphère sur la surface terrestre, incluant la pluie, la neige, la grêle et le brouillard. Selon Ramade, les précipitations sont un élément clé du cycle hydrologique et jouent un rôle crucial dans la régulation des écosystèmes terrestres et aquatiques.

Tableau 9: Les données pluviométriques pour 30 ans (1991/2021) dans la région de Khenchela.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
P (mm)	39	30	40	45	42	21	11	20	33	33	35	32

Les données pluviométriques sur 30 ans montrent une grande variabilité des précipitations. Avril est le mois le plus pluvieux, avec une moyenne de 45 mm.

Il y a deux périodes, l'une est la saison des pluies de septembre à mai, et l'autre est la période de sécheresse : juin, juillet et aout.

2.1 3.Humidité

Tableau 10 : Les données de L'Humidité pour 30ans (1991/2021).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
H%	71	66	59	54	50	41	33	37	52	58	68	72

Le tableau ci-dessus montre la variation mensuelle de l'humidité. Les données hydro-climatiques indiquent que le taux le plus élevé est observé en décembre, atteignant 72%, tandis que le taux le plus bas est enregistré en juillet, avec 33%.

2.3. Analyse physico-chimique du sol

2.3.1. Technique d'échantillonnage et préparation des sols

Les prélèvements de sol ont été réalisés à la main, en utilisant une truelle, à une profondeur d'environ 10 à 20 cm. Chaque mois, entre novembre et avril 2024, des échantillons ont été prélevés de manière aléatoire sur chaque site. Ces échantillons de sol ont été stockés dans des sacs en polyéthylène et transportés jusqu'au laboratoire. Là, ils ont été séchés à l'air libre, à l'abri de la lumière directe du soleil, en attendant leur analyse ultérieure.

2.3.2. Texture

La détermination de la texture du sol a été effectuée en suivant la méthode de Gauchers (1968). Cette méthode utilise la saturation du sol pour mesurer le pourcentage d'humidité (Y) du sol, puis le compare à une échelle pour déterminer la texture correspondante, comme indiqué dans le Tableau 2.

Dans un premier temps, 50 grammes de sol ont été prélevés et mélangés avec de l'eau goutte à goutte. Ce mélange a été agité jusqu'à ce que la texture devienne lisse et brillante, et qu'elle glisse doucement lorsqu'on incline le récipient.

Ensuite on a suivi les étapes suivantes :

-Peser une capsule vide (P1).

-Prendre une petite quantité de pâte (sol mouillé) et la mettre dans la capsule puis repeser (P2).

-Mettre à l'étuve à 105°C pendant 24heures.

-Peser une troisième fois la capsule à la sortie de l'étuve (P3), le poids correspond donc au poids de la capsule vide + le poids du sol sec.

La texture est mesurée selon la formule suivant

$$X1 = P2 - P3 \text{ (Poids de l'humidité)}$$

$$X2 = P3 - P1 \text{ (Poids du Sol Sec)}$$

P1 : la capsule vide.

P2 : une petite quantité de pate (sol mouille) et la mettre dans la capsule.

P3 : correspond au poids de la capsule vide +le poids du sol sec après la sortie de l'étuve.

Ensuite on applique la règle de trois pour calculer le pourcentage d'humidité :

$$X1 \rightarrow X2 \text{ g de Sol Sec}$$

$$Y \rightarrow 100 \text{ g de Sol Sec}$$

Enfin comparer Y au tableau suivant pour déterminer la texture.

Pourcentage d'humidité(%)	Texture
<12	Sableuse
12-24	Sablo-limoneuse

24-37,5	Limono-sableuse
37,5-45	Limono-argileuse
45-75	Argilo-limoneuse
>75	Argileuse

Tableau 11: Echelle de la texture (Jamagne, 1980).

2.3.3. Matière organique

Selon la méthode d'Anne (1945), le calcul de la matière organique se fait en utilisant la relation suivante:

$$C\% = (Y-X) \times 0,615 \text{ mg} \times (100/20) \times (100/P) \times (1/1000)$$

Y : la quantité de sel de Mohr utilisée pour titrer le témoin.

X : la quantité de sel de Mohr utilisée pour l'échantillon à doser.

0,615 : facteur d'équivalence entre le sel de Mohr et le carbone (en mg).

100/20 : on utilise 20 ml à partir de 100 ml.

P : poids du sol sec (en g).

$$\% \text{ matière organique} = \% C \times 1,72$$

% de la matière organique	Appréciation
<1	Extrêmement faible
1-1,5	Très faible
1,5-2,5	Faible
2,5-3,5	Moyen
3,5-4,5	Moyennement élevé
4,5-5	Elevé
>5	Très élevée

Tableau 12 : Classification des sols d'après leur teneur en matière organique (Gauchers 1968).

2.3.4. Ph

Pour déterminer le pH ; tamiser le sol d'analyse avec un tamis de 2mm de diamètre, après tamisage de sol de chaque site (khenchela , Kais, Elhamma, Baghai ,Ouled rechache), peser

5g de sol et ajouter 25 ml d'eau distillé et laisser le mélange 2 heures sur un agitateur culbuteur. Enfin on mesure le PH à l'aide d'un PH mètre.

PH	Désignation des sols
3 - 4,5	Extrêmement acides
4,5 – 5	Très fortement acides
5 - 5,5	Très acides
5,5 – 6	Acides
6 - 6,75	Faiblement acides
6,75 - 7,25	Neutres
7,25 - 8,5	Alcalins
>8,5	Très alcalins

Tableau 13: la gamme de pH des sols (Gauchers & Solter, 1981).

2. 3.5. Conductivité électrique (salinité)

La conductivité électrique est une mesure du niveau de salinité du sol examiné. Pour déterminer la conductivité électrique, on utilise un extrait de sol (dans un rapport sol/eau de 1/5) et un conductimètre. Les valeurs obtenues sont essentielles pour l'étude de la salinité.

Conductivité électrique (ms/cm)	Salure
0 – 0,6	Non salé
0,6 – 1,4	Peu salé
1,4 – 2,4	Salé
2,4 – 6	Très salés

Tableau 14: échelle de salinité du sol (Delaunois (1976)

2.3.6. Calcaire

2.3.6.1. Calcaire total

Prenez 10 grammes de sol, placez-les dans un flacon, puis ajoutez 10 ml d'acide sulfurique et 15 ml d'acide chlorhydrique (0,5 N). Chauffez ensuite le flacon jusqu'à l'apparition de la première goutte de vapeur, puis filtrez la solution. Prélevez 20 ml du filtrat dans un bécher et ajoutez-y 2 gouttes de phénolphtaléine. Titrez ensuite le mélange avec de la soude (NaOH) jusqu'à l'apparition d'une couleur rose.

Le calcaire total est calculé selon la formule suivante :

$$\text{CaCo3} = [50 \text{ ml} \times 0,5 \text{ N} - X \text{ ml} \times 0,25 / 5 \text{ (poids de sol en g)}] \times 5$$

2.3.6.2. Calcaire actif

Prenez 10 grammes de sol et versez-les dans un flacon contenant 250 ml d'oxalate d'ammonium (0,2). Agitez pendant 2 heures à l'aide d'un agitateur mécanique. Ensuite, filtrez la solution et prélevez 9 ml du filtrat. Ajoutez-y 1 ml d'acide sulfurique et 10 ml d'eau distillée, puis titrez le mélange avec du permanganate de potassium jusqu'à ce qu'une coloration rose apparaisse.

Le calcaire actif est calculé selon la formule suivante :

$$\% \text{teneur de calcaire actif} = (N - n) \times 12,5$$

N : quantité de permanganate de potassium nécessaire pour titré le témoin.

n : quantité de permanganate de potassium nécessaire pour titré un échantillon.

Calcaire en %	Désignation des sols
0 – 5	Peu calcaire
5 -15	Moyennement calcaire
15 – 30	Calcaire
> 30	Très calcaire

Tableau 15: classification des sols d'après leur teneur en calcaire (Duchauffour 1970).

2.3.7. Azote

Selon la méthode de Dumas calculer le dosage d'azote vous pouvez utiliser la formule suivante :

$$N=M/m$$

M : est la masse d'azote récupérée pendant l'analyse.

m :est la masse de l'échantillon utilisée dans l'analyse.

Azote	Désignation des sols
< 0,05	Très pauvre
0,05 - 0,1	Pauvre
0,1 - 0,15	Moyen Riche
0,15 - 0,25	Riche
> 0,25	Très riche

Tableau 16 : Normes d'interprétation pour l'azote d'après Calvet et Vellemin, 1986

2.3.8. Les métaux lourds

La technique de spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est largement préférée pour l'analyse des métaux lourds. est calculé selon la formule suivante :

$$C = (A_s - A_b) \times V_d \times F / m \times D$$

Où :

- C : Concentration du métal lourd dans le sol (mg/kg).
- A_s : Lecture de l'absorbance pour l'échantillon.
- A_b : Lecture de l'absorbance pour le blanc.
- V_d : Volume final de la solution après digestion et dilution (L ou mL).
- F : Facteur de conversion déterminé à partir de la courbe d'étalonnage (mg/L par unité d'absorbance).
- m : Masse de l'échantillon de sol utilisé pour la digestion (kg ou g).
- D : Facteur de dilution appliqué à la solution après digestion (si applicable)

RESULTAT

3.1. Caractéristique des paramètres physico-chimiques des sols des 5 sites étudiés durant les mois d’octobre à Avril

Les résultats des paramètres physico-chimiques du sol dans les différents sites étudiés au cours de la période d'octobre à avril sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	Kais	Elhamma	Khenchela	Baghai	Ouled rechache
Ph	7,6	7,7	7,3	7,5	7,7
Conductivité(ms/cm)	2,96	2,07	4,29	5,15	3,81
MO%	2,5893	2,2263	2,2505	2,7907	2,4355
C%	1,5010	1,2906	1,3046	1,0381	1,2525
Calcaire totale	21	12	14	12	14
Calcaire actif	7,0	4,5	5,5	3,5	6,0
Azote (mgN/g terre)	0,177	0,105	0,161	0,141	0,168

Tableau 17 : les valeurs des paramètres physico-chimiques mesurés

3.1 .1. Ph

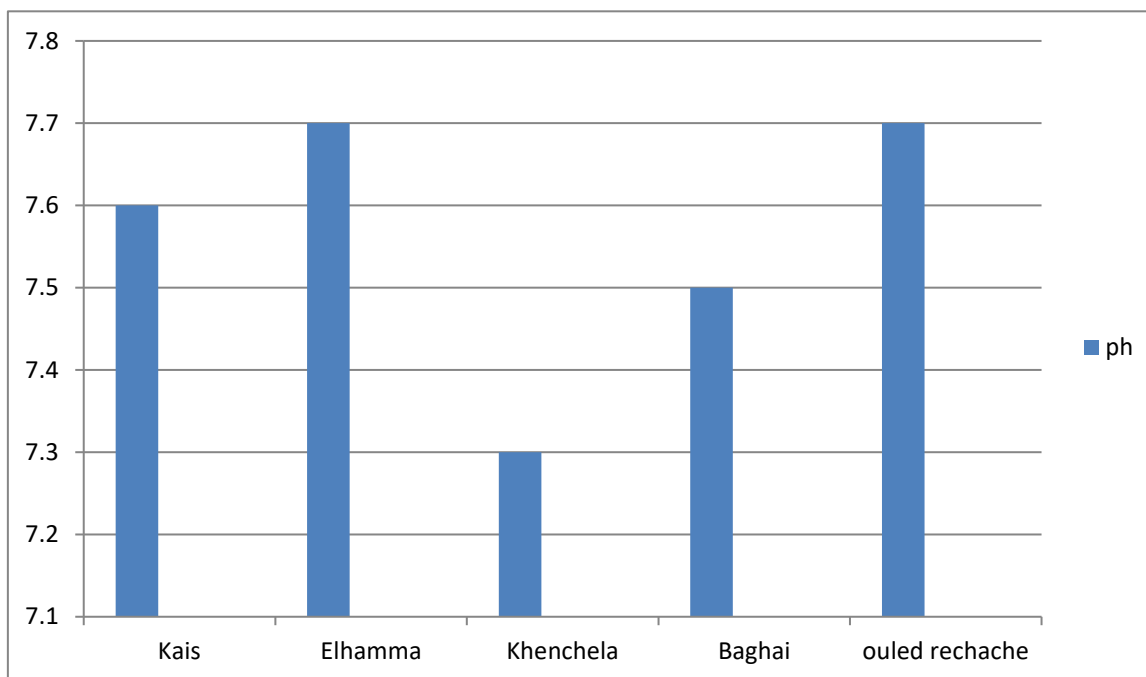


Figure8 : Variation de ph dans les différents sites.

Les valeurs de pH varient de 7,6 à Kais, 7,7 à Elhamma et Ouled Rechache, et 7,5 à Baghai, avec une diminution à 7,3 à Khenchela. Ces résultats montrent que les sols étudiés sont des sols alcalins, avec un pH compris entre 7,25 et 8,50 sur tous les sites.

3.1.2. Conductivité électrique

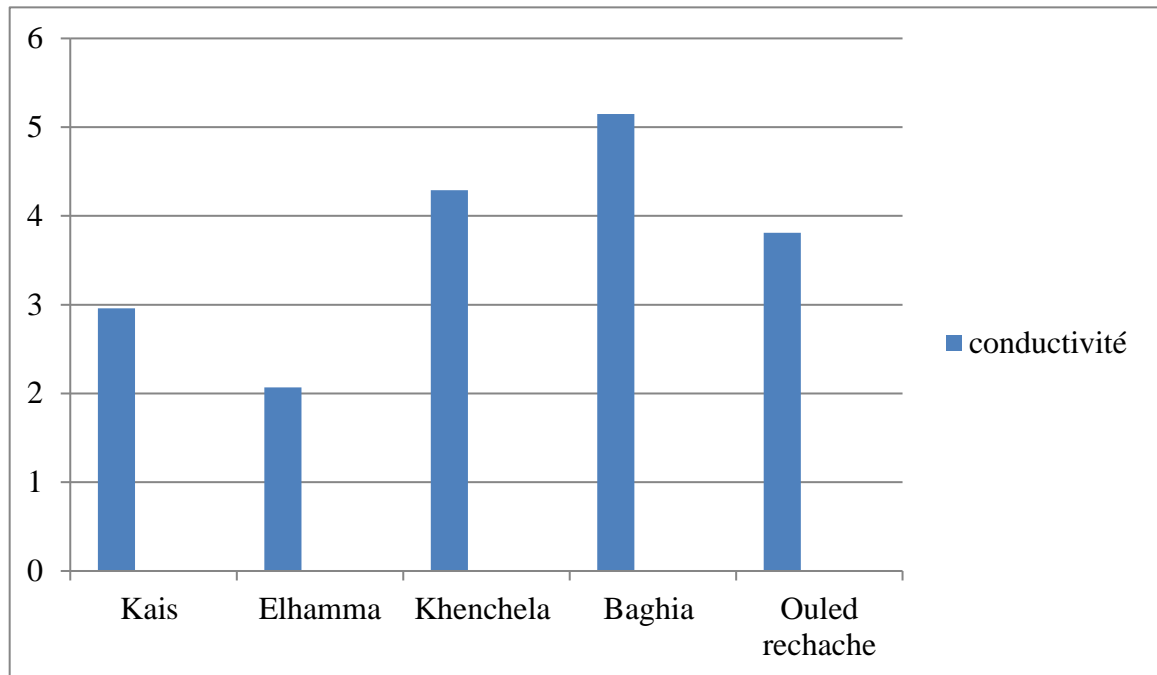


Figure 9 : La salinité (ms/cm) de sol

Les valeurs de la salinité mesurée dans les cinq sites varient entre 5,15 à Baghai, 4,29 à Ouled Rechache, 3,81 à Khenchela, et entre 2,96 et 2,07 à Kaïs et Elhamma . Cela indique que le sol à Elhamma est salé, tandis que les sols à Khenchela, Kaïs, Baghai et Ouled Rechache sont très salés.

3.1.3. Matière organique

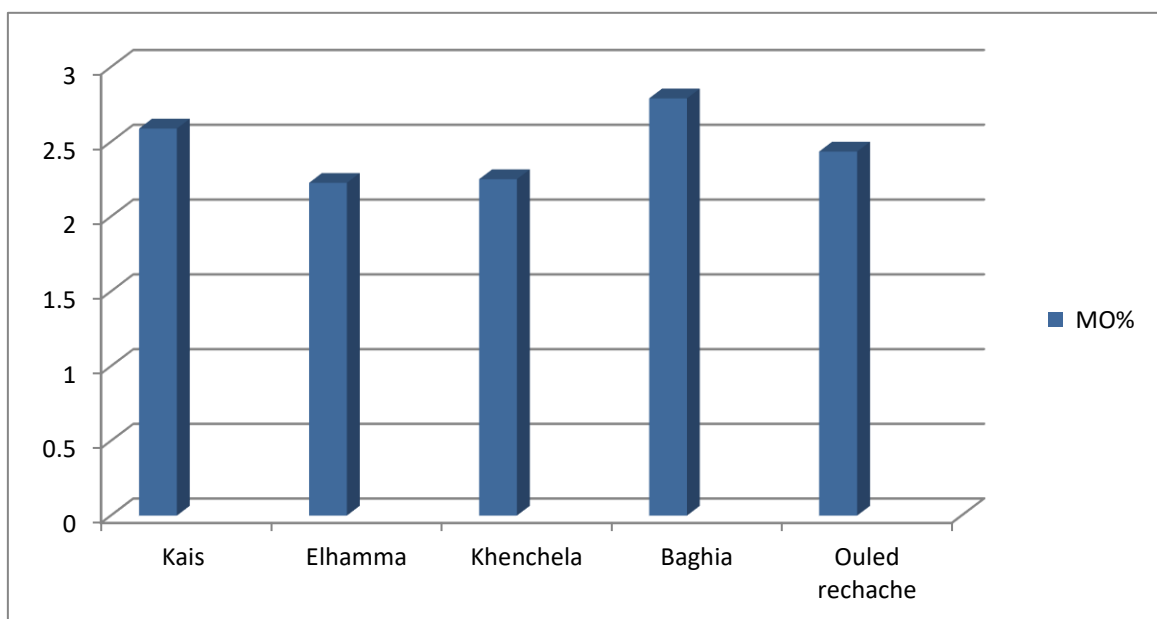


Figure 10 : Présente la matière organique % dans 5 régions

On remarque que la matière organique varie entre 2,5893 à Kais, 2,2263 à Elhamma, 2,2505 à Khenchela, 2,7907 à Baghai et 2,4355 à Ouled Rechache. Les sols à Elhamma Khenchela et Ouled Rechache sont pauvres en matière organique, tandis qu'il est moyen à Kais et Baghia.

3.1.4. Carbone organique (C %)

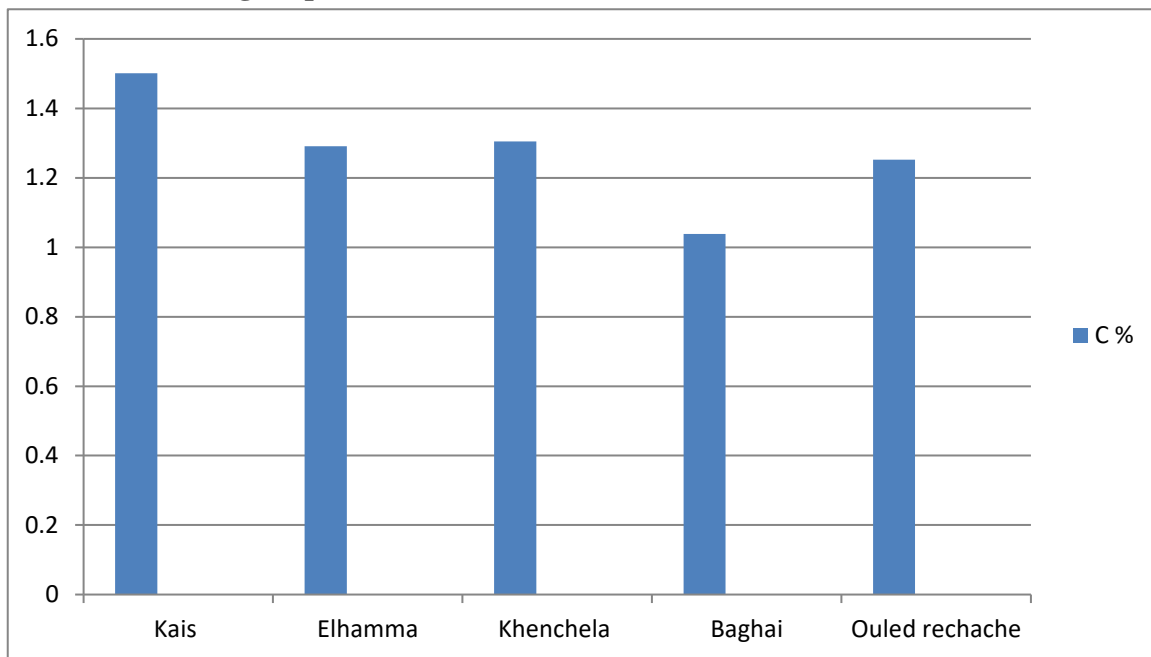


Figure 11: Carbone organique (%) dans les cinq sites

Les teneurs en carbone organique dans les différents sites étudiés varient entre 1,0381 et 1,5010.

3.1 .5. Calcaire totale

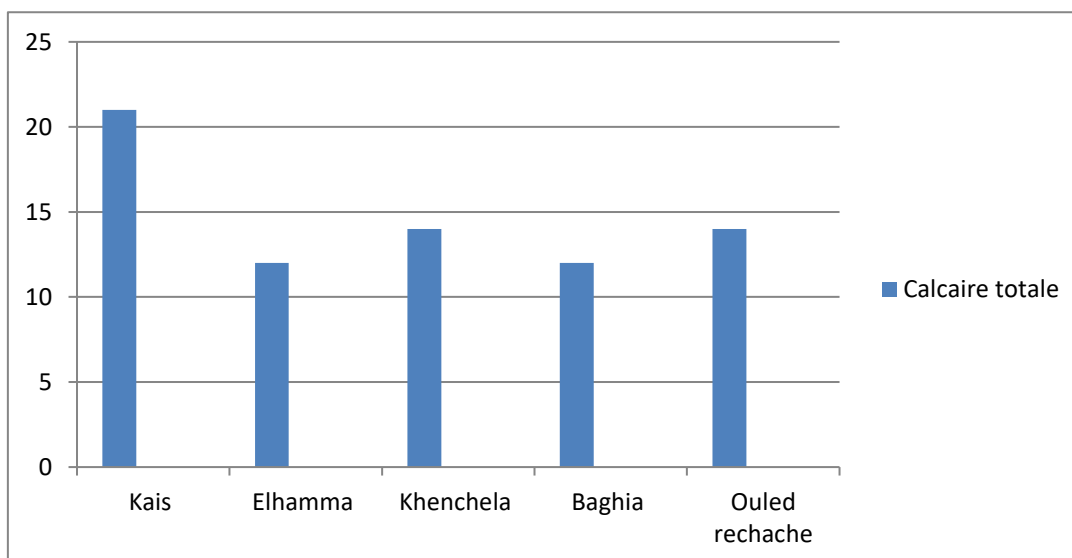


Figure 12 : Calcaire totale dans les sites de l'étude.

Les valeurs de calcaire total varient, avec un minimum de 12 à Elhamma et Baghai, 14 à Ouled Rechache et Khenchela, et un maximum de 21 à Kaïs.

3.1.6. Calcaire actif

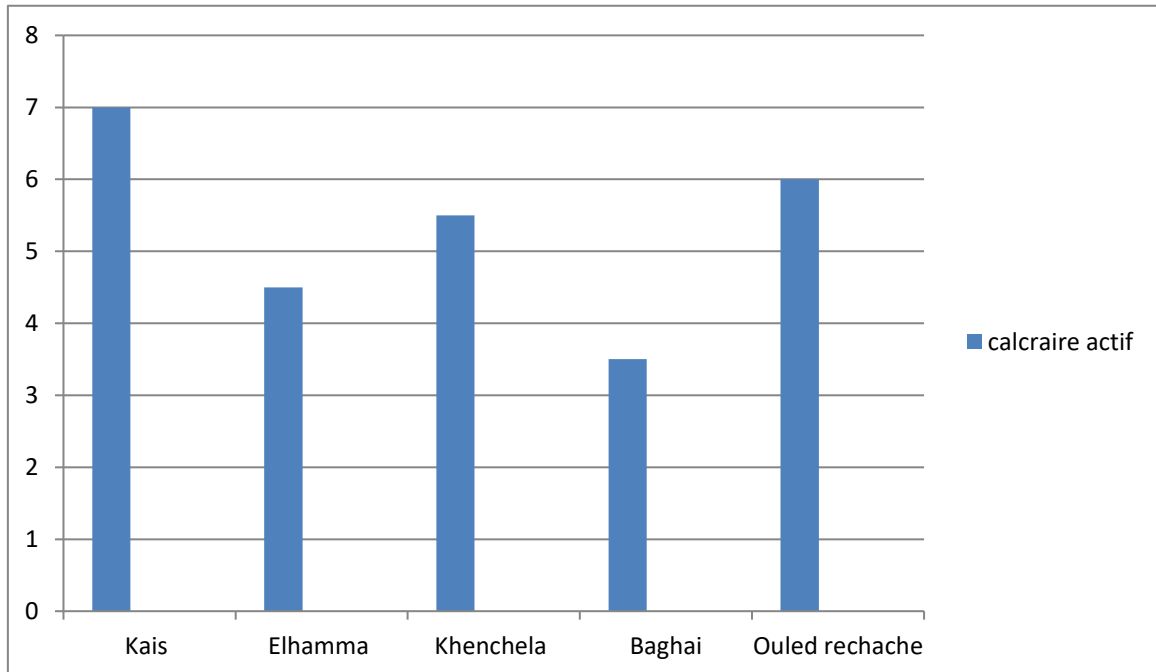


Figure 13 : Calcaire actif dans les sites de l'étude.

Les valeurs obtenues du calcaire actif varient entre 7,0 au niveau Kais , 4,5 au niveau Elhamma ,5,5 à Khenchela , 3,5 à Baghai et 6,0 à Ouled rechache. Alors, on peut calcaire que le sol à Elhamma Khenchela et Baghai, tandis que celui à Kaïs et Ouled Rechache est moyennement calcaire.

3.1.7. L'Azote

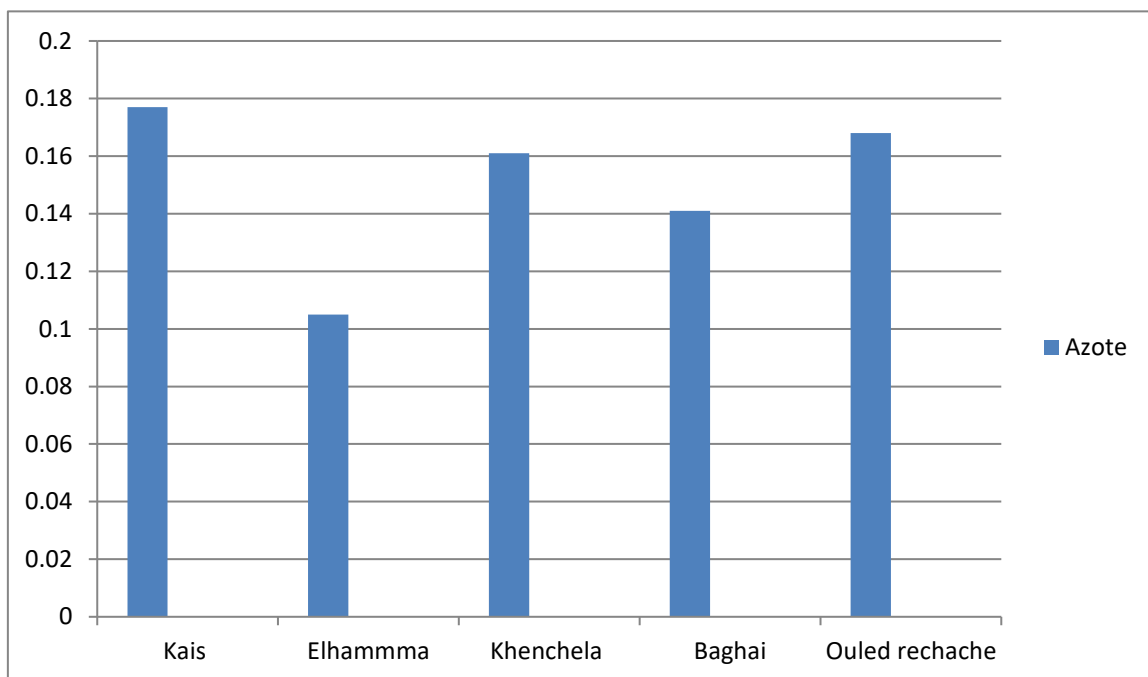


Figure14 : L'azote dans les sites de l'étude.

Les valeurs d'azote varient comme suit : 0,177 à Kais, 0,105 à Elhamma, 0,168 à Ouled Rechache, 0,141 à Baghai et 0,161 à Khenchela. Ainsi, les sols d'Elhamma et Baghai sont moyennement riches en azote, tandis que ceux de Kais, Khenchela et Ouled Rechache sont riches en azote.

3.2. Dosage des métaux lourds

	Kais	Elhamma	Khenchela	Baghai	Ouled rechache
Fe	717,95 ±23,14	666,24 ±21,01	578,12 ±22,45	475,17 ±12,73	275,49 ±19,78
Pb	17,51 ± 0,96	15,79 ± 1,01	14,16 ± 0,92	12,63 ± 0,66	8,81 ± 1,12
Cd	2,61 ± 0,78	1,91 ± 0,65	1,21 ± 0,55	2,21 ± 0,84	1,13 ± 1,02

Tableau 18 : Résultats de dosage des métaux lourds dans le sol.

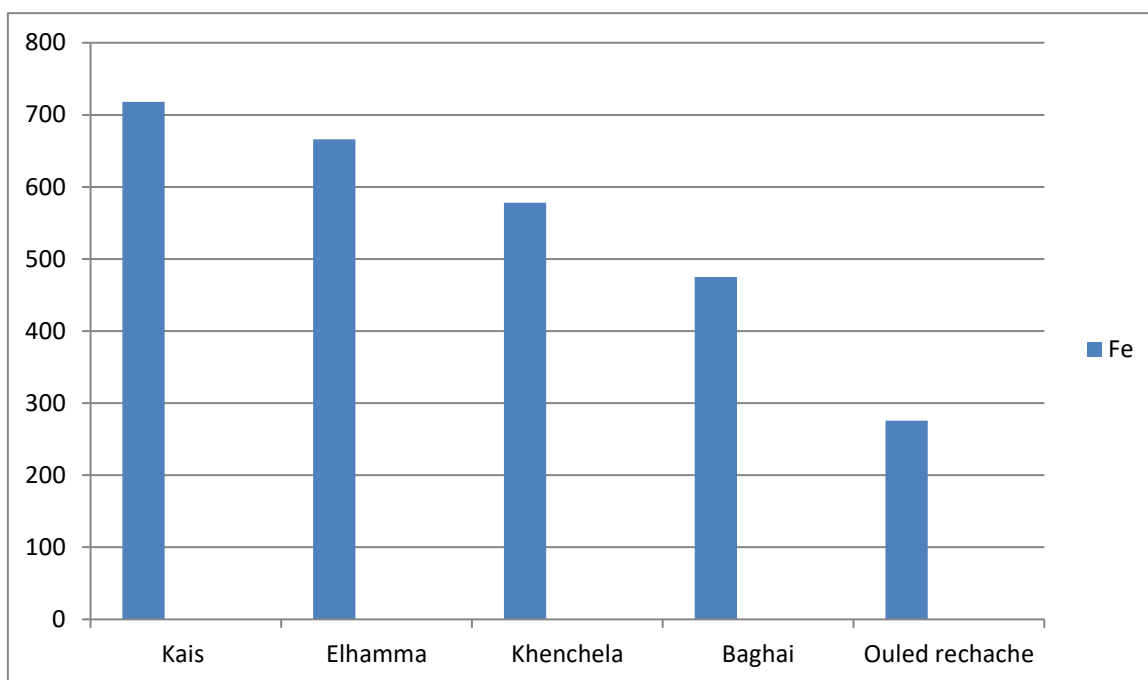


Figure 15: Valeur de fer dans les sols étude.

Les valeurs obtenues du fer élevée de 717,95 au niveau Kais , 666,24 au niveau Elhamma , 578,12 à Khenchela , 475,17 à Baghai et 275,49 à Ouled rechache

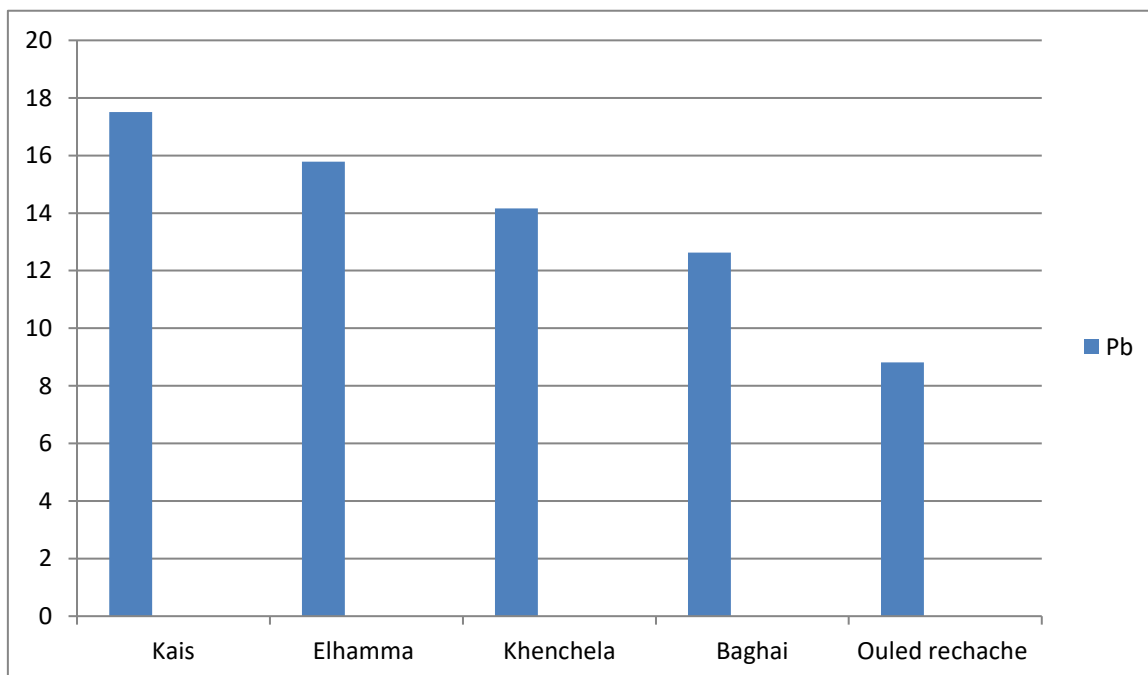


Figure 16: tenure du plomb dans les régions d'étude.

Les valeurs de plomb varient comme suit : 17,51 à Kaïs, 15,79 à Elhamma, 14,16 à Khenchela, 12,63 à Baghai et 8,81 à Ouled rechache.

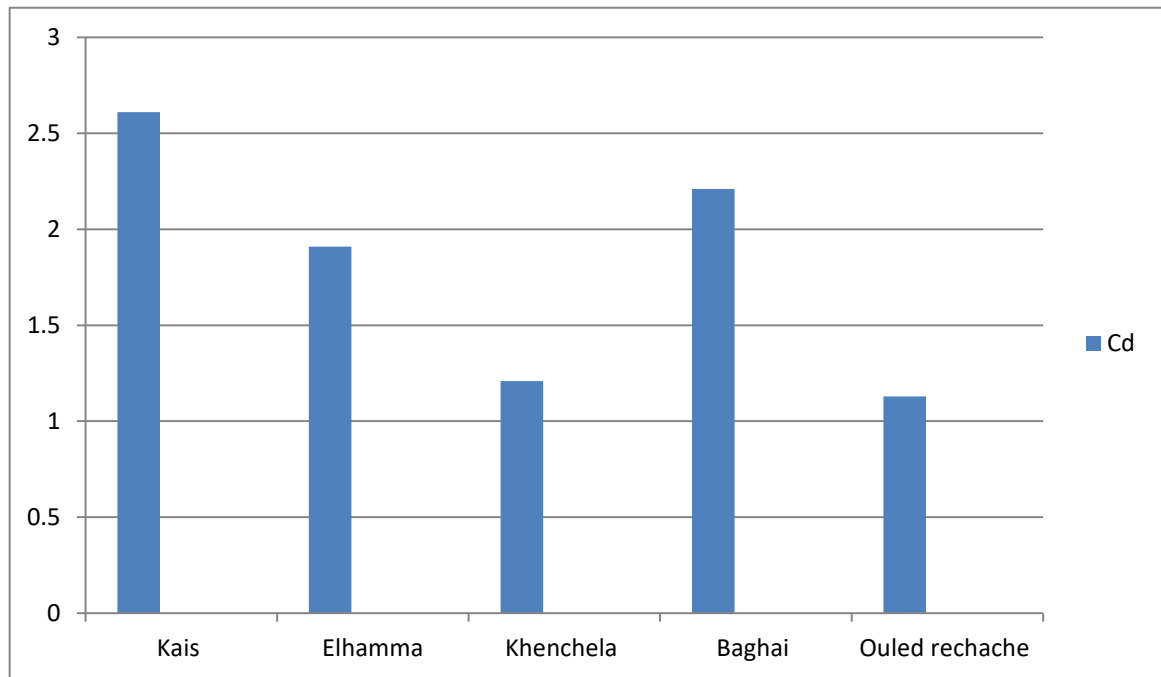


Figure 17 : les valeurs du cadmium dans les sites de l'étude.

Les valeurs de cadmium varient comme suit : 2,61 à Kaïs, 1,91 à Elhamma, 1,21 à Khenchela, 2,21 à Baghai et 1,13 à Ouled rechache.

DISCUSSION

4.1. Discussion des paramètres physico-chimique

Le pH constitue un facteur dont le rôle est crucial pour la mobilité des ions métalliques, car il influence le nombre de charges négatives pouvant être mises en solution (McLaughlin, et al., 2000). Lorsque le pH augmente, les cations sont moins solubles et les anions sont plus solubles (Blanchard, 2000). Le pH est mesuré sur une échelle allant de 0 à 14, où 7 représente la neutralité. Les valeurs inférieures à 7 indiquent une solution acide, tandis que les valeurs supérieures à 7 indiquent une solution alcaline (Harris, D. C. 2010). Les résultats montrent que tous les sites étudiés ont des sols alcalins avec des pH compris entre 7,3 et 7,7. La nature alcaline des sols a des implications significatives pour la disponibilité des nutriments, l'activité microbienne, et la structure du sol. Il est crucial de prendre en compte ces facteurs dans la gestion agricole et la remédiation des sols pour assurer une productivité optimale et la santé écologique des sols.

La conductivité électrique est la mesure de la capacité d'un matériau à conduire l'électricité. Cette capacité est due à la présence d'ions libres dans la solution ou le matériau. Dans le contexte des sols et des solutions aqueuses, la conductivité électrique est souvent utilisée pour évaluer la concentration en ions dissous, ce qui peut fournir des informations sur des paramètres tels que la salinité, la teneur en éléments nutritifs et la qualité de l'eau (Brady, N.C., Weil, R.R. 2008). Les résultats de la mesure de la salinité dans les cinq sites étudiés révèlent des variations significatives, avec des valeurs variant entre 5,15 à Baghai, 4,29 à Ouled Rechache, 3,81 à Khenchela, et entre 2,96 et 2,07 à Kaïs et Elhamma. Ces données suggèrent une différence marquée dans le niveau de salinité des sols entre les sites. En particulier, les valeurs plus élevées enregistrées à Baghai, Ouled Rechache et Kaïs indiquent une salinité plus prononcée, tandis que celles de Khenchela et Elhamma révèlent également des niveaux significatifs de salinité, bien que légèrement moins élevés. Cette variation de la salinité peut avoir des implications importantes pour l'agriculture et la productivité des cultures dans ces régions. Les sols très salés peuvent poser des défis pour la croissance des plantes en limitant l'absorption des nutriments essentiels et en affectant la structure du sol. Par conséquent, une gestion appropriée des sols, comprenant des pratiques de drainage, d'irrigation et d'amendement, sera nécessaire pour atténuer les effets néfastes de la salinité et assurer des rendements agricoles durables dans ces zones.

La matière organique joue un rôle crucial dans la fertilité et la structure du sol. Elle influence la capacité d'échange cationique (CEC), la rétention d'eau, et la disponibilité des nutriments (Brady & Weil, 2008). Les sols de Kaïs et Baghai, avec des valeurs de 2,5893% et 2,7907% respectivement, montrent des niveaux moyens de MO, ce qui suggère une meilleure qualité agronomique par rapport aux autres sites. Ces niveaux moyens sont généralement associés à une meilleure structure du sol et à une plus grande capacité à retenir les nutriments et l'eau, favorisant ainsi une croissance optimale des plantes (Lal, 2006).

En revanche, les sols d'Elhamma, Khenchela et Ouled Rechache, avec des valeurs respectives de 2,2263%, 2,2505% et 2,4355%, sont considérés comme pauvres en matière organique. Des niveaux bas de MO sont souvent associés à une faible fertilité du sol, une moindre capacité à retenir l'eau, et une structure du sol moins favorable. Cela peut limiter la croissance des plantes et nécessiter des interventions agronomiques telles que l'ajout de matière organique sous forme de compost ou d'engrais verts pour améliorer la qualité du sol (McLaughlin et al., 2000).

La variation de la matière organique observée entre les différentes localités peut être attribuée à plusieurs facteurs, y compris les pratiques de gestion des sols, le type de végétation, le climat, et l'historique de l'utilisation des terres (Choudhry, 1994). Par exemple, les pratiques agricoles intensives peuvent réduire les niveaux de MO, tandis que des pratiques de gestion durable, telles que l'agriculture de conservation, peuvent aider à maintenir ou à augmenter les niveaux de MO dans le sol (Blanchard, 2000).

Les variations observées dans les teneurs en carbone organique dans les différents sites étudiés, allant de 1,0381 à 1,5010, soulignent une diversité dans la composition organique des sols. Ces valeurs reflètent la quantité de carbone stockée dans la matière organique présente dans les sols, ce qui est crucial pour la fertilité du sol et le cycle des éléments nutritifs. Des niveaux élevés de carbone organique peuvent indiquer une plus grande stabilité des sols et une capacité accrue à retenir l'eau et les nutriments, favorisant ainsi la croissance des plantes. En revanche, des niveaux plus faibles de carbone organique peuvent être associés à une dégradation de la qualité du sol et à une diminution de sa fertilité. Par

conséquent, la gestion et la préservation de la matière organique dans les sols sont essentielles pour maintenir leur santé et leur productivité à long terme. Des pratiques agricoles durables telles que la conservation des résidus de culture, la mise en place de cultures de couverture et la rotation des cultures peuvent contribuer à accroître les niveaux de carbone organique et à améliorer la qualité globale des sols.

La teneur en calcaire dans le sol est un facteur important qui peut affecter plusieurs propriétés du sol, y compris sa structure, son pH, et la disponibilité des nutriments. Des niveaux élevés de calcaire, comme ceux observés à Kaïs (21%), peuvent entraîner une augmentation du pH du sol, rendant certains nutriments moins disponibles pour les plantes, notamment le fer, le manganèse, le zinc, et le phosphore (Brady & Weil, 2008). Cela peut provoquer des carences nutritionnelles et affecter la croissance des plantes.

En revanche, des niveaux modérés de calcaire, comme ceux mesurés à Elhamma et Baghai (12%) et à Ouled Rechache et Khenchela (14%), peuvent avoir des effets variés en fonction du pH et des autres caractéristiques du sol. Par exemple, dans des sols bien gérés, une teneur modérée en calcaire peut contribuer à la neutralisation de l'acidité du sol et à l'amélioration de la structure du sol, favorisant ainsi une meilleure aération et une infiltration d'eau (Lal, 2006).

La teneur en calcaire actif est un facteur important qui influence la fertilité du sol et la disponibilité des nutriments pour les plantes. Les sols avec une faible teneur en calcaire actif, comme ceux de Elhamma, Khenchela et Baghai, peuvent présenter des conditions légèrement acides, ce qui pourrait améliorer la disponibilité de certains micronutriments, mais aussi entraîner des déficiences en d'autres, comme le phosphore. En revanche, les sols moyennement calcaires de Kaïs et Ouled Rechache peuvent bénéficier d'une meilleure structure du sol et d'une capacité de rétention d'eau accrue, tout en offrant un environnement chimique plus stable pour les racines des plantes.

L'azote est un nutriment essentiel pour les plantes, jouant un rôle clé dans la formation des protéines, la croissance des tissus végétaux et la synthèse des chlorophylles. Des niveaux

suffisants d'azote dans le sol sont nécessaires pour soutenir une croissance optimale des cultures et maximiser les rendements (Brady & Weil, 2008).

Les sols d'Elhamma et Baghai, avec des concentrations d'azote respectivement de 0,105 et 0,141, peuvent être considérés comme moyennement riches en azote. Bien que ces valeurs ne soient pas les plus élevées parmi les sites étudiés, elles indiquent néanmoins une disponibilité suffisante d'azote pour soutenir la croissance des cultures dans ces régions.

En revanche, les sols de Kaïs, Khenchela et Ouled Rechache présentent des concentrations plus élevées en azote (respectivement 0,177, 0,161 et 0,168), indiquant une richesse relative en azote. Cela suggère que ces sols peuvent fournir aux plantes des niveaux d'azote adéquats pour une croissance vigoureuse et des rendements agricoles élevés.

4.2. Discussion dosage des métaux lourds

Le fer est un micronutriment crucial pour la croissance des plantes, jouant un rôle vital dans divers processus physiologiques, y compris la photosynthèse, la respiration et la synthèse de chlorophylle. Cependant, des concentrations élevées de fer dans le sol peuvent avoir des implications sur la disponibilité d'autres nutriments et sur la santé des plantes (Marschner, 2012).

Les sols de Kaïs et Elhamma présentent les concentrations en fer les plus élevées parmi les sites étudiés. Bien que le fer soit nécessaire pour les plantes, des niveaux excessifs peuvent entraîner des problèmes de toxicité, notamment des dommages aux racines et des déficiences en d'autres éléments nutritifs, tels que le zinc et le phosphore (Brady & Weil, 2008).

Les concentrations élevées de fer dans les sols de Khenchela, Baghai et Ouled Rechache, bien que moins prononcées que celles de Kaïs et Elhamma, peuvent également nécessiter une attention particulière. Des niveaux élevés de fer peuvent être associés à des sols mal drainés ou à une activité minière passée, ce qui peut affecter la disponibilité des nutriments et la santé des plantes (Lindsay, 1979).

Les concentrations les plus élevées de plomb ont été observées à Kaïs, ce qui pourrait être attribuable à des activités industrielles ou minières dans la région, ainsi qu'à la proximité de routes à fort trafic. Les sols à Elhamma, Khenchela et Baghai présentent également des niveaux significatifs de plomb, probablement dus à des facteurs similaires. Les concentrations de plomb sont plus faibles à Ouled Rechache. Cela peut être le résultat d'une activité humaine moindre dans la région ou d'une meilleure gestion environnementale. Cependant, même des niveaux relativement bas de plomb dans le sol peuvent avoir des conséquences sur la santé humaine et l'écosystème environnant, en particulier si le plomb est ingéré par les plantes et se retrouve ensuite dans la chaîne alimentaire (Kabata-Pendias, 2011).

Les concentrations les plus élevées de cadmium ont été observées à Kaïs et Baghai, suggérant une possible contamination due à des activités industrielles ou minières dans ces régions. Ces niveaux élevés de cadmium peuvent représenter un risque pour la santé humaine et l'environnement, notamment s'ils contaminent les sources d'eau ou sont absorbés par les plantes et ingérés par les êtres vivants (Kabata-Pendias, 2011).

Les concentrations de cadmium sont relativement plus faibles à Elhamma, Khenchela et Ouled Rechache. Cependant, même à des niveaux plus bas, le cadmium peut présenter un risque pour la santé et l'environnement s'il s'accumule dans les sols et les organismes vivants.

Conclusion

Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer l'effet des métaux lourds sur la santé des sols dans la région de Khenchela, révélant des implications environnementales et sanitaires préoccupantes. Les analyses menées montrent que les sols de cette région sont significativement contaminés par des métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le fer. Les principales sources de cette contamination ont été identifiées comme étant les activités industrielles, les rejets miniers, l'agriculture intensive et les émissions de combustibles fossiles.

Les métaux lourds présents dans la région modifient significativement le pH du sol, entraînant une acidification qui peut affecter la disponibilité des nutriments. De plus, une augmentation de la conductivité électrique a été observée, suggérant une accumulation d'ions métalliques qui peut influencer la fertilité du sol et le développement des plantes. La présence de ces contaminants semble également dégrader la matière organique du sol, essentielle pour sa structure et sa fertilité, tout en perturbant le cycle de l'azote, élément crucial pour la croissance végétale. Enfin, les niveaux de carbone actif et total sont affectés, ce qui indique une altération des propriétés biologiques et chimiques du sol.

Ces modifications des paramètres physico-chimiques des sols soulignent l'urgence de mettre en place des mesures de gestion appropriées pour limiter la pollution par les métaux lourds et protéger la qualité des sols. Il est essentiel de promouvoir des pratiques agricoles durables, d'assurer une surveillance continue et de développer des stratégies de remédiation pour maintenir la fertilité des sols et garantir un environnement sain pour les communautés locales et les écosystèmes.

Et pour terminer, les observations réalisées durant notre travail ont révélé que la présence du plomb, fer et cadmium dans les 5 régions ils engendrent des perturbations multiples sur le fonctionnement général des sols.

Suggestion

- Évaluation des Effets des Métaux Lourds sur les Paramètres Physico-Chimiques des Sols Agricoles de Khenchela
- Étude Comparative des Effets des Métaux Lourds sur les Paramètres Physico-Chimiques des Sols en Zones Polluées et Non Polluées à Khenchela
- Analyse des Sources de Métaux Lourds et de Leur Impact sur les Propriétés Physico-Chimiques des Sols dans la Région de Khenchela
- Modélisation des Effets des Métaux Lourds sur le pH, la Conductivité Électrique, et la Matière Organique des Sols à Khenchela
- Impact des Métaux Lourds sur le Cycle de l'Azote et le Carbone des Sols dans la Région de Khenchela
- Évaluation des Méthodes de Remédiation des Sols Contaminés par des Métaux Lourds dans la Région de Khenchela
- Influence des Métaux Lourds sur la Biodiversité du Sol et les Paramètres Physico-Chimiques dans la Région de Khenchela
- Effets de la Contamination par les Métaux Lourds sur les Propriétés Physico-Chimiques des Sols en Relation avec les Activités Industrielles et Minières dans la Région de Khenchela

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

A

- Adriano, D. C. (2001). Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. Springer .
- Alloway, B. J. (2013). Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Springer.
- Anonyme. (2009). Livre Blanc sur le Cadmium. Institut National de Recherche et de Sécurité .
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). (2012). Toxicological profile for cadmium.

B

- Biochar effects on soil biota—A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 89, 88-106.
- Blanchard, P. (2000). Environmental Chemistry of Soils. *Environmental Chemistry*, 31(4), 453-465.
- Bolan, N. S., Adriano, D. C., & Curtin, D. (2003). Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability. *Advances in Agronomy*, 78, 215-272.
- Brady, N.C., Weil, R.R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. Pearson Education, Inc.
- B.V. Rotterdamseweg, Water Treatment et Purification. (1999). *Toxic Metals: A 3M Company*.

C

- Chahid., 2016. Quantification des éléments traces métalliques (cadmium, plomb et mercure total) de certains produits de la pêche débarqués dans la zone Essaouira-Dakhla Evaluation des risques sanitaires. Thèse de doctorat, Agadir, Maroc, 191p.
- Choudhry, G. G. (1994). *Humic Substances and Chemical Contaminants*. CRC Press.

D

- Delaunois, A., 1976. Travaux pratiques de pédologie générale. pp. 2-86.
- DUCHAUFOUR, 1970- précis de pédologie. Ed Masson et Cie. Paris.
- Duffus, J. H. (2002). "Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 74(5), 793-807.

F

Références Bibliographiques

- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Jones, C. A. (2002). *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops* (2nd ed.). CRC Press.

G

- Gauchers, 1968. *Traité de pédologie agricole. Le sol et ces caractéristiques agronomiques.* pp. 2-97.
- Ghosh, M., & Singh, S. P. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(1), 1-18.
- Giller, K. E., Witter, E., & McGrath, S. P. (2009). Heavy metals and soil microbes. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(10), 2031-2037.
- Goyer, R. A., & Clarkson, T. W. (2001). Toxic effects of metals. In C. D. Klaassen (Ed.), *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons* (6th ed., pp. 811-867). McGraw-Hill.
- G. Genchi., M.S. Sinicropi., G. Lauria., A. Carocci., A. Catalano., 2020. *The Effects of Cadmium Toxicity.*

H

- Harris, D. C. (2010). *Quantitative chemical analysis.* Macmillan.
- Hopkin, S. P. (1989). **Ecophysiology of Metals in Terrestrial Invertebrate.*
- Huynh, H. (2009). *Environmental Geochemistry of Lead.* Springer.

I

- Impens, N.R.E.G., De Ridder, J.A., & Van Hulle, S.W.H. (1991).
- info.medadom.com
- it.funcmater.com

J

- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60-72.
- Jarup, L. (2003). "Hazards of heavy metal contamination." *British Medical Bulletin*, 68(1), 167-182.
- Jamagne. (1980). *Titre de l'ouvrage.* Éditeur.
- journals.openedition.org

K

- Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A. B. (2007). *Trace Elements from Soil to Human.* Springer Science & Business Media.
- Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants.* CRC Press.

Références Bibliographiques

- Kidd, P., Barceló, J., Bernal, M. P., Navari-Izzo, F., Poschenrieder, C., Shilev, S., ... & Vangronsveld, J. (2009). Trace element behaviour at the root-soil interface: Implications in phytoremediation. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 243-259.

L

- Lacoue-Labarthe, T. (2007). *Connaître et protéger le littoral. L'environnement côtier face à l'action de l'homme et aux changements globaux*. Editions Quae.
- Lal, R. (2006). Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation & Development*, 17(2), 197-209.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2015). D. Stewart., 2012. Iron element facts. Chemicool.
- Lindsay, W. L. (1979). *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley & Sons.

M

- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.
- McLaughlin, M. J., Zarcinas, B. A., Stevens, D. P., & Cook, N. (2000). Soil testing for heavy metals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31(11-14), 1661-1700.
- McLaughlin, M. J., Parker, D. R., & Clarke, J. M. (2000). Metals and micronutrients - food safety issues. *Field Crops Research*, 60(1-2), 143-163.
- Mertz, W. (1981). The essential trace elements. *Science*, 213(4514), 1332-1338.

N

- Nriagu, J. O. (1978). *The Biogeochemistry of Lead in the Environment*. Elsevier.

S

- Sanders, T., Liu, Y., Buchner, V., & Tchounwou, P. B. (2009). Neurotoxic Effects and Biomarkers of Lead Exposure: A Review. *Reviews on Environmental Health*, 24(1), 15-45.
- Smith, J. L., Doran, J. W., & Jones, A. J. (1996). Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. In J. W. Doran & A. J. Jones (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality* (pp. 169-185). SSSA.

T

- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, 133-164.
- theconversation.com

V

- Vallee, B. L., & Auld, D. S. (1990). Zinc coordination, function, and structure of zinc enzymes and other proteins. *Biochemistry*, 29(24), 5647-5659.
- vedantu.com

W

- WHO (World Health Organization). (2010). Exposure to Cadmium: A Major Public Health Concern.

Résumé

La contamination des sols par les métaux lourds est un problème complexe avec des implications importantes pour l'environnement. Dans notre étude, menée dans la wilaya de Khenchela sur cinq régions, nous avons prélevé des échantillons de sol pour effectuer des analyses. Les résultats de cette étude montrent que l'accumulation de métaux lourds dans le sol affecte négativement la fertilité et la production du sol.

Nos analyses ont révélé une présence significative de métaux lourds tels que le plomb, le cadmium et le fer dans les échantillons de sol. Ces métaux lourds, par leur toxicité et leur persistance, perturbent l'équilibre microbiologique du sol, réduisent la disponibilité des nutriments essentiels et altèrent la structure du sol. Cela entraîne une diminution de la fertilité du sol et, par conséquent, une baisse de la productivité agricole.

Les mots clés : les métaux lourds, la fertilité, le plomb, le cadmium, le fer

Abstract

Heavy metal contamination of soils is a complex problem with significant implications for the environment. In our study, carried out in the wilaya of Khenchela in five regions, we took soil samples to carry out analyses. The results of this study show that the accumulation of heavy metals in soil negatively affects soil fertility and production.

Our analyzes revealed a significant presence of heavy metals such as lead, cadmium and fer in the soil samples. These heavy metals, through their toxicity and persistence, disrupt the microbiological balance of the soil, reduce the availability of essential nutrients and alter the structure of the soil. This leads to a decrease in soil fertility and, consequently, a decline in agricultural productivity.

Keywords: heavy metal, fertility, cadmium, lead, fer

المخلص

يعد تلوث التربة بالمعادن الثقيلة مشكلة معقدة لها آثار كبيرة على البيئة. في دراستنا التي أجريت في ولاية خنشلة بخمس مناطق، أخذنا عينات من التربة لإجراء التحليلات. أظهرت نتائج هذه الدراسة أن تراكم المعادن الثقيلة في التربة يؤثر سلباً على خصوبة التربة وإنتاجها.

كشفت تحليلاتنا عن وجود ملحوظ للمعادن الثقيلة مثل الرصاص والكاديوم والحديد في عينات التربة. هذه المعادن الثقيلة، من خلال سميته وثباتها، تعطل التوازن الميكروبيولوجي للتربة، وتقلل من توافر العناصر الغذائية الأساسية وتغير بنية التربة. ويؤدي ذلك إلى انخفاض خصوبة التربة وبالتالي انخفاض الإنتاجية الزراعية.

الكلمات المفتاحية: المعادن الثقيلة، خصوبة التربة، الرصاص، الكاديوم، الحديد

