



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie
Département des sciences agronomiques

MÉMOIRE DE MASTER

Science de la Nature et de la Vie
Sciences Agronomiques
Spécialité : Hydropédologie

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
MIHI Sana

Le : jeudi 13 juin 2024

Impact de l'industrie cimenterie sur la pollution du sol par les métaux lourds. Cas de la commune de Branis (W. Biskra).

Jury :

M.	AISSAOUI H.	MCB	Université Mohamed Khider Biskra	Président
Mme.	HIOUANI F.	MCA	Université Mohamed Khider Biskra	Rapporteuse
Mme.	BENAISSA K.	MAB	Université Mohamed Khider Biskra	Examinatrice
Mme.	BENAOUNE S.	Soutien de recherche	C.R.S.T.R.A Biskra	Co-rapporteuse

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Louange à Dieu le tout Puissant, pour sa bénédiction et sa protection, et tout le courage qu'il nous a donné pour chaque pas, qu'on a fait tout le long de notre travail.

Nous tenons à remercier tout particulièrement Madame HIOUANI Fatima, qui, en tant que directrice de ce mémoire, était toujours à notre écoute, et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour son aide et ses conseils. Qu'elle trouve, ici, l'expression de notre profond respect et de notre sincère gratitude.

Nous devons également exprimer notre gratitude à Madame BENAOUNE Saliha co-directrice de ce mémoire d'avoir bien voulu assurer la direction de ce mémoire et d'avoir mis à notre disposition tous les moyens et matériels nécessaires pour accomplir ce travail.

Nous remercions les membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier et à témoigner toute notre reconnaissance au personnel de laboratoire : Monsieur DJERADE Kamel et Madame TIBERMACHINE Moufida pour leur aide durant les manipulations de laboratoire.

Nos vifs remerciements au personnel du Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides "Omar EL-BERNAOUI" (C.R.S.T.R.A.) de la wilaya de Biskra, pour nous avoir reçus, et permis de réaliser nos analyses, dans les meilleures conditions possibles.

Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin, durant notre cursus universitaire.

Dédicace

Aux êtres qui me sont les plus chers mon père et ma mère.

À mes sœurs : Assia, Afrikia, Europa et Leïla.

À mon frère Toufik.

À mon cher grand-père.

À tous mes enseignants.

À toutes mes amies.

À tous ceux que j'aime et je respecte.

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction	1

Première partie : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE**Chapitre 01: La pollution par les métaux lourds**

1. Définition de la pollution.....	3
2. Définition des polluants.....	3
3. Classification de la pollution	3
3.1. Pollution physique	3
3.2. Pollution chimique.....	3
3.3. Pollution biologique.....	3
3.4. Nuisances esthétiques	4
4. Pollution du sol.....	4
4.1. Définition et origines	4
4.2. Conséquences de la pollution du sol sur l'environnement et la santé publique.....	5
5. Métaux lourds	5
5.1. Définition et origine	5
5.2. Différent types de métaux lourds	7
6. Biodisponibilité des métaux lourds	8
7. Pollution des sols par des métaux lourds.....	8

Chapitre 02: Industrie cimenterie

1. Procédé de fabrication du ciment	9
1.1. Extraction et pré-homogénéisation des matières premières.....	9
1.2. Préparation des matières premières.....	9
1.3. Cuisson de la farine et création du clinker	10
1.4. Broyage du clinker et fabrication du ciment.....	11
1.5. Stockage et expédition du ciment	11
2. Sous produits de la fabrication du ciment	11

2.1. Rejets polluants	12
2.2. Emissions de poussières	12
3. Normes algériennes de rejet des polluants atmosphériques	12

Deuxième partie : PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre 03: Matériel et méthodes d'étude

1. Présentation de la zone d'étude	14
1.1. Situation géographique	14
1.2. Etude climatique	15
1.3. Situation de la zone d'étude	20
2. Prélèvement des échantillons du sol	21
3. Méthodes d'étude	22
3.1. Préparation mécanique de l'échantillon du sol	23
3.2. Analyse du manganèse, du zinc et du plomb par l'acétate d'ammonium en présence d'EDTA.....	23
3.3. Calculs.....	25
3.4. Analyse statistique.....	26

Chapitre 04: Résultats et discussion

1. Teneur en métaux lourds dans les sites de prélèvement	27
1.1. Zinc	27
1.2. Manganèse	29
1.3. Plomb	31
2. Evaluation de la contamination métallique	34
Conclusion.....	39
Références Bibliographiques.....	40
Résumé	

Liste des tableaux

Tableau 1. Tolérance à certaines valeurs limites des paramètres de rejets atmosphériques (cimenterie, plâtre et chaux).....	13
Tableau 2. Concentrations des solutions étalons.....	25
Tableau 3. Teneur en Zn ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dans les échantillons du sol prélevés.	28
Tableau 4. Teneur en Mn ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dans les échantillons du sol prélevés.....	30
Tableau 5. Teneur en Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dans les échantillons du sol prélevés.	33

Liste des figures

Figure 1. Cycle simplifié des éléments traces métalliques depuis les émissions jusqu'à l'exposition humaine.....	5
Figure 2. Classification périodique des éléments.....	6
Figure 3. Origine des métaux lourds dans le sol.....	7
Figure 4. Situation de la ville de Biskra en Algérie.....	14
Figure 5. Localisation de la commune de Branis dans la wilaya de Biskra.....	15
Figure 6. Précipitation moyenne mensuelles en (mm) de la région de Biskra durant la période 1987 – 2019.....	16
Figure 7. Températures moyennes mensuelles (maximales, moyennes et minimales) en (°C) de la wilaya de Biskra durant la période (1987 - 2019).....	16
Figure 8. Vitesse moyenne mensuelle des vents en (km/h) de la région de Biskra durant la période (1987 - 2019).....	17
Figure 9. Taux d'humidité relative moyenne mensuelle en (%) de la région de Biskra durant la période (1987 - 2019).....	18
Figure 10. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Biskra durant la période (1987 - 2019).....	19
Figure 11. Situation de la région de Biskra dans le climagramme d'EMBERGER selon les données de la période (1987 - 2019).....	20
Figure 12. Localisation de Biskria Ciment SPA dans la commune de Branis.....	21
Figure 13. Localisation des sites de prélèvement du sol.....	22
Figure 14. Teneur en zinc ($\mu\text{g.g}^{-1}$) des sites de prélèvement du sol dans la région de Branis.....	29
Figure 15. Teneur en manganèse ($\mu\text{g.g}^{-1}$) des sites de prélèvement du sol dans la région de Branis.....	31
Figure 16. Teneur en plomb ($\mu\text{g.g}^{-1}$) des sites de prélèvement du sol dans la région de Branis.....	34
Figure 17. Distribution des teneurs en zinc dans les sols autour de Biskria Ciment.....	35
Figure 18. Distribution des teneurs en manganèse dans les sols autour de Biskria Ciment.....	35
Figure 19. Distribution des teneurs en plomb dans les sols autour de Biskria Ciment.....	36

Liste des abréviations

EDTA : acide éthylènediamine tétraacétique

ETM : éléments trace métalliques

GPS : Système mondial de positionnement ou Géo-positionnement par satellite

H.A.P : hydrocarbures aromatiques polycycliques

SAA : spectrométrie d'absorption atomique

S.P.A : Société par Action

Introduction

Introduction

Le sol représente incontestablement une composante essentielle du terroir (Gaviglio, 2022) c'est un réservoir important de nutriments et de polluants qui joue un rôle essentiel dans la stabilité et la sécurité socio-écologiques. Cependant, la pollution des sols est devenue un obstacle important au développement régional et à la santé humaine au cours des dernières décennies. Les métaux lourds, définis comme des métaux ou métalloïdes ayant une densité spécifique supérieure à 5 g/cm^3 , sont devenus un type important de polluants dans les sols du monde entier (Wu *et al.*, 2018).

La pollution des sols par les métaux lourds est devenue une préoccupation environnementale urgente (Napoletano *et al.*, 2023). Ces dernières années, les activités anthropiques intensives ont entraîné une industrialisation rapide, une modernisation agricole et une urbanisation. Tout en favorisant la croissance économique, ces activités ont également libéré une multitude de métaux traces dans l'environnement (Galey *et al.*, 2022 ; Gobert *et al.*, 2022), exacerbant ainsi la pollution des sols par les métaux traces. En raison de leur universalité (Ali *et al.*, 2019 ; Jia *et al.*, 2020), de leur tendance à s'accumuler dans les plantes et les organismes vivants, de leur toxicité (Kirichkov *et al.*, 2024) et de leur biodisponibilité persistante (Ali *et al.*, 2019 ; Jia *et al.*, 2020 ; Jannat *et al.*, 2023 ; Xu *et al.*, 2024), les métaux traces du sol peuvent non seulement endommager la structure et la fonction de l'écosystème (Cai *et al.*, 2024), mais menacent également la santé des animaux et des humains par bioaccumulation (Huynh., 2009 ; Yan *et al.*, 2022 ; Jannat *et al.*, 2023 ; Zeng *et al.*, 2023).

Parmi les activités anthropiques considérées comme sources de métaux lourds est la production de ciment. Après leur émission dans l'atmosphère par les cheminées des cimenteries, les métaux lourds sont finalement transférés dans le milieu environnant (sols, végétation et cours d'eau) par dépôts secs et humides. L'étendue de la superficie des écosystèmes terrestres affectée par les dépôts de métaux lourds provenant des cimenteries dépend des paramètres météorologiques tels que le vent (direction, vitesse, fréquence), les précipitations, etc (Cutillas-Barreiro *et al.*, 2016).

L'industrie du ciment génère une pollution atmosphérique notable et contribue à la détérioration de la qualité de l'air en produisant des polluants atmosphériques dangereux (Shukla *et al.*, 2008 ; Zimwara *et al.*, 2012 ; Al faifi et El-Shabasy, 2021, Blois et Lay-Ekuakille, 2021). Les métaux lourds proviennent de la combustion de matières premières, de combustibles et de déchets, au cours du processus de clinkerage. Les métaux lourds sont

présents sous diverses formes chimiques telles que des particules complexes, des oxydes, des sels ou sous forme gazeuse (Blois et Lay-Ekuakille, 2021).

L'extraction à l'EDTA à pH 7, qui fait partie de la procédure de référence en analyse des sols pour la détermination de la fraction mobilisable (El Ass *et al.*, 2003), a été choisie pour réaliser cette étude.

L'objectif de cette étude est d'étudier l'impact de l'industrie cimenterie sur la pollution du sol par les métaux lourds dans la commune de Branis, wilaya de Biskra. Pour atteindre cet objectif, notre travail porte sur les points suivants :

- Prélèvement des échantillons du sol dans différents sites autour de la cimenterie dans la région de Branis ;
- Réalisation de la carte des sites d'échantillonnage ;
- Préparation de l'échantillon du sol ;
- Dosage des métaux lourds par l'acétate d'ammonium en présence d'EDTA par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) ;
- Etude statistique descriptives ;
- Etude de la distribution spatiale des éléments analysés en utilisant la cartographie.

Dans cette intention, notre manuscrit est structuré en deux (02) parties ; la première est une synthèse bibliographique contenant deux chapitres ; l'une sur la pollution par les métaux lourds et l'autre sur l'industrie cimenterie. La deuxième partie comprend également deux chapitres ; le premier présente la méthodologie adoptée lors de la présente étude, et le second expose les résultats obtenus et les discussions. Enfin, nous terminons par une conclusion générale.

Première partie :
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 01:
La pollution par les
métaux lourds

Chapitre 01 : La pollution par les métaux lourds

1. Définition de la pollution

Une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, par des effets directs ou indirects altérant les critères de répartition de flux d'énergies, des niveaux de radiations, de la constitution physicochimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes ; ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou via des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède ou les possibilités récréatives du milieu (de Redon, 2021).

2. Définition des polluants

On considère habituellement comme polluant toute substance ajoutée au milieu en concentration suffisante pour produire un effet mesurable sur l'homme, les animaux, la végétation ou les matériaux de constructions (Degobert, 1992).

3. Classification de la pollution

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 (Aissaoui, 2012) :

3.1. Pollution physique

- Radionucléides actifs
- Caléfaction (pollution thermique)
- Bruit et vibrations à base fréquence (infrasons)

3.2. 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.

3.3. Pollution biologique

- Contamination biologique des milieux inhalés et ingérés (bactérie, virus, pollens,... etc).
- Modification des biocénoses par introduction intempestive d'espèces animales et végétales.

3.4. Nuisances esthétiques

- Dégradation des paysages et des sites par l'urbanisation « sauvage » ou un aménagement mal conçu.
- Implantation d'industrie ou autres activités dans les biotopes vierges ou peu modifiés par l'homme (Viala, 1998 in Aissaoui, 2012).

4. Pollution du sol

4.1. Définition et origines

La pollution, et plus largement la dégradation de la qualité des sols, est une problématique moins visible mais tout aussi réelle que la pollution de l'eau et de l'atmosphère, qui devient de plus en plus préoccupante, à l'échelle planétaire. Elle est définie comme le phénomène où le sol contient une concentration anormale de composés chimiques potentiellement dangereux (métaux lourds, hydrocarbures, solvants halogénés, etc.) pour l'environnement et la santé des êtres vivants (Mouhoun, 2019).

Les facteurs topographiques et climatiques tels que les pentes abruptes, les crues, les tornades fréquentes, les tempêtes et les vents de haute vélocité, les pluies de forte intensité, et la sécheresse sont parmi les causes naturelles de dégradation de la qualité des sols.

L'origine anthropique de la dégradation du sol est due la plupart du temps aux diverses activités humaines (de l'agriculture aux industries) qui appauvrissent les sols en matières organiques, en éléments minéraux et en microorganismes, les transformant en sols pollués (Mouhoun, 2019).

Nous pouvons citer, quelques exemples de sources anthropiques de la dégradation des sols:

- Les activités humaines intensives, en particulier la production agricole et industrielle, ont conduit à une accumulation de métaux lourds dans les sols agricoles, menaçant la qualité environnementale des sols et la sécurité des produits agricoles (Hu *et al.*, 2018) ;
- La sur-urbanisation de sols à vocation agricole : les surfaces bétonnées qui couvrent le sol empêchent l'eau de pénétrer dans la terre et sans eau, aucune vie ne peut se développer;
- Les émissions intenses des rejets toxiques et polluants riche en métaux lourds par les industries et par la circulation automobile ;
- Le dépôt et l'accumulation des boues de station d'épuration, des déchets industriels et ménagers sur les sols sous forme de décharges autorisées ou sauvages (Mouhoun, 2019).

4.2. Conséquences de la pollution du sol sur l'environnement et la santé publique

Un sol pollué devient à son tour une source possible de diffusion directe ou indirecte de polluants dans l'environnement, via l'eau, les envols de poussières, les émanations gazeuses ou via une re-concentration et/ou un transfert de polluants par des organismes vivants le long de la chaîne trophique ; conduisant à la perte de la biodiversité végétale et animale et à la perturbation de l'équilibre dans les différents écosystèmes environnementaux (Mouhoun, 2019).

Un sol pollué est un site présentant un risque ou des nuisances pérennes pour la santé humaine ; en effet, de nombreuses substances chimiques (dont les métaux lourds) mesurées dans des sols pollués sont connues pour générer des effets multiples sur la santé (Mouhoun, 2019, Wang *et al.*, 2023, Wang et Yang, 2024). La contamination se fait alors soit par ingestion ou par respiration (l'inhalation de particules de sol se produit à la suite du transport de poussière par le vent) (Brevik *et al.*, 2020). En effet, le passage des polluants toxiques (métaux lourds) des sols vers l'homme via la respiration des aérosols issus des sols pollués ou via la chaîne trophique peut provoquer divers troubles, notamment neurologiques aigus et chroniques, hépato-rénaux, cardio-respiratoires, digestifs et cancérigène, etc (Mouhoun, 2019).

La figure 1 illustre ainsi de façon très simplifiée le cycle des éléments traces métalliques depuis leurs émissions jusqu'à l'exposition humaine (Gouzy et Ducos, 2008).

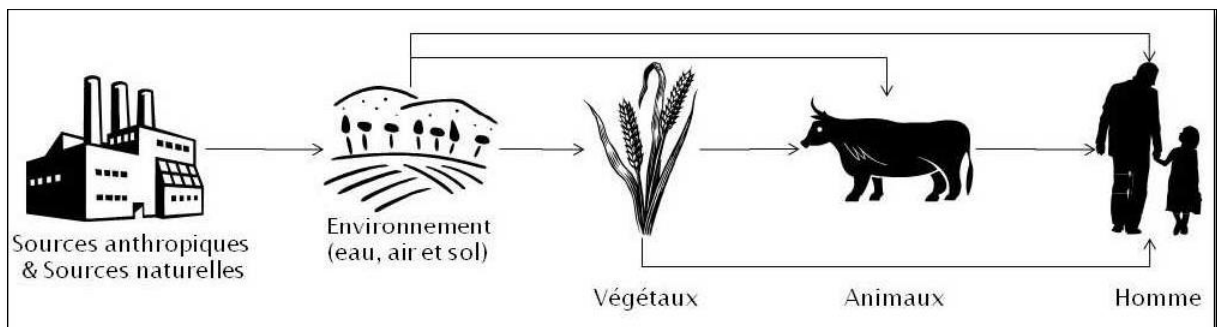


Figure 1. Cycle simplifié des éléments traces métalliques depuis les émissions jusqu'à l'exposition humaine (Gouzy et Ducos, 2008).

5. Métaux lourds

5.1. Définition et origine

Dans la littérature, les « métaux lourds » sont parfois désignés par les appellations suivantes : métaux ou éléments traces, métaux de transition, micro-nutriments et métaux toxiques. Rigoureusement, un métal dit « lourd » se définit comme un métal dont la masse volumique

est supérieure à 5 g/cm³, à l'exception des éléments alcalino-terreux (Galvez-Cloutier et Lefrançois, 2005). On appelle également parfois « métaux lourds » les métaux situés à partir de la quatrième période du tableau périodique c'est-à-dire à partir du potassium (Sirven, 2006) (figure 2).

Le terme métaux lourds, « heavy metal », implique aussi une notion de toxicité. Le terme « éléments traces métalliques » est aussi utilisé pour décrire ces mêmes éléments, car ils se retrouvent souvent en très faible quantité dans l'environnement (Huynh., 2009).

Dans ce contexte, nous utiliserons le terme « métaux lourds » dans le sens de l'impact toxique sur les humains et les environnements.

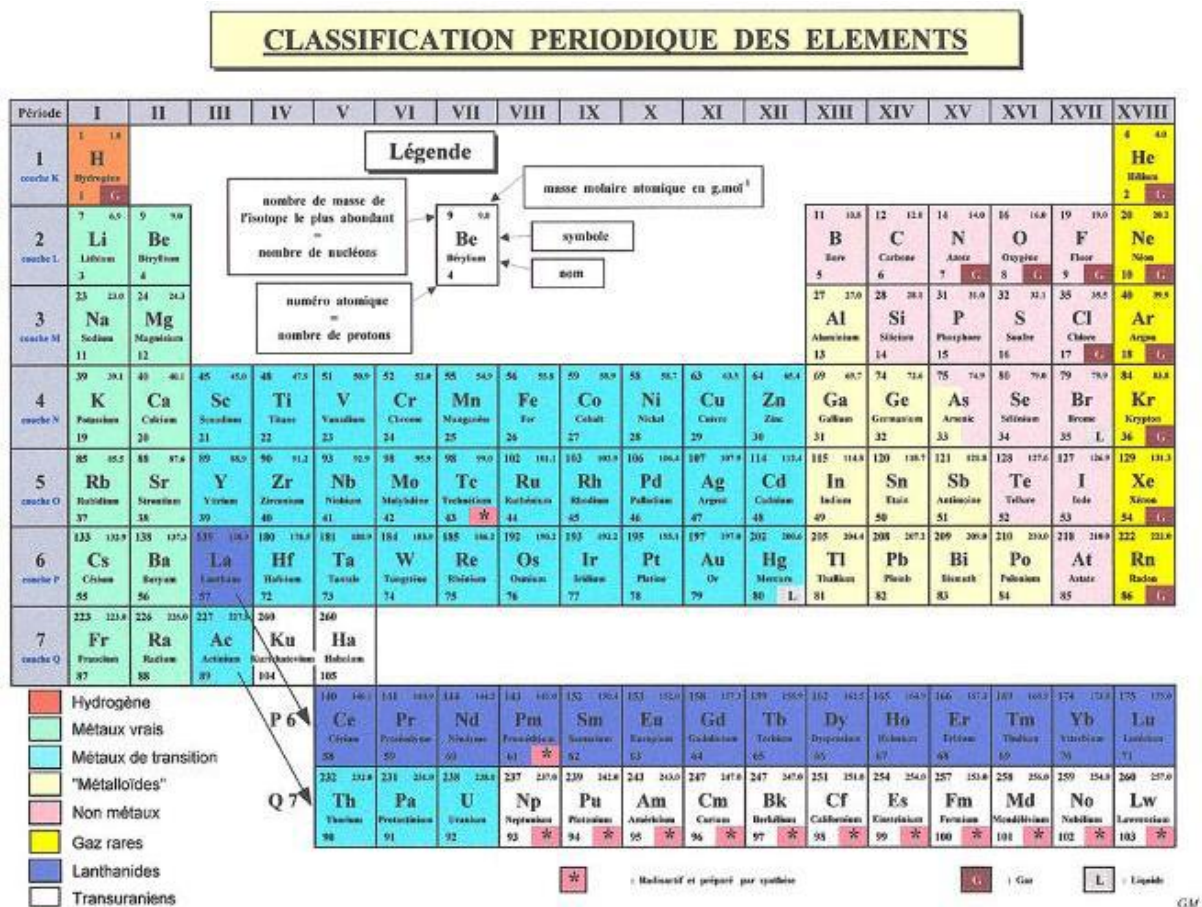


Figure 2. Classification périodique des éléments (Huynh., 2009).

Selon Galvez de Cloutier (1995), les principaux métaux lourds impliqués dans les cas de contamination des sols sont le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le nickel (Ni), le chrome (Cr) et le mercure (Hg).

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les sols (Mitra *et al.*, 2022, Khan *et al.*, 2023) selon des concentrations qui sont directement influencées par la nature du socle

rocheux local ainsi que les divers processus d'altération auxquels ont été et sont exposées les formations géologiques. Ainsi, un sol contenant des métaux lourds ne peut donc pas a priori être nécessairement considéré comme contaminé (Galvez-Cloutier et Lefrançois, 2005).

Selon Nowak *et al.* (2002), les activités industrielles sont la principale origine de la pollution des sols par des composants métalliques. Voici ci-dessous quelques exemples (figure 03):

- Métallurgie : Fe, Mn, Pb, Zn, Cd, Cr et Ni ;
- Incinération de déchets : Cd, Cu, Cr et Pb ;
- Traitement et épandage de déchets, utilisation de fertilisants et phytosanitaires en agriculture : As, Cd, Mn, Cu, Pb et Zn.

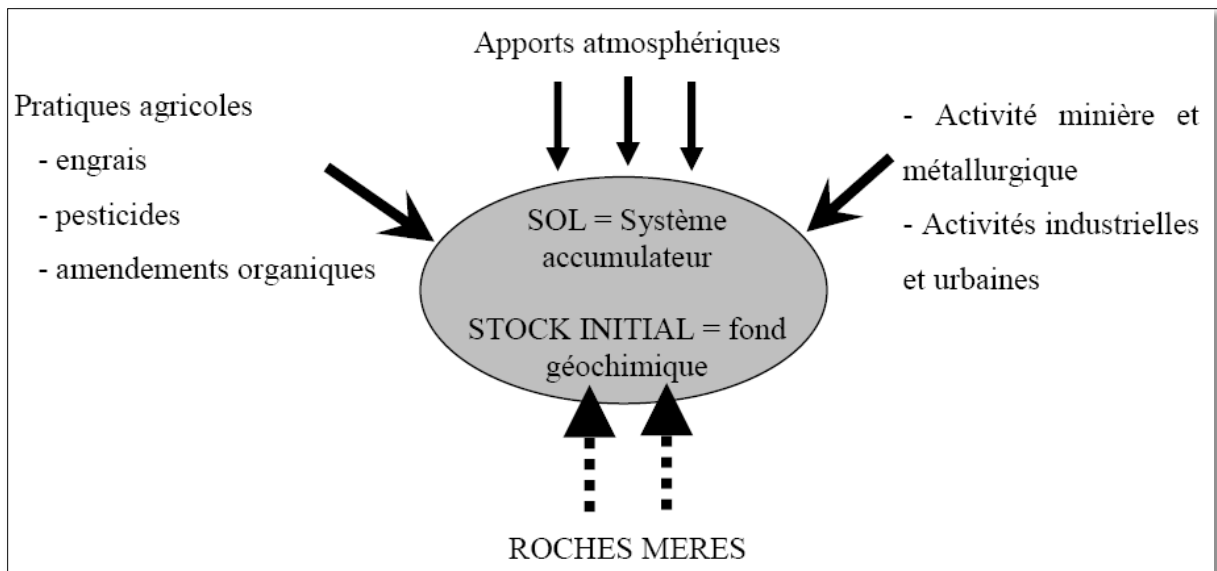


Figure 3. Origine des métaux lourds dans le sol (Huynh., 2009).

5.2. Différent types de métaux lourds

On en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux lourds essentiels et métaux lourds toxiques.

5.2.1. Métaux lourds essentiels

Les métaux essentiels sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (Huynh., 2009) et peuvent être toxiques à des concentrations supérieures à un certain seuil, comme le Cu, le Fe, le Mn, le Ni et le Zn (Napoletano *et al.*, 2023).

5.2.2. Métaux lourds non essentiels

Ces éléments qui ne présentent pas une fonction métabolique, sont connus comme « non-essentiels » et généralement ont un seuil de concentration beaucoup plus bas pour devenir toxiques. Ces éléments non essentiels sont : As, Cd, Pb, U, Hg, Sb, Tl et Pu (Aranguren, 2008).

6. Biodisponibilité des métaux lourds

La toxicité d'un métal dépend de sa spéciation (forme chimique) autant que des facteurs environnementaux. Dans le sol, les métaux lourds peuvent exister sous forme d'ion libre ou sous forme liée à des particules de sol. Cependant, un métal n'est toxique pour les organismes vivants que s'il est sous forme libre ; il est alors biodisponible. Comme tout élément chargé positivement, les cations métalliques peuvent interagir dans le sol avec toute particule organique ou minérale chargée négativement. De l'équilibre entre les formes libres et fixées de l'ion va dépendre sa biodisponibilité, directement liée à sa toxicité (Babich *et al.*, 1980 in Aissaoui, 2019).

7. Pollution des sols par des métaux lourds

Un sol est considéré pollué lorsque la dégradation de sa qualité par l'apport anthropique d'élément toxique peut porter atteinte à la santé humaine ou/et à l'environnement. La présence d'un polluant dans le sol n'est pas en soit un danger, le risque apparaît dès que ce polluant peut être mobilisé et agit sur l'environnement (faune, flore) ou sur l'homme. La pollution des sols et sous-sols résulte des conséquences cumulées au cours du temps des diverses activités humaines tant industrielles qu'agricoles, urbaines, militaires etc. Cette contamination trop négligée jusqu'à une époque récente est préoccupante par ses conséquences sanitaire, environnementale et socio-économiques (Benahmed, 2017).

Chapitre 02:

Industrie cimenterie

Chapitre 02 : Industrie cimenterie

1. Procédé de fabrication du ciment

Le processus de fabrication du ciment comporte cinq étapes principales :

1.1. Extraction et pré-homogénéisation des matières premières

Les cimenteries disposent généralement d'une ou plusieurs carrières d'où sont extraites les matières premières. Le calcaire et l'argile sont les principaux matériaux utilisés dans la fabrication du ciment. Le minerai calcaire peut être du carbonate de calcium (CaCO_3), de la dolomite ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ou $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), ou Dioxyde de calcium et de magnésium ($\text{CaO} \cdot \text{MgO}$). Quant à l'argile, elle peut se présenter sous les formes suivantes (Mungyeko Bisulandu et Marias, 2019) :

- Kaolinite : $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot (\text{OH})_4$;
- Halloysite : $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5) \cdot (\text{OH})_4$;
- Montmorillonite : $(\text{Na}, \text{Ca})_{0,3} (\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$;
- Illite ou Phyllosilicates : $\text{K}_{0,65} \text{Al}_2(\text{Al}_{0,65}\text{Si}_{3,35}\text{O}_{10})\text{OH}$;
- Chlorites : $\text{Mg}_5 (\text{Al}, \text{Fe})(\text{OH})_8(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}$;
- Sépiolite : $\text{Mg}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_{22} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;

L'extraction de ces deux matériaux peut se faire dans la même carrière ou dans des carrières différentes. Les calcaires sont extraits des parois rocheuses par dynamitage et/ou pelles mécaniques. Le transport vers les halls de concassage est assuré par des tapis roulants, ou par des bennes de différents tonnages. Après concassage, les calcaires sont stockés dans le hall de stockage des matières premières (calcaire), dont la capacité peut aller jusqu'à plusieurs milliers de tonnes. Pour l'argile, l'extraction se fait le plus souvent par excavation directe (en surface). La préhomogénéisation de l'argile se fait sur le même site d'excavation. Cette opération détermine la nature du clinker recherché (Mungyeko Bisulandu et Marias, 2019).

1.2. Préparation des matières premières

Le matériau est extrait du stock au moyen d'un racleur latéral de récupération, qui se déplace sur des rails sur l'un des côtés longitudinaux du stock. La capacité du racleur de récupération est d'environ 150 tonnes par heure. Les produits extraits sont acheminés par des tapis roulants vers les doseurs de calcaire et d'argile pour ajuster les proportions de calcaire et d'argile. La composition moyenne utilisée est de 80 % de calcaire et 20 % d'argile. Le mélange obtenu est

ensuite envoyé au moulin, afin d'obtenir un mélange homogène appelé cru ou « farine » sous forme de poudre très fine (diamètre inférieur à 200 microns) ayant une composition fixe. La composition du cru reste généralement dans les proportions suivantes (Mungyeko Bisulandu et Marias, 2019) :

- Carbonate de calcium (CaCO_3) : de 77 à 83 %
- Silice (SiO_2) : de 13 à 14%
- Alumine (Al_2O_3) : de 2 à 4%
- Oxyde de fer (Fe_2O_3) : 1,5 à 3 %. (Ce sont les oxydes qui donnent au ciment Portland sa couleur grise).

Dans les installations modernes, le broyeur permet à la fois le séchage et le broyage des matières premières. Ceci est rendu possible par le circuit de gaz chauds du four rotatif. Le broyage des matières premières a fait l'objet d'une meilleure utilisation de l'énergie (Schneider, 2015). Plusieurs types de broyeurs sont utilisés (broyeurs à galets, broyeurs à billes ...), dans lesquels sont disposées des charges à broyer (galets, billes ...) (Mungyeko Bisulandu et Marias, 2019).

Ces broyeurs sont souvent équipés à leur sortie d'un système (criblage) permettant de séparer les fractions suffisamment broyées, de celles insuffisamment broyées. La farine obtenue à cette étape est appelée « farine crue » et est acheminée par transport pneumatique vers les silos de stockage et d'homogénéisation. La farine homogénéisée est souvent appelée dans le langage du ciment « farine de four » (Mungyeko Bisulandu et Marias, 2019).

1.3. Cuisson de la farine et création du clinker

Depuis les silos d'homogénéisation, la farine est extraite au moyen de surpresseurs d'air, et est acheminée par des convoyeurs à vis, puis par des élévateurs à godets jusqu'aux doseurs (qui régulent le débit de farine à envoyer au four). Depuis les doseurs, la farine est acheminée par transport pneumatique vers la tour de préchauffage, où commencent les premières transformations de la farine (Mungyeko Bisulandu et Marias, 2019).

La température d'entrée de la farine dans la tour de préchauffage peut varier de 60 à 80°C. Elle est portée à 900°C dans les échangeurs cycloniques avant d'être amenée à l'entrée du four rotatif. A l'intérieur du four, plusieurs transformations physico-chimiques sont observées, notamment l'effondrement de la structure cristalline de l'argile, la décarbonatation et le clinker (Mungyeko Bisulandu et Marias, 2019).

Comme ordre de grandeur de consommation d'énergie, une valeur moyenne de 3200 kJ/kg de clinker. A la sortie du four, le clinker est encore à très haute température (1200 °C), d'où la nécessité de le refroidir. Le clinker est transporté vers le refroidisseur, où il sort à une température maximale de 200 °C (Mungyeko Bisulandu et Marias, 2019).

1.4. Broyage du clinker et fabrication du ciment

A la sortie du refroidisseur, le clinker est transporté vers le hall de stockage du clinker, dont la capacité peut atteindre plusieurs milliers de tonnes. Depuis le hall de stockage, le clinker est extrait par une tranchée et transporté jusqu'au broyeur à ciment à l'aide de convoyeurs à bande puis d'élévateurs à godets. Les normes cimentières exigent que le broyage soit composé à 97 % de clinker et à 3 % de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Le clinker et le gypse sont alimentés dans le broyeur à l'aide de deux alimentateurs, qui assurent le dosage entre le clinker et le gypse (issu du hall de stockage du gypse) (Mungyeko Bisulandu et Marias, 2019).

1.5. Stockage et expédition du ciment

Depuis le broyeur à ciment, le ciment ainsi produit est acheminé par des conduites pneumatiques jusqu'aux silos de stockage de ciment. La capacité de stockage d'une cimenterie peut aller de quelques tonnes à plusieurs milliers de tonnes. Le ciment est extrait des silos par des extracteurs pneumatiques, qui l'acheminent vers l'atelier d'ensachage, à l'aide de convoyeurs à vis, puis par des élévateurs à godets. L'ensachage du ciment se fait au moyen d'une ensacheuse à débit dont la capacité peut aller de quelques tonnes à plusieurs centaines de tonnes par heure. Le ciment est ainsi placé dans des sacs à valve, généralement constitués de papier pesant 50 kilogrammes. L'expédition du ciment est rendue possible par des toboggans, et par des tapis roulants jusqu'au lieu de chargement des camions et wagons de chemin de fer (Mungyeko Bisulandu et Marias, 2019).

2. Sous produits de la fabrication du ciment

Dans l'industrie du ciment, les principaux rejets vers l'atmosphère sont constitués essentiellement par les gaz de combustion au niveau des fours de cuisson, mais surtout par les émissions de poussières à tous les niveaux de la production du ciment. Le processus de production du clinker qui précède la fabrication du ciment est le processus le plus important dans l'industrie du ciment mais c'est aussi le processus qui produit le plus d'émissions polluantes. Les émissions des fours sont donc responsables des principaux rejets polluants dans l'atmosphère lors du chauffage du calcaire à très haute température (Zouai, 2011).

2.1. Rejets polluants

Dans le four, la température atteint plus de 1400°C, ce qui conduit à l'émission d'une importante quantité d'oxydes d'azote, ainsi que d'autres polluants, tel que le dioxyde de soufre et les poussières. Comme lors de toute combustion, il se forme aussi, dans le four à ciment, du dioxyde de carbone (CO₂). Ainsi donc et en terme de volume les principaux polluants issus de la fabrication du ciment sont : le CO₂, les NO_x, le SO₂ et les poussières. La fabrication du ciment est aussi responsable d'émissions de métaux lourds dans l'air. Les polluants organiques persistants sont également inventoriés: H.A.P (hydrocarbures aromatiques polycycliques) leurs émissions sont liées au phénomène de combustion, les dioxines et furanes (Zouai, 2011).

2.2. Emissions de poussières

Les émissions de poussières sont la partie la plus visible de l'impact environnemental d'une cimenterie, cet impact assez difficilement mesurable, est néanmoins géré avec beaucoup de sérieux par les cimentiers et les pouvoirs publics, très sensibilisés par les problèmes de nuisance leur imposant des conditions draconiennes pour remédier à ce problème (Zouai, 2011).

Il faut souligner que la cimenterie est l'une des industries où la lutte contre les émissions de poussières pose le plus de problèmes puisque, à chaque stade de la fabrication, un ou plusieurs facteurs susceptibles de polluer l'atmosphère intérieure et extérieure entrent en jeu. Les principales sources d'émissions de poussières proviennent essentiellement des fours, là où les rejets sont les plus importants. Mais d'autres stations du procédé sont aussi des sources non négligeables (Zouai, 2011).

3. Normes algériennes de rejet des polluants atmosphériques

Selon l'article 4 du décret exécutif n° 2006-138 du 16 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 15 avril 2006 les installations générant des rejets atmosphériques doivent être conçues, construites et exploitées de manière à éviter, prévenir ou réduire, à la source, leurs rejets atmosphériques qui ne doivent pas dépasser les limites d'émissions fixées en annexe du présent décret (tableau 1).

Tableau 1. Tolérance à certaines valeurs limites des paramètres de rejets atmosphériques
(cimenterie, plâtre et chaux).

Paramètres	Unité	Valeurs limites	Tolérance pour les installations anciennes
Poussières	Mg/Nm ³	30	50
Oxyde de soufre	Mg/Nm ³	500	750
Oxyde d'azote	Mg/Nm ³	1500	1800
Oxyde de carbone	Mg/Nm ³	150	200
Acide fluorhydrique	Mg/Nm ³	5	5
Métaux lourds	Mg/Nm ³	5	10
Fluor	Mg/Nm ³	5	10
Chlorure	Mg/Nm ³	30	50

Deuxième partie :

PARTIE

EXPERIMENTALE

Chapitre 03:

Matériel et méthodes d'étude

Chapitre 03 : Matériels et méthodes d'étude

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique

La zone d'étude se trouve dans la ville de Biskra, située à 34°48' latitude nord et 5°44' longitude est dans le nord-est de l'Algérie comme le montre la figure 4, à la frontière nord du désert du Sahara. Selon la classification Koppen-Geiger, la ville de Biskra a un climat désertique chaud, qui se caractérise par des étés extrêmement chauds et des hivers modérés (Qaoud *et al.*, 2023).

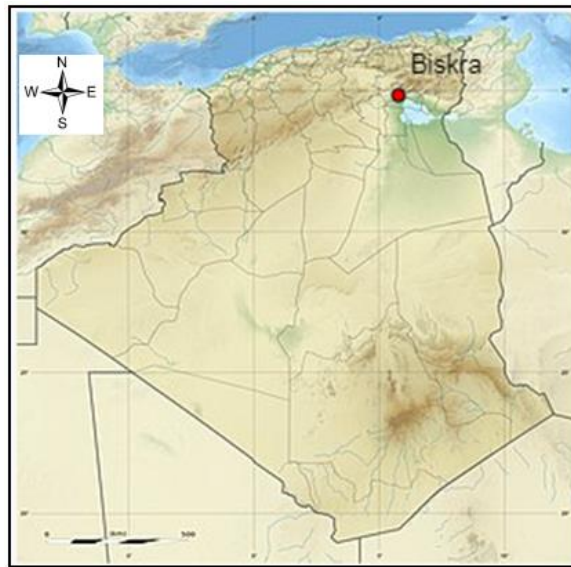


Figure 4. Situation de la ville de Biskra en Algérie (Site web 1).

L'étude a été réalisée dans la région de Branis (35° 00' 00" nord, 5° 46' 30" est) ; située au nord de la wilaya de Biskra à une distance d'environ 18 km à une superficie de 374,65 km². Branis est une commune à caractère agricole avec notamment le développement des zones de Bougatou, Dar-Arouss, Jar-Belahreche et Chicha. La commune connaît aussi un développement industriel très important, notamment avec la mise en production de plusieurs briqueteries, cimenterie et d'autres usines de fabrication de papier et de plastique (Site web 2).

La figure 5 montre l'emplacement de la commune de Branis choisis pour mener cette étude.



Figure 5. Localisation de la commune de Branis dans la wilaya de Biskra (Site web 3).

1.2. Etude climatique

Le climat est une succession régulière, sur une longue période, de type de temps (précipitations, température, pression atmosphérique, vents, etc.), pour une région donnée (petite ou grande) (Dutuit et Gorenflot, 2008). L'étude est basée sur le traitement et l'analyse des paramètres climatiques, principalement les précipitations, la température, les vents, l'humidité relative (d'après les données climatiques mentionnées dans l'étude de Belhadj, (2023) issues de la station météorologie de Biskra ; cette station aéroportuaire appartient au réseau de l'Office algérien de météorologie) et l'ensoleillement (d'après les données climatiques de l'office national de météorologie mentionnées dans l'étude de Bouchemal, (2017)) ainsi que leur évolution dans le temps durant une période d'observation, afin de déterminer les caractéristiques climatiques de notre région.

1.2.1. Précipitations

D'après les valeurs de la pluviométrie moyenne mensuelles présentées dans la figure 6 on remarque que les précipitations sont très faibles et irrégulières. La moyenne annuelle relevée pendant 32 ans (1987- 2019) est de 152,26 mm. Des précipitations moyennes de 3,06 mm font du mois d'août le mois le plus sec. En septembre, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 24,09 mm (Belhadj, 2023).

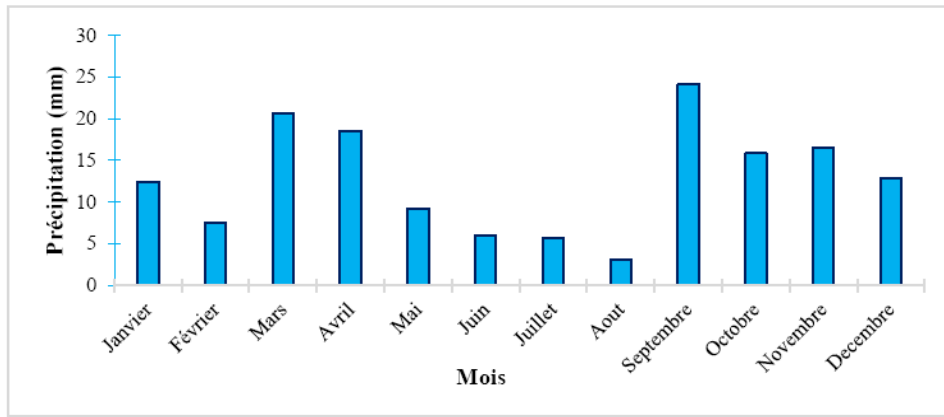


Figure 6. Précipitation moyenne mensuelles en (mm) de la région de Biskra durant la période 1987 – 2019 (Belhadj, 2023).

1.2.2. Températures

La variation de la température agit directement sur le phénomène d'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier (Bouchemal, 2017). On dispose des données de température moyenne mensuelles de la région de Biskra durant la période (1987 - 2019) (figure 7).

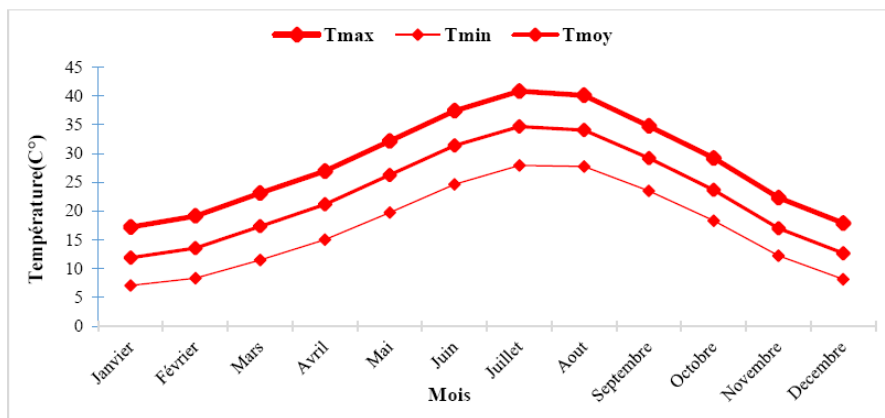


Figure 7. Températures moyennes mensuelles (maximales, moyennes et minimales) en (°C) de la wilaya de Biskra durant la période (1987 - 2019) (Belhadj, 2023).

D'après ces données climatiques, on constate deux périodes, la température décroît du mois de Juillet qui est le mois le plus chaud de l'année dont la température moyenne est d'environ 34 °C jusqu'au mois de Janvier (12 °C) le mois le plus froid de l'année. La deuxième période se commence par une augmentation de la température d'environ 13,8 °C en Février à 34 °C en Juillet (Belhadj, 2023).

1.2.3. Vents

Dans les régions arides les vents ont joué et jouent un rôle primordial dans la formation des reliefs et des sols, dans la dégradation de la végétation et la destruction des sols (Aissaoui, 2019). Les vents sont relativement fréquents au printemps et en été (Bouchemal, 2017), ce sont surtout les vents de sable venant du Sud - Ouest qui sont les plus dominants (Aissaoui, 2019).

La vitesse maximale des vents est enregistrée au mois d'Avril (19,86 km/h) (figure 8), tandis que, la vitesse la plus faible est enregistrée en décembre (12,96 km/h) (Belhadj, 2023).

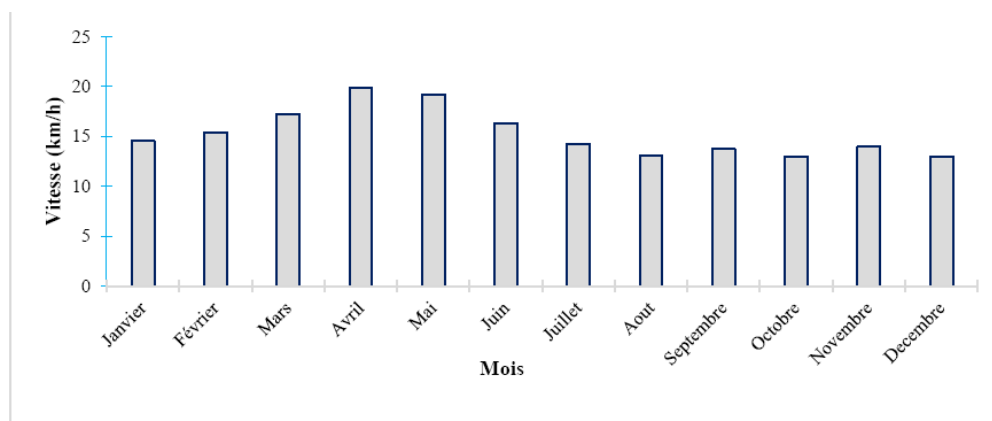


Figure 8. Vitesse moyenne mensuelle des vents en (km/h) de la région de Biskra durant la période (1987 - 2019) (Belhadj, 2023).

1.2.4. Humidité relative

La figure 9 montre que le taux de l'humidité relative est faible varie en fonction des mois par les effets des températures élevées. Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative de la région de Biskra sont généralement inférieures à 60 %, elles varient entre 25,70 % et 57,68 %. Le mois de Juillet est le mois le plus sec alors que le mois de Décembre est le mois le plus humide.

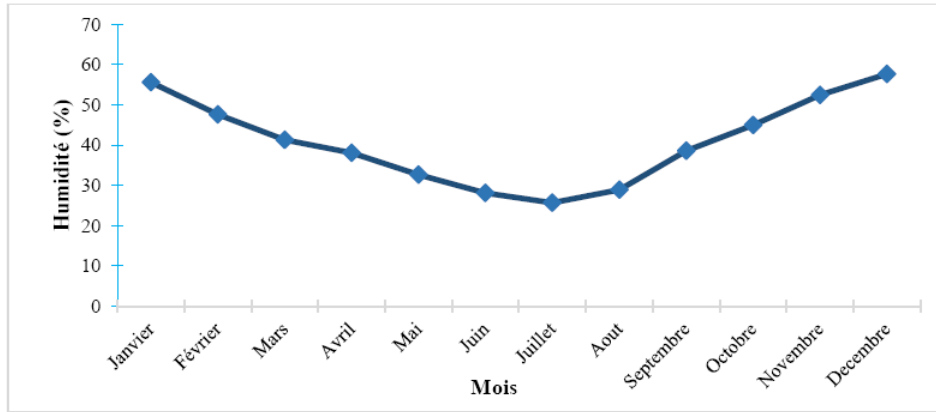


Figure 9. Taux d'humidité relative moyenne mensuelle en (%) de la région de Biskra durant la période (1987 - 2019) (Belhadj, 2023).

1.2.5. Ensoleillement

La radiation solaire est importante dans la région car l'atmosphère présente une grande clarté durant toute l'année (Abdessalem et Halitim, 2014). D'après les données climatiques de l'office national de météorologie durant la période 1988 - 2010 le nombre moyen d'heures d'ensoleillement varie de 214 h/mois en Décembre à 356 heures au mois de Juillet pendant la période estivale (Juin - Août), la région de Biskra reçoit plus de 100 heures par mois (Bouchemal, 2017).

1.2.6. Classement du climat

1.2.6.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN met en évidence la notion des saisons humide et sèche. La figure 10 présente en abscisse les mois et en ordonnée à droite les températures (T) et à gauche les précipitations (P), selon la formule $P = 2T$.

GAUSSEN considère qu'il y a une sécheresse lorsque les précipitations mensuelles exprimées en millimètres sont inférieures au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degrés Celsius.

L'aire comprise entre la courbe des précipitations et des températures représente les périodes sèches. A Biskra, l'analyse du diagramme de la période allant de 1987 à 2019, ont mis en évidence que la période sèche s'étale sur la totalité de l'année, avec une forte chaleur en juin, juillet et août (figure 10).

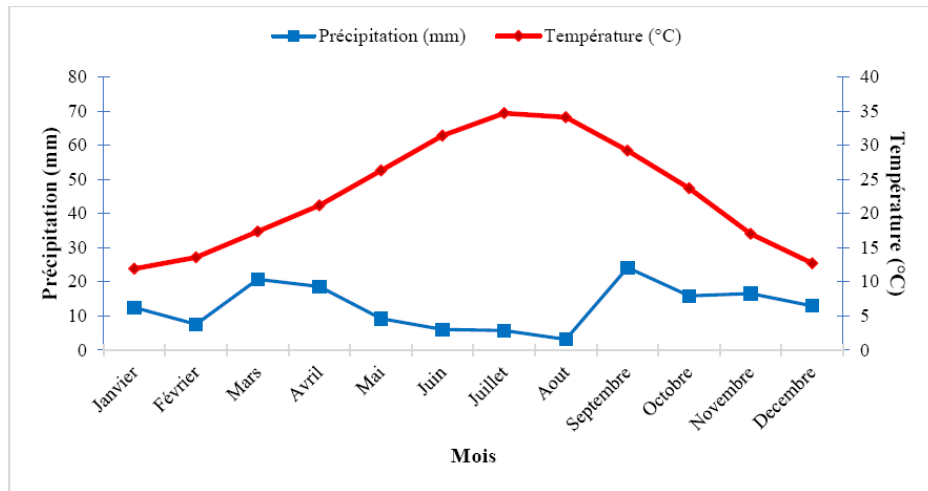


Figure 10. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Biskra durant la période (1987 - 2019) (Belhadj, 2023).

1.2.6.2. Climagramme d'EMBERGER

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER "Q₂" spécifique au climat méditerranéen permet de situer l'étage bioclimatique de la zone d'étude.

Pour déterminer ce quotient, nous avons utilisé la formule de Stewart (1968) qui se présente comme suit :

$$Q_2 = 3,43 \cdot (P / M - m)$$

Où :

Q₂: Quotient pluviométrique d'EMBERGER de la période (1987 - 2019),

P : Précipitation annuelles en (mm),

M : Température moyenne maximale du mois le plus chaud en (°C),

m : Température moyenne minimale du mois le plus froid en (°C).

D'après les données climatiques de la région de Biskra pour la période de 1987 à 2019 avec P=152,26 mm, M = 40,83 °C et m = 7,07 °C (Belhadj, 2023), la valeur de Q₂= 15,47 estimée a permis de situer la région de Biskra dans l'étage bioclimatique aride à hiver tempéré (figure 11).

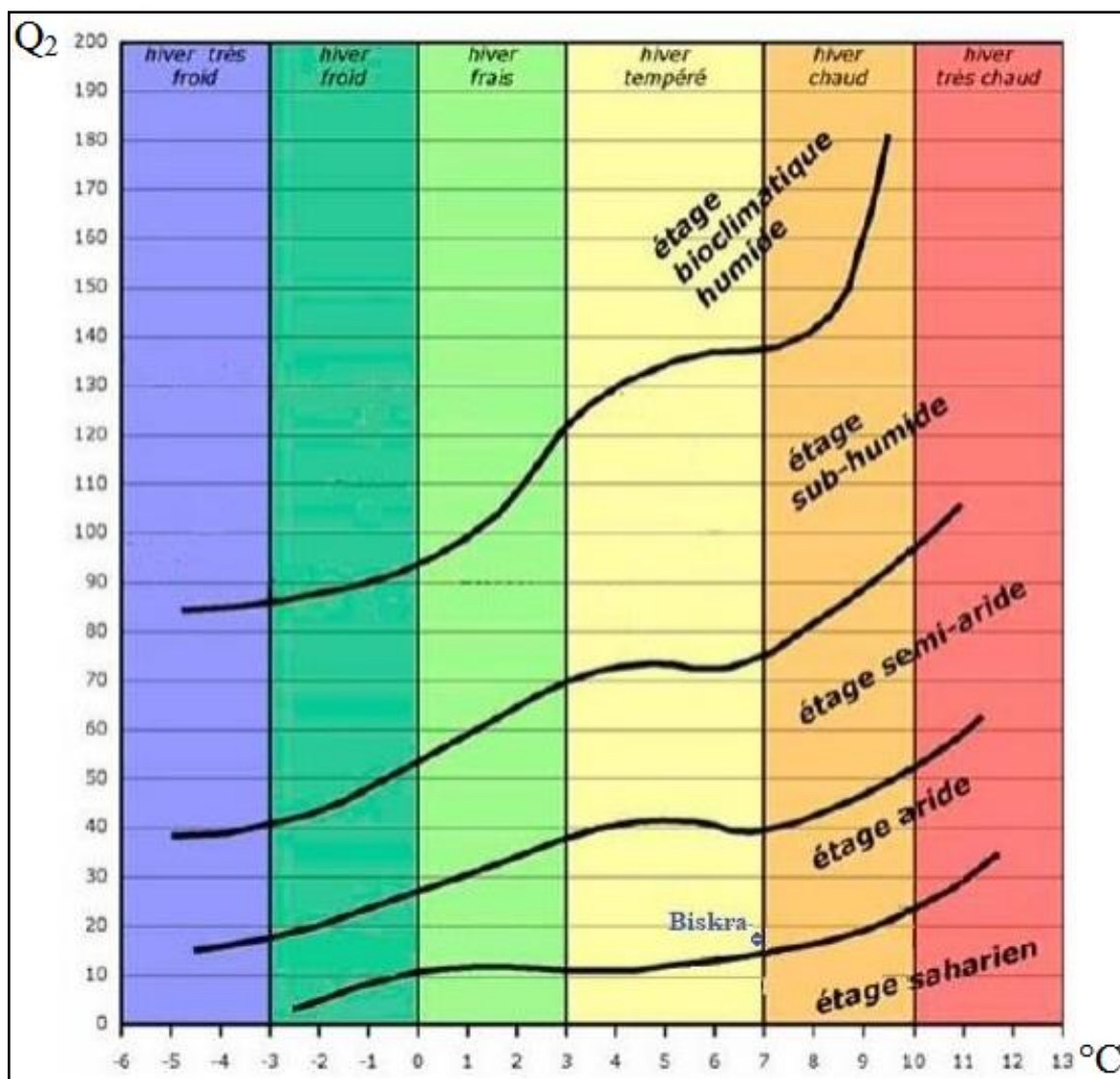


Figure 11. Situation de la région de Biskra dans le climagramme d'EMBERGER selon les données de la période (1987 - 2019) (Belhadj, 2023).

1.3. Situation de la zone d'étude

L'étude a été menée pour évaluer le niveau de contamination du sol par les métaux lourds autour de la société des ciments Biskria Ciment. Biskria Ciment est une société par action (S.P.A), privée de droit algérien qui a été créée en janvier 2009 (Site web 4). Entrée de la première ligne en production d'une capacité de 1 million de tonne/an (D'après Canal Algérie 1). Elle est composée d'une seule entité située au siège de la société. Couvrant une superficie de 100 hectares, la cimenterie se trouve à 18 km au Nord-est du chef-lieu de la wilaya de Biskra, dont elle porte le nom, et à 5 km au Sud de la commune de Branis (figure 12). Elle tire ses principales matières premières à partir du gisement de djebel M'hor pour le calcaire, situé à environ 2 km et Etaref pour l'argile, situé à 15 km (Site web 4).

La vision de cette cimenterie dans le domaine du développement durable et de l'écologie est d'être l'une des entreprises les moins polluantes au niveau national avec une maîtrise des consommations énergétiques de tout type afin d'assurer un développement durable et de préserver les ressources naturelles pour les générations futures (Site web 5).

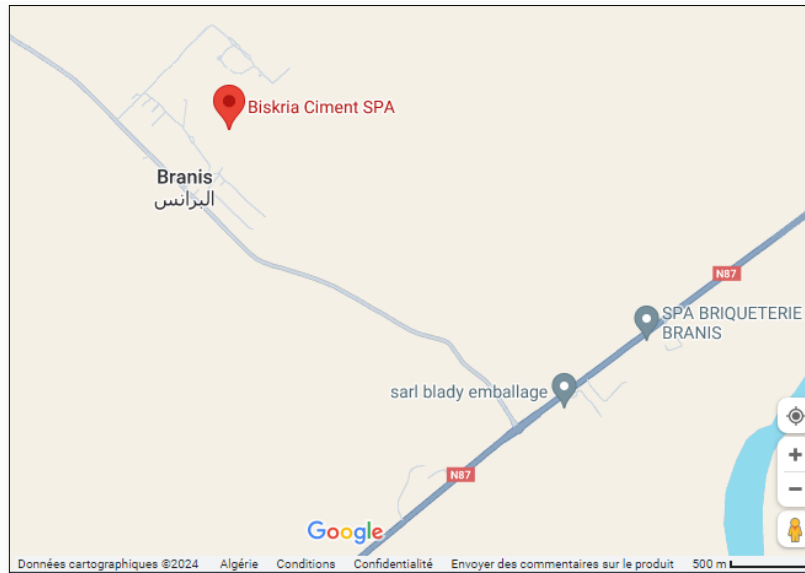


Figure 12. Localisation de Biskria Ciment SPA dans la commune de Branis (Site web 6).

Afin d'évaluer l'impact de l'industrie cimenterie sur la pollution du sol par les métaux lourds, différents sites d'échantillonnage ont été choisis aléatoirement autour de la cimenterie.

2. Prélèvement des échantillons du sol

Pour étudier la présence des métaux lourds dans le sol, l'échantillon a été effectué dans la couche superficielle du sol (0-10 cm) sur différents sites autour de la cimenterie dans la région de Branis (figure 13).

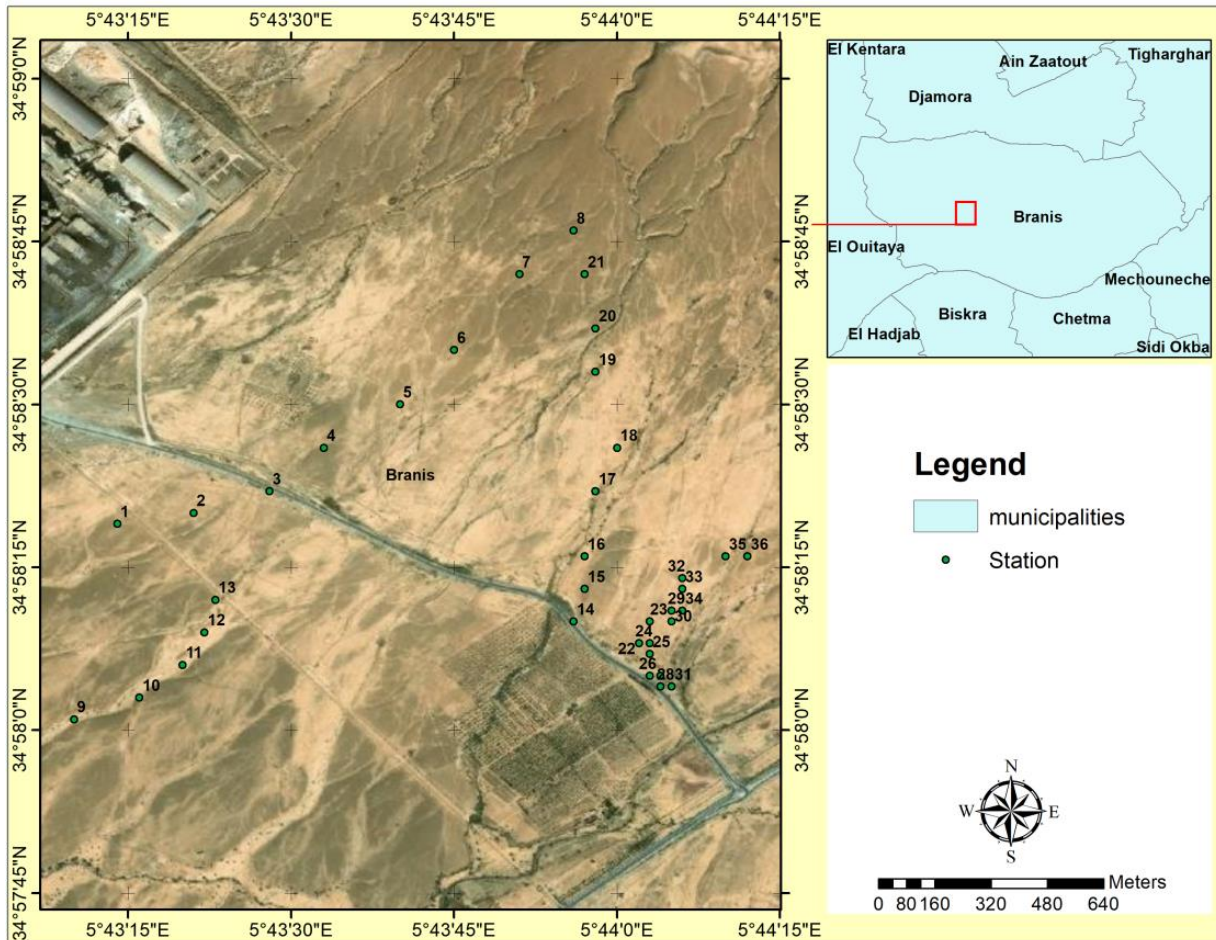


Figure 13. Localisation des sites de prélèvement du sol.

Pour chaque site d'échantillonnage, une quantité suffisante de sol a été prélevée à l'aide d'une pelle à main. Plusieurs prélèvements ont été effectués pour obtenir un résultat fiable ; on a prélevé trente-six échantillons de sol. Les échantillons prélevés sont conservés dans des sacs en plastique propres bien fermés dans un endroit sec et propre jusqu'à leur arrivée au laboratoire.

Les échantillons du sol prélevés portent les informations suivantes: date de prélèvement, repérage géographique (coordonnées par GPS), tout renseignement complémentaire permettant de ne pas confondre l'échantillon avec un autre prélevé dans des conditions similaires. Le prélèvement a eu lieu le 27 octobre 2023 à 8 h 47 et le 04 novembre 2023 à 9 h 33.

3. Méthodes d'étude

Pour la réalisation de cette étude, les métaux lourds ciblés qui sont considérés comme indicateurs de pollution sont le manganèse, le zinc et le plomb.

Notre partie expérimentale a été réalisée au niveau du laboratoire pédagogique du département des sciences agronomiques à l'université Mohamed Khider de Biskra et au niveau du laboratoire du Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides "Omar El-Bernaoui" (C.R.S.T.R.A.) de la wilaya de Biskra.

3.1. Préparation mécanique de l'échantillon du sol

Les échantillons du sol prélevés sont déjà secs. Pour nous obtenir un échantillon représentatif, nous avons appliqué les procédés mécaniques suivants :

3.1.1. Broyage

C'est une méthode qui consiste à réduire les tailles des grains à une granulométrie assez fine afin de favoriser la mise en solution lors de l'analyse chimique. L'opération de broyage a été réalisée manuellement.

3.1.2. Tamisage

La deuxième étape est réservée pour le tamisage des échantillons prélevés à l'aide d'un tamis à 2 mm de diamètre. Le tamisage permet de séparer les matériaux en fonctions granulaires définies par la côte de la maille carrée du tamis.

3.2. Analyse du manganèse, du zinc et du plomb par l'acétate d'ammonium en présence d'EDTA

3.2.1. Principe

L'extraction des formes solubles du cuivre, du manganèse et du zinc est réalisée par une solution mixte l'acétate d'ammonium et d'acide éthylènediamine tétraacétique, sel disodique dihydraté (EDTA), à pH = 7 dans un rapport prise d'essai sur solution égal à 1/10 (m/v). Le dosage des éléments présents dans la solution d'extraction s'effectue par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Cette méthode conduit à estimer la quantité d'oligoéléments précités susceptibles d'être assimilables par les végétaux.

Outre les éléments cités, il est aussi possible de doser également d'autres métaux tels que le fer, le plomb, le cadmium, le chrome et le nickel (Mathieu et Pieltain, 2003).

3.2.2. Préparation de l'échantillon de sol

Pour une analyse chimique, l'analyte, qui désigne l'espèce à doser, doit être en quantité suffisante et sous une forme qui conviennent à l'instrument utilisé. La plupart des échantillons

nécessitent donc un pré-traitement spécifique. Cette étape qui fait suite à l'échantillonnage proprement dit, est consommatrice de temps (Rouessac *et al.*, 2016).

En respectant l'ensemble des règles de propreté de manière à éviter toute contamination. Pour la préparation des échantillons, nous avons utilisé la solution d'extraction EDTA à température de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ où le pH a été ajusté à $7,00 \pm 0,05$ par ajout de la solution d'ammoniaque (NH_3) à 1 mol.L^{-1} .

Au moment de l'emploi, 5 g d'échantillon de sol sont mis en suspension dans 50 ml de solution d'extraction EDTA en bouchant hermétiquement sans attendre et en agitant vigoureusement de manière à bien disperser la terre. Après agitation, le mélange est centrifugé à 2000 tr/min pendant 10 minutes. Pour avoir un liquide translucide exempt de toutes impuretés, nous avons filtré le surnageant par un papier filtre. Le surnageant récupéré représente l'échantillon à analyser pour détecter la présence de métaux lourds visés par cette étude (le zinc, le manganèse et le plomb) par spectrométrie d'absorption atomique.

D'autre part, il est absolument nécessaire de réaliser durant une série d'analyse un témoin afin d'éviter l'effet éventuel de toute sorte d'impuretés pouvant exister notamment dans les réactifs sur les résultats ultérieurs. Ces analyses du témoin consistent à suivre les différentes étapes de la méthode, mais en l'absence de l'échantillon du sol à analyser.

3.2.3. Dosage par spectrométrie d'absorption atomique (SAA)

Le dosage des éléments par ces méthodes implique que l'on puisse relier leur concentration à l'intensité de l'absorption ou de l'émission lumineuse correspondante. Les méthodes font appel aux protocoles classiques avec établissement d'une courbe d'étalonnage à partir de solutions synthétiques de concentration croissante en analyse (Rouessac *et al.*, 2016).

3.2.3.1. Elaboration de la courbe d'étalonnage

Pour la détermination des métaux lourds (le manganèse, le zinc et le plomb), des solutions étalons de l'analyte à différentes concentrations ont été préparées en diluant la solution mère (1 000 mg/l) pour chaque élément avec de l'eau bidistillée (tableau 2).

Tableau 2. Concentrations des solutions étalons.

Numéro de la fiole jaugée Concentrations	1	2	3	4	5
Mn (mg.L⁻¹)	0,1	0,2	0,5	1	2
Zn (mg.L⁻¹)	0,1	0,2	0,5	0,75	1
Pb (mg.L⁻¹)	1	2	5	10	20

Après la lecture des solutions étalons du manganèse, du zinc et du plomb au spectrophotomètre d'absorption atomique couplé au logiciel WinLab 32 en utilisant les longueurs d'onde suivantes : Mn = 279,48 nm ; Zn = 213,86 nm et Pb = 283,31 nm, nous avons obtenu les courbes d'étalonnage pour chaque élément. L'axe des X étant l'absorbance et l'axe des Y les concentrations en Mn, Zn et Pb (mg.L⁻¹).

3.2.3.2. Dosage des éléments trace métalliques

Après le réglage du spectrophotomètre d'absorption atomique, nous avons passé successivement les solutions étalons, les échantillons et le témoin et nous avons noté toutes les valeurs obtenues. Après chaque mesure, nous avons rincé avec la solution d'extraction.

3.3. Calculs

$$T(\mu\text{g/g}) = \frac{(C - C1) \cdot V}{S} = 10 (C - C1)$$

Où T : Mn, Zn ou Pb,

C : concentration de l'élément déterminée par la courbe d'étalonnage (μg.ml⁻¹),

C1 : concentration du témoin déterminée par la courbe d'étalonnage (μg.ml⁻¹),

S : poids de la prise de terre en g (5g),

V : volume d'extraction en ml (50 ml).

3.4. Analyse statistique

En analyse chimique comme dans beaucoup d'autres sciences, les méthodes statistiques sont incontournables (Rouessac *et al.*, 2016). Nous avons appliqué un traitement statistique pour toutes les données par Excel 2016 qui propose un éventail d'outils pour décrire numériquement et graphiquement des données.

Chapitre 04 :

Résultats et discussion

Chapitre 04 : Résultats et discussion

1. Teneur en métaux lourds dans les sites de prélèvement

Chaque échantillon a été analysé en triple pour garantir la qualité des données des échantillons destinés à l'étude. Les solutions étalons et le témoin ont été analysés en utilisant la même procédure.

Les résultats de la teneur en Zn, Mn et Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$) obtenus pour chaque site sont présentés dans les tableaux (3, 4, 5). Des statistiques descriptives (moyenne, minimum et maximum) ont été déterminées pour toutes les données. De plus, les limites réglementaires selon l'Agence Française de Normalisation (AFNOR, 1996) ont été rapportées.

1.1. Zinc

Le zinc est naturellement présent dans tous les sols à des concentrations de fond typiques de 10 à 100 mg.kg^{-1} . Les activités humaines ont enrichi les couches arables en zinc grâce aux dépôts atmosphériques, à la fertilisation et à l'application de boues d'épuration (Alloway, 2013). Le zinc est un élément essentiel et indispensable pour l'ensemble des organismes vivants (Sellal, 2018).

Les emplacements des sites d'échantillonnage ont été préalablement sélectionnés à l'aide du GPS. Les résultats de la teneur en zinc de trente-six échantillons prélevés de la couche superficielle du sol (0-10 cm) sont présentés dans le tableau 3 :

Tableau 3. Teneur en Zn ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dans les échantillons du sol prélevés.

Sites	Position		Altitude m	Zn ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
	N	E		
1	34°58'19"	5°43'14"	233,45	0,46
2	34°58'20"	5°43'21"	235,8	0,29
3	34°58'22"	5°43'28"	238,25	0,21
4	34°58'26"	5°43'33"	240,27	0,14
5	34°58'30"	5°43'40"	246,08	0,31
6	34°58'35"	5°43'45"	249,3	0,69
7	34°58'42"	5°43'51"	257,16	0,65
8	34°58'46"	5°43'56"	257,85	0,13
9	34°58'01"	5°43'10"	226,55	0,56
10	34°58'03"	5°43'16"	228,21	0,54
11	34°58'06"	5°43'20"	232,39	0,42
12	34°58'09"	5°43'22"	232,58	0,67
13	34°58'12"	5°43'23"	235,97	0,33
14	34°58'10"	5°43'56"	241,5	0,87
15	34°58'13"	5°43'57"	241,7	0,46
16	34°58'16"	5°43'57"	241,53	0,66
17	34°58'22"	5°43'58"	246,72	0,94
18	34°58'26"	5°44'00"	247,84	1,05
19	34°58'33"	5°43'58"	252,1	1,05
20	34°58'37"	5°43'58"	255,19	1,28
21	34°58'42"	5°43'57"	257,78	2,56
22	34°58'08"	5°44'02"	243,14	0,55
23	34°58'10"	5°44'03"	242,35	0,40
24	34°58'08"	5°44'03"	241,88	1,49
25	34°58'07"	5°44'03"	241,63	1,65
26	34°58'05"	5°44'03"	239,86	0,96
27	34°58'05"	5°44'04"	239,8	0,98
28	34°58'04"	5°44'04"	239,65	1,07
29	34°58'11"	5°44'05"	242	1,30
30	34°58'10"	5°44'05"	242,05	1,21
31	34°58'04"	5°44'05"	240,05	1,08
32	34°58'14"	5°44'06"	243,15	1,23
33	34°58'13"	5°44'06"	242,86	1,34
34	34°58'11"	5°44'06"	241,85	0,88
35	34°58'16"	5°44'10"	244,71	1,08
36	34°58'16"	5°44'12"	245,33	1,35
Minimum				0,130
Maximum				2,560
Moyenne				0,856
Limite réglementaire (AFNOR, 1996)				300

La teneur moyenne ($0,856 \mu\text{g.g}^{-1}$) trouvée dans cette étude est nettement inférieure à celle retenue par la valeur seuil ($300 \mu\text{g.g}^{-1}$) de l'Agence Française de Normalisation (AFNOR, 1996).

D'après l'histogramme obtenu à partir des résultats des concentrations du zinc des sites de prélèvement du sol autour de la cimenterie dans la région de Branis (figure 14), le Zn varie de 0,130 à 2,560 $\mu\text{g.g}^{-1}$ dans les échantillons du sol prélevés. La valeur la plus faible a été observée pour le site 8 et la plus élevée pour le site 21.

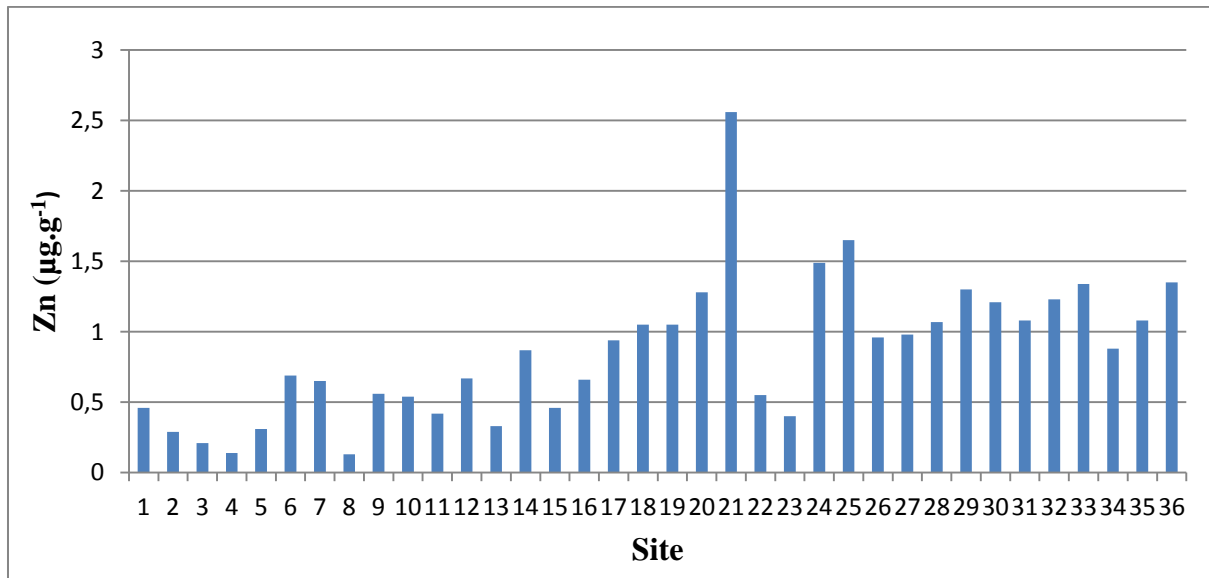


Figure 14. Teneur en zinc ($\mu\text{g.g}^{-1}$) des sites de prélèvement du sol dans la région de Branis.

La teneur moyenne en zinc ($0,856 \mu\text{g.g}^{-1}$) n'est pas alarmante parce que selon les lignes directrices généralisées pour l'interprétation des données d'analyse des sols (Estefan *et al.*, 2013) le résultat obtenu en zinc est présent dans la marginale ($0,5-1,0 \text{ ppm}$) (où $1 \text{ ppm} = 1 \mu\text{g.g}^{-1}$).

La teneur moyenne en zinc enregistrée dans cette étude ($0,856 \mu\text{g.g}^{-1}$) a été comparée avec d'autre étude sur la pollution par le zinc. Nous avons constaté qu'elle était inférieure à celle signalée à Pékin ($57,21 \mu\text{g.g}^{-1}$) (Wang *et al.*, 2018).

1.2. Manganèse

Le manganèse (Mn) est un métal présent naturellement dans l'air, l'eau, le sol et dans les systèmes vivants (Prabhakaran *et al.*, 2009). C'est un oligoélément indispensable au fonctionnement normal d'un grand nombre de processus physiologiques (Sellal, 2018).

D'après le tableau 4 ci-dessous, les teneurs en manganèse fluctuent entre un minimum de $0,48 \mu\text{g.g}^{-1}$ et un maximum de $6 \mu\text{g.g}^{-1}$ avec une moyenne de $2,868 \mu\text{g.g}^{-1}$.

Tableau 4. Teneur en Mn ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dans les échantillons du sol prélevés.

Sites	Position		Altitude m	Mn ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
	N	E		
1	34°58'19"	5°43'14"	233,45	3,01
2	34°58'20"	5°43'21"	235,8	2,74
3	34°58'22"	5°43'28"	238,25	1,94
4	34°58'26"	5°43'33"	240,27	2,42
5	34°58'30"	5°43'40"	246,08	3,31
6	34°58'35"	5°43'45"	249,3	4,94
7	34°58'42"	5°43'51"	257,16	5,81
8	34°58'46"	5°43'56"	257,85	2,02
9	34°58'01"	5°43'10"	226,55	6,00
10	34°58'03"	5°43'16"	228,21	4,45
11	34°58'06"	5°43'20"	232,39	4,10
12	34°58'09"	5°43'22"	232,58	2,98
13	34°58'12"	5°43'23"	235,97	4,02
14	34°58'10"	5°43'56"	241,5	2,67
15	34°58'13"	5°43'57"	241,7	2,32
16	34°58'16"	5°43'57"	241,53	4,83
17	34°58'22"	5°43'58"	246,72	1,72
18	34°58'26"	5°44'00"	247,84	1,44
19	34°58'33"	5°43'58"	252,1	1,75
20	34°58'37"	5°43'58"	255,19	2,59
21	34°58'42"	5°43'57"	257,78	4,01
22	34°58'08"	5°44'02"	243,14	2,61
23	34°58'10"	5°44'03"	242,35	2,36
24	34°58'08"	5°44'03"	241,88	2,97
25	34°58'07"	5°44'03"	241,63	3,52
26	34°58'05"	5°44'03"	239,86	2,09
27	34°58'05"	5°44'04"	239,8	2,58
28	34°58'04"	5°44'04"	239,65	2,99
29	34°58'11"	5°44'05"	242	0,48
30	34°58'10"	5°44'05"	242,05	1,64
31	34°58'04"	5°44'05"	240,05	1,09
32	34°58'14"	5°44'06"	243,15	2,45
33	34°58'13"	5°44'06"	242,86	2,68
34	34°58'11"	5°44'06"	241,85	2,30
35	34°58'16"	5°44'10"	244,71	2,15
36	34°58'16"	5°44'12"	245,33	2,28
Minimum				0,48
Maximum				6
Moyenne				2,868
Limite réglementaire (AFNOR, 1996)				-

D'après l'histogramme obtenu à partir des résultats de la teneur en manganèse ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dans les échantillons du sol prélevés autour de la cimenterie dans la région de Branis (figure 15), la valeur la plus faible en Mn a été observée pour le site 29 et la plus élevée pour le site 9.

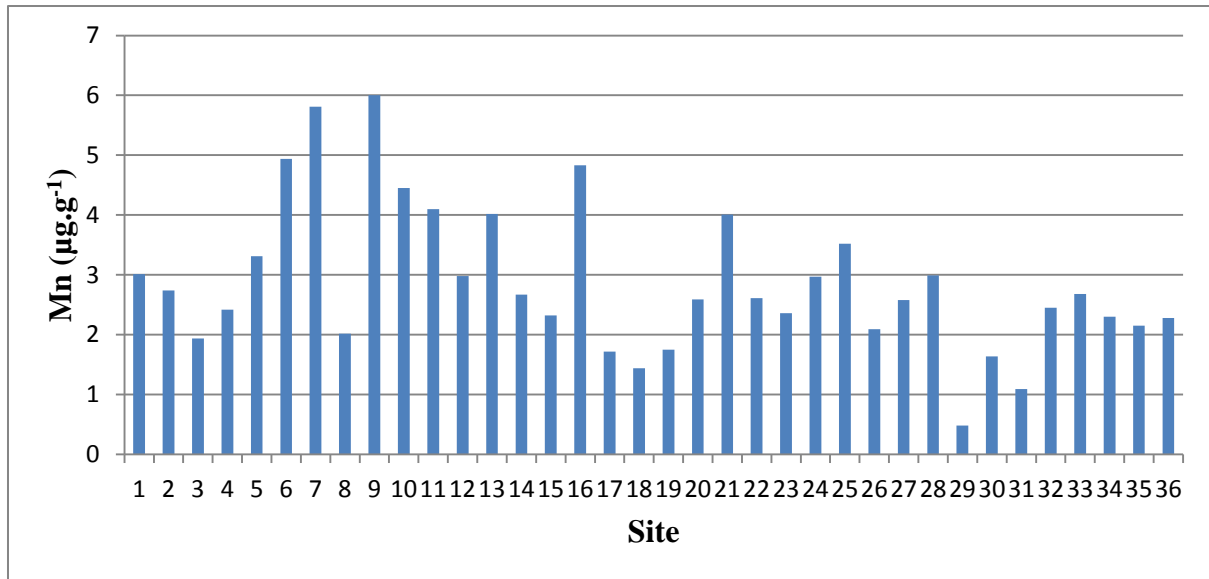


Figure 15. Teneur en manganèse ($\mu\text{g.g}^{-1}$) des sites de prélèvement du sol dans la région de Branis.

La teneur moyenne en manganèse ($2,868 \mu\text{g.g}^{-1}$) n'est pas alarmante parce que selon les lignes directrices généralisées pour l'interprétation des données d'analyse des sols (Estefan *et al.*, 2013) notre résultat est adéquat ($>2,0 \text{ ppm}$) où la marginale est de 1,0 à 2,0 ppm (1 ppm = $1 \mu\text{g.g}^{-1}$).

En comparant notre résultat avec celui des échantillons du sol collectés à proximité d'autres cimenteries, la teneur moyenne en Mn dans notre étude ($2,868 \mu\text{g.g}^{-1}$) était bien inférieure au résultat de Bermudez *et al.* (2010), qui ont étudié les concentrations de métaux lourds mesurées dans les sols arables aux environs d'une cimenterie à Cordoue, en Argentine (Mn = $281 \mu\text{g.g}^{-1}$) ayant été très élevées. De plus, la concentration moyenne du Mn dans le sol entourant une cimenterie à Pékin était plus élevée ($374.19 \mu\text{g.g}^{-1}$) (Wang *et al.*, 2018).

1.3. Plomb

Le plomb est un métal lourd largement utilisé dans les activités métallurgiques, c'est un polluant environnemental qui se trouve surtout dans les poussières et les peintures des habitats anciens et dégradés, les sols au voisinage des sites industriels (fonderies, usines de fabrication et de recyclage de batteries) et dans les zones de fort trafic automobile. Une fois extrait, transformé par procédé industriel puis introduit dans l'environnement, il représente un danger potentiel permanent. Dans l'environnement, presque tout le plomb provient de l'activité humaine. Les sources naturelles de plomb atmosphérique incluent : l'érosion éolienne des sols, les poussières volcaniques, les incendies de forêts (Sellal, 2018).

Le plomb n'est pas un élément essentiel ni pour la croissance des plantes ni celle des animaux et ne participe à aucun métabolisme cellulaire. Le risque d'exposition le plus important provient des produits et procédés mis au point par l'homme (Sellal, 2018).

L'étude statistique révèle que les concentrations en Pb sont comprises entre un minimum de $0,18 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ et un maximum de $4,28 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ avec une moyenne de $1,458 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (tableau 5).

Tableau 5. Teneur en Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dans les échantillons du sol prélevés.

Sites	Position		Altitude m	Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
	N	E		
1	34°58'19"	5°43'14"	233,45	0,20
2	34°58'20"	5°43'21"	235,8	0,18
3	34°58'22"	5°43'28"	238,25	1,69
4	34°58'26"	5°43'33"	240,27	0,45
5	34°58'30"	5°43'40"	246,08	0,81
6	34°58'35"	5°43'45"	249,3	0,53
7	34°58'42"	5°43'51"	257,16	1,01
8	34°58'46"	5°43'56"	257,85	0,50
9	34°58'01"	5°43'10"	226,55	1,92
10	34°58'03"	5°43'16"	228,21	2,13
11	34°58'06"	5°43'20"	232,39	1,62
12	34°58'09"	5°43'22"	232,58	1,05
13	34°58'12"	5°43'23"	235,97	1,92
14	34°58'10"	5°43'56"	241,5	0,56
15	34°58'13"	5°43'57"	241,7	0,34
16	34°58'16"	5°43'57"	241,53	1,15
17	34°58'22"	5°43'58"	246,72	2,03
18	34°58'26"	5°44'00"	247,84	0,66
19	34°58'33"	5°43'58"	252,1	1,11
20	34°58'37"	5°43'58"	255,19	0,38
21	34°58'42"	5°43'57"	257,78	4,28
22	34°58'08"	5°44'02"	243,14	2,37
23	34°58'10"	5°44'03"	242,35	2,19
24	34°58'08"	5°44'03"	241,88	2,21
25	34°58'07"	5°44'03"	241,63	1,38
26	34°58'05"	5°44'03"	239,86	1,75
27	34°58'05"	5°44'04"	239,8	2,72
28	34°58'04"	5°44'04"	239,65	1,73
29	34°58'11"	5°44'05"	242	0,65
30	34°58'10"	5°44'05"	242,05	0,80
31	34°58'04"	5°44'05"	240,05	1,59
32	34°58'14"	5°44'06"	243,15	1,50
33	34°58'13"	5°44'06"	242,86	2,86
34	34°58'11"	5°44'06"	241,85	1,89
35	34°58'16"	5°44'10"	244,71	2,64
36	34°58'16"	5°44'12"	245,33	1,72
Minimum				0,18
Maximum				4,28
Moyenne				1,458
Limite réglementaire (AFNOR, 1996)				100

D'après l'histogramme obtenu à partir des résultats de la teneur en plomb de nos échantillons du sol autour de la cimenterie dans la région de Branis (figure 16), la valeur la plus faible pour le Pb a été observée pour le site 2 et la plus élevée pour le site 21.

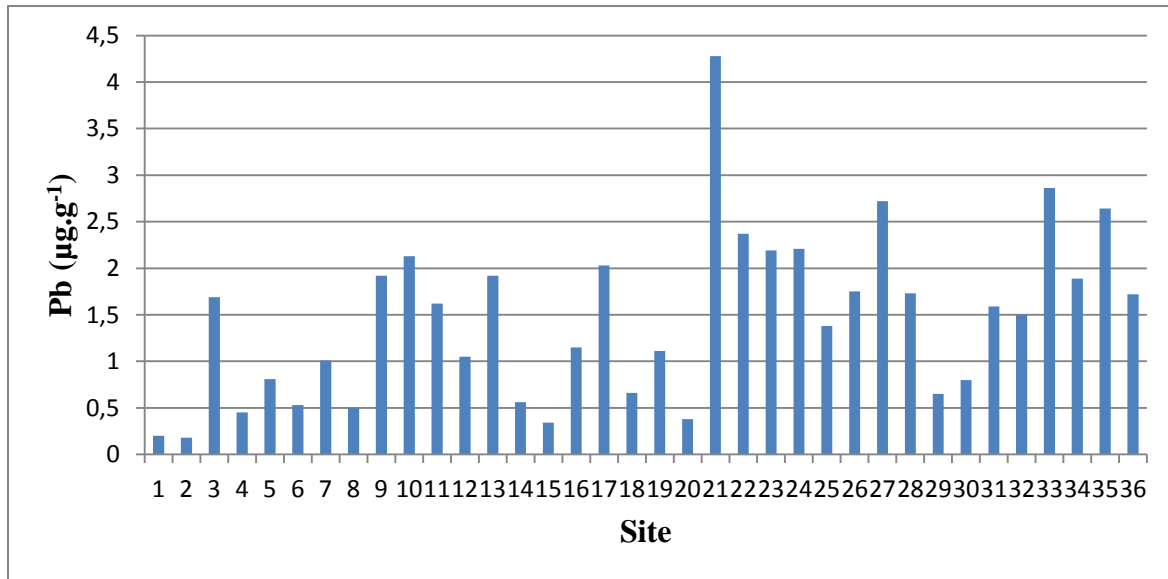


Figure 16. Teneur en plomb ($\mu\text{g.g}^{-1}$) des sites de prélèvement du sol dans la région de Branis.

La teneur en plomb ne dépasse pas la norme établie ($100 \mu\text{g.g}^{-1}$) et elle est très faible par rapport à cette limite réglementaire. Aussi, elle est inférieure à celle trouvée par Wang *et al.*, (2018) dans le sol entourant une cimenterie à Pékin ($25.85 \mu\text{g.g}^{-1}$). De plus, la teneur en Pb dans les sols entourant une cimenterie en Jordanie était plus élevée dans cette recherche ($55 \mu\text{g.g}^{-1}$) (Al-Khashman et Shawabkeh, 2006) par rapport à notre résultat ($1,458 \mu\text{g.g}^{-1}$).

2. Evaluation de la contamination métallique

Les résultats mentionnés dans les tableaux 3, 4, 5 montrent que l'ordre de grandeur des métaux lourds étudiés est le suivant :

$\text{Mn} > \text{Pb} > \text{Zn}$.

La gamme de la teneur en Zn dans les sols échantillonnés est comprise entre 0,130 et 2,560 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Les concentrations les plus élevées sont enregistrées dans les sols situés dans le sud-est de la zone d'étude, tandis que les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans l'ouest de la zone d'étude (figure 17).

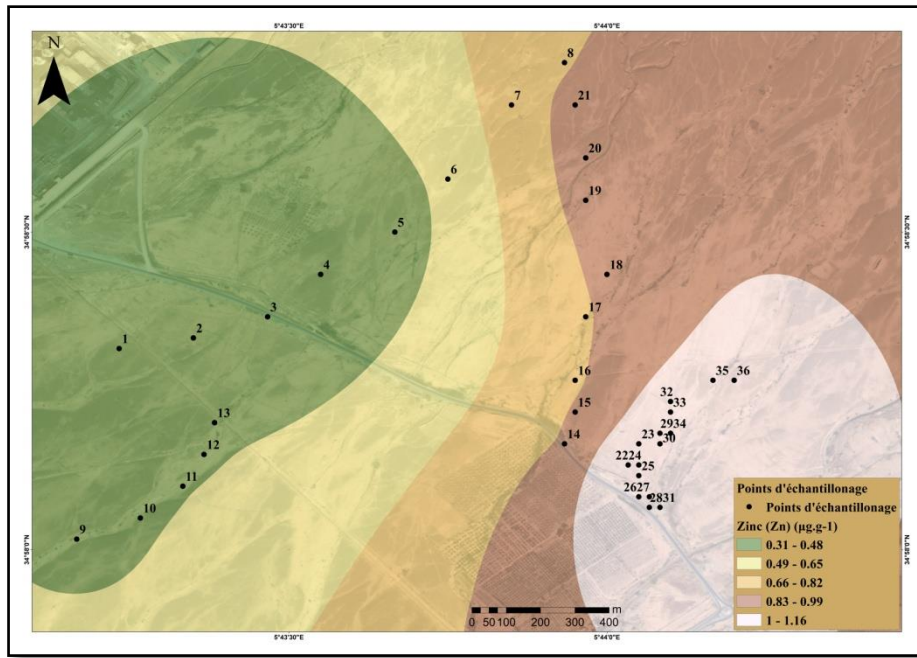


Figure 17. Distribution des teneurs en zinc dans les sols autour de Biskria Ciment.

Pour la distribution du manganèse dans la zone d'étude, la carte (figure 18) montre que les teneurs les plus élevées sont localisées à proximité de la cimenterie, au niveau de la partie nord et sud-ouest de la zone d'étude, tandis que les faibles teneurs se trouvent au niveau de la partie Est. Plus on s'éloigne de la cimenterie, plus les teneurs en manganèse se diminuent, et cela pourrait s'expliquer que la cimenterie pourrait être la cause de la présence de Mn dans les sols environnants.

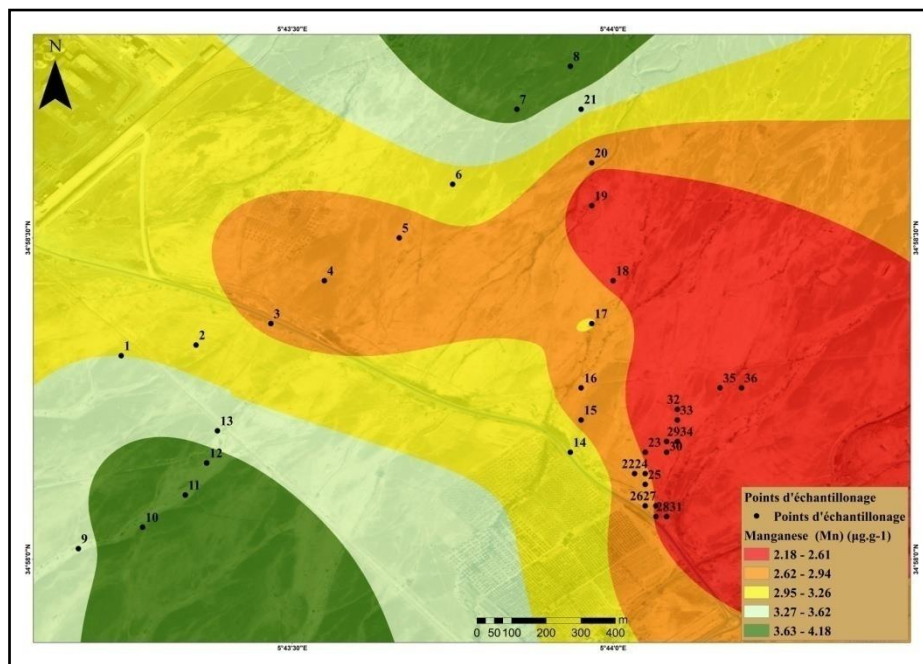


Figure 18. Distribution des teneurs en manganèse dans les sols autour de Biskria Ciment.

Aussi, en ce qui concerne la distribution des teneurs en plomb (figure 19), nous remarquons que les teneurs les plus élevées se localisent au sud-est de la zone d'étude tandis que les plus faibles sont observées au nord et au nord-est, à proximité de la cimenterie. Les teneurs augmentent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la cimenterie. En plus de son origine probable des retombées de poussières de ciment, le trafic routier peut contribuer à l'augmentation des teneurs en plomb.

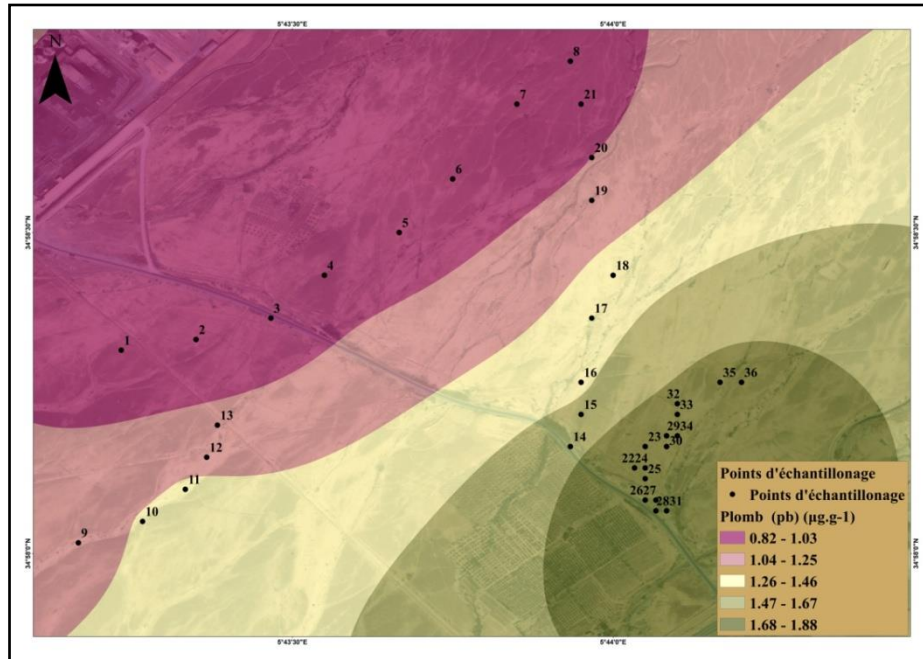


Figure 19. Distribution des teneurs en plomb dans les sols autour de Biskria Ciment.

Quant à la répartition des différents métaux lourds étudiés par rapport à la distance de la cimenterie, on peut mentionner d'abord que les concentrations les plus faibles sont pour le Zn suivi par le Pb et la plus élevée est pour le Mn. En outre, les concentrations en Zn, Pb enregistrées montrent que la distance à la cimenterie n'était pas un facteur d'influence.

Ainsi, les sols échantillonnés ont été considérés comme non pollués en Zn, Mn et Pb. Selon les limites réglementaires de l'agence française de normalisation (AFNOR, 1996) notre région d'étude a des teneurs moyennes en zinc ($0,856 \mu\text{g.g}^{-1}$) et plomb ($1,458 \mu\text{g.g}^{-1}$) inférieures aux teneurs maximales tolérables dans les sols (respectivement : 300, 100 $\mu\text{g.g}^{-1}$) données par cette agence.

Par ailleurs, les teneurs moyennes en zinc ($0,856 \mu\text{g.g}^{-1}$) et en manganèse ($2,868 \mu\text{g.g}^{-1}$) ne sont pas alarmantes selon les lignes directrices généralisées pour l'interprétation des données d'analyse des sols (Estefan *et al.*, 2013).

Les cimenteries sont d'importantes sources d'émissions de produits chimiques organiques et inorganiques et produisent un apport de produits chimiques toxiques dans l'environnement (Wang, 2013).

Plusieurs publications ont évalué la pollution des sols autour des cimenteries. Bermudez *et al.* (2010) ont étudié la pollution par les métaux lourds dans les couches arables près d'une cimenterie située à Yocsina, Argentine et ont découvert que les concentrations de métaux lourds, tels que Ni, Cu, Zn et Pb, pouvaient être prédites par le pourcentage de matière organique et la distance jusqu'à la cimenterie. Semhi *et al.* (2010) ont évalué l'impact de la poussière atmosphérique sur les compositions chimiques (Fe, Cu, Mn, Ni, Cr, etc.) des plantes et du sol autour d'une cimenterie à Oman et ont constaté que la contribution de l'industrie du ciment n'était significative que dans la zone située à environ 0,5 à 2 km autour de l'industrie cimentière. Schuhmacher *et al.* (2009) ont étudié les niveaux de dibenzo-P-dioxines et de dibenzofuranes polychlorés (PCDD/F) et de métaux lourds (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb et Zn) dans des échantillons de sol et de végétation prélevés à proximité de la cimenterie située à Vallcarca, Espagne. Al-Khashman et Shawabkeh (2006) ont collecté 31 échantillons de sol du sud de la Jordanie autour de l'usine de ciment de la région de Qadissiya et ont déterminé les concentrations de Pb, Zn, Cd, Fe, Cu et Cr. Ils ont constaté que tous les métaux étaient concentrés à la surface du sol et diminuaient dans la partie inférieure du sol (Wang, 2013).

La poussière émise par les cimenteries tombe sur les plantes et les sols, entraînant une modification des propriétés du sol. Cela provoque une dégradation du sol affectant la fertilité du sol (Estifanos, 2014).

La vision de Biskria Ciment dans le domaine du développement durable et de l'écologie est d'être l'une des entreprises les moins polluantes au niveau national (Site web 5). Le secteur cimentier a investi dans des installations qui ont permis de réduire les émissions de poussières drastiquement ces dernières années. Ces mesures ont évidemment un impact globalement positif sur les émissions de poussières (Febelcem, 2006).

Aux alentours des cimenteries, les émissions de poussières sont en partie liées aux rejets de poussières dues à l'activité cimentière. Les émissions sont également influencées par les conditions météorologiques (Febelcem, 2006).

Le sol, réacteur biogéochimique complexe (multiphasique, interactif) assure ainsi des fonctions de transformation, de transfert et d'accumulation, tout en pouvant aussi subir des

modifications importantes et rapides d'origine naturelle ou anthropique (dégradation, érosion, changement d'usage...) (Bourrelier *et al.*, 1998).

Conclusion

Conclusion

L'objectif principal de la présente étude était d'évaluer la pollution du sol par les métaux lourds causée par les émissions atmosphériques de la cimenterie Biskria Ciment située dans la région de Branis. Les résultats obtenus montrent que :

L'extractibilité à l'EDTA nous a permis de mettre en évidence la fraction potentiellement biodisponible en métaux lourds dans le sol. Les teneurs moyennes en zinc ($0,856 \mu\text{g.g}^{-1}$), en manganèse ($2,868 \mu\text{g.g}^{-1}$) et en plomb ($1,458 \mu\text{g.g}^{-1}$) ne présentent pas un risque de contamination.

La comparaison des teneurs en métaux lourds étudiés avec les limites réglementaires de l'agence française de normalisation (AFNOR, 1996), et avec les lignes directrices généralisées pour l'interprétation des données d'analyse des sols et également avec les études effectuées à proximité d'autres cimenteries dans certains pays, met en évidence des teneurs très faibles et ceci écarte toute possibilité de pollution par les métaux lourds dans la zone. Les résultats de cette analyse indiquent que le sol entourant la cimenterie de la région de Branis n'est pas pollué par les métaux lourds analysés (zinc, manganèse et plomb).

Enfin, ces résultats exigent d'autres études, comme par exemple le dosage des autres éléments trace métalliques (ETM) dans le sol à proximité de la cimenterie.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- Abdesselam S., Halitim A. 2014. Morphogenèse hydrique et éolienne au sud du Hodna (Algérie). *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 6 (3) : 456 – 465.
- Aissaoui H. 2012. Effet des produits phytosanitaires et les engrais, sur l'abondance des métaux lourds (Cu, Zn) dans le sol et le végétal dans la région de Biskra. Thèse de magister, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie, 89 p.
- Aissaoui H. 2019. Caractérisation et dynamique des métaux lourds (Cu^{+2} , Zn^{+2} et Mn^{+2}) dans le sol de la région de Biskra sous l'effet de la matière organique. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie, 104 p.
- AFNOR, 1996. Qualité des sols. Recueil de normes françaises. AFNOR, Paris.
- Al faifi T., El-Shabasy A. 2021. Effect of heavy metals in the cement dust pollution on morphological and anatomical characteristics of *Cenchrus ciliaris* L. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 28 : 1069-1079.
- Al-Khashman O.A., Shawabkeh R.A., 2006. Metals distribution in soils around the cement factory in southern Jordan. *Environmental Pollution*, Elsevier. 140, 387-394.
- Ali H., Khan E., Ilahi I., 2019. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of chemistry*. 2019, 6730305.
- Alloway B. J. 2013. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Third Edition., Springer. United Kingdom. 614 p.
- Aranguren M. M. S. 2008. Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. Thèse de doctorat, Université Toulouse III - Paul Sabatier, France, 381 p.
- Babich H., Stotzky G., Ehrlich H. L. 1980. Environmental factors that influence the toxicity of heavy metals and gaseous pollutants to microorganisms. *CRC Critical Reviews in Microbiology*. 8 (2), 99-145.
- Belhadj A. 2023. Phytoécologie et cartographie du couvert végétal steppique, cas de la région de Biskra, Algérie. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie, 147 p.

- Benahmed M. 2017. Effet des précipitations sur la distribution du Zn et du Pb issus de retombées atmosphériques dans le sol : Cas de la fonderie de Tiaret (ALFET). Thèse de doctorat, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes, Algérie, 140 p.
- Bermudez G. M. A., Moreno M. , Invernizzi R., Plá R. , Pignata M. L. 2010. Heavy metal pollution in topsoils near a cement plant: The role of organic matter and distance to the source to predict total and HCl-extracted heavy metal concentrations. *Chemosphere, Elsevier*. 78 : 375-38.
- Blois L., Lay-Ekuakille A. 2021. Environmental impacts from atmospheric emission of heavy metals: A case study of a cement plant. *Measurement: Sensors, Elsevier*. 18, 100313.
- Bouchemal F. 2017. Diagnostic de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie, 153 p.
- Bourrelier P. H., Berthelin J., Pédro G. 1998. Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion. TEC & DOC Lavoisier, Paris. 438 p.
- Brevik E. C., Slaughter L., Singh B.R., Steffan J. J., Collier D., Barnhart P., Pereira P. 2020. Soil and Human Health: Current Status and Future Needs. *Air, Soil and Water Research, sagepub*. 13 : 1-23.
- Cai B., Tang R., Wang H., Sun J., Zhao M., Huang X., Song X., Han Z., Fan Z. 2024. Impact of economic development on soil trace metal(loid)s pollution: A case study of China. *Environmental Pollution, Elsevier*. 344, 123319.
- Cutillas-Barreiro L., Pérez-Rodríguez P., Gómez-Armesto A., Fernández-Sanjurjo M. J., Álvarez-Rodríguez E., Núñez-Delgado A., Arias-Estévez M., Nóvoa-Muñoz J. C. 2016. Lithological and land-use based assessment of heavy metal pollution in soils surrounding a cement plant in SW Europe. *Science of the Total Environment, Elsevier*. 562 : 179 - 190.
- de Redon L. 2021. Terre, air et eau: le droit pénal de l'environnement au milieu du gué : D'une protection sectorielle des milieux physiques et des espaces naturels à une pénalisation de l'écocide ?. *Cahiers Droit, Sciences & Technologies*. hal-03894376.
- Décret exécutif n° 2006-138 du 16 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 15 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle.
- Degobert P. 1992. Automobile et pollution. Editions Technip, Paris, 516 p.

- Dutuit P., Gorenflot R. 2008. Glossaire pour le développement durable : des mots pour les maux de la planète. Archives contemporaines, France, 182 p.
- El Ass K., Laachach A., Azzi M. 2003. Étude de la biodisponibilité des métaux lourds dans des sols agricoles irrigués par des eaux polluées. Revue francophone d'écologie industrielle. 32 : 31-36.
- Estefan G., Sommer R., Ryan J. 2013. Methods of Soil, Plant, and Water Analysis: A manual for the West Asia and North Africa region. Third Edition, ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas), Lebanon, 243 p.
- Estifanos S. 2014. Investigating the Distribution of Selected Major and Trace Metals in Lithogenic Environment near Cement Factory, Mekelle, Ethiopia. Journal of Environmental Protection, Scientific Research. 5 (2) : 144-155.
- Febelcem (Fédération Belge de l'Industrie Cimentière). 2006. Rapport environnement de l'industrie cimentière belge. Bruxelles. 24 p.
- Galey B., Gautier M., Kim B., Blanc D., Chatain V., Ducom G., Dumont N., Gourdon R. 2022. Trace metal elements vaporization and phosphorus recovery during sewage sludge thermochemical treatment – A review. Journal of Hazardous Materials, Elsevier. 424, 127360.
- Galvez de Cloutier R. 1995. Study of heavy metal accumulation mechanisms in the Lachine canal sediments. Thèse de doctorat, Université McGill, Montréal, Canada, 195 p.
- Galvez-Cloutier R., Lefrançois P. J. 2005. Les sols contaminés par des métaux lourds : Distribution géochimique et techniques de restauration (Première partie). Vecteur environnement. 38 (3) : 30-38.
- Gaviglio C. 2022. Gestion des sols viticoles. 2^e édition, Éditions France Agricole, Paris. 309 p.
- Gobert T., Gautier A., Connan S., Rouget M., Thibaut T., Stiger-Pouvreau V., Waeles M., 2022. Trace metal content from holopelagic *Sargassum* spp. sampled in the tropical North Atlantic Ocean: Emphasis on spatial variation of arsenic and phosphorus. Chemosphere. 308, 136186.
- Gouzy A., Ducos G. 2008. La connaissance des éléments traces métalliques : un défi pour la gestion de l'environnement. Air pur. 75 : 6-10.

- Hu W., Wang H., Dong L., Huang B., Borggaard O. K. , Hansen H. C. B. , He Y. , Holm P. E. 2018. Source identification of heavy metals in peri-urban agricultural soils of southeast China: An integrated approach. *Environmental Pollution*, Elsevier, 237 : 650-661.
- Huynh T. M. D. 2009. Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante/ ver de terre/ microflore tellurique. Thèse de Doctorat, Université Paris Est école doctorale science de la vie et de la sante, France, 151 p.
- Jannat J. N., Mia M. Y., Jion M. M. M. F., Islam M. S., Ali M. M., Siddique M. A. B., Rakib M. R. J., Ibrahim S. M., Pal S. C., Costache R., Malafaia G., Islam A. R. M. T. 2023. Pollution trends and ecological risks of heavy metal(loid)s in coastal zones of Bangladesh : A chemometric review. *Marine Pollution Bulletin*, Elsevier. 191, 114960.
- Jia X., Fu T., Hu B., Shi Z., Zhou L., Zhu Y. 2020. Identification of the potential risk areas for soil heavy metal pollution based on the source-sink theory. *Journal of Hazardous Materials*, Elsevier. 393, 122424.
- Khan S. N., Nafees M., Imtiaz M. 2023. Assessment of industrial effluents for heavy metals concentration and evaluation of grass (*Phalaris minor*) as a pollution indicator. *Heliyon*, CellPress. 9, e20299.
- Kirichkov M.V., Polyakov V.A., Shende S.S., Minkina T.M., Nevidomskaya D.G., Wong M.H., T. V. Bauer, V. A. Shuvaeva , Mandzhieva S. S., Tsitsuashvili V. S. 2024. Application of X-ray based modern instrumental techniques to determine the heavy metals in soils, minerals and organic media. *Chemosphere*, Elsevier. 349, 140782.
- Mathieu C., Pieltain F. 2003. Analyse chimique des sols méthodes choisies Tec & doc, Paris. 387 p.
- Mitra S., Chakraborty A.J., Tareq A.M., Emran T.B., Nainu F., Khusro A., Idris A. M., Khandaker M. U., Osman H., Alhumaydhi F. A., Simal-Gandara J. 2022. Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University - Science*. 34, 101865.
- Mouhoun S. 2019. Caractérisation physico-chimique et microbiologique saisonnière des décharges de Ain-El-Hammam et Timizart (wilaya de Tizi-Ouzou, Algérie). Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 127 p.

- Mungyeko Bisulandu B. J. R., Marias F. 2019. Modélisation de la chimie du clinker et de l'ingénierie du processus de fabrication du ciment : Etat de l'art. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 25 (2) : 528-551.
- Napoletano P., Guezgouz N., Di Iorio E., Colombo C., Guerriero G., De Marco A.. 2023. Anthropogenic impact on soil heavy metal contamination in riparian ecosystems of northern Algeria. *Chemosphere, Elsevier*. 313, 137522.
- Nowak C., Mossmann J.R., Saada A. 2002. État des connaissances sur l'atténuation naturelle : mécanismes et mise en œuvre, Rapport d'avancement. Rapport BRGM/RP-51741-FR. 47 p., 2 fig., 8 tabl., 2 ann.
- Prabhakaran K., Chapman G.D., Gunasekar P.G. 2009. BNIP3 up-regulation and mitochondrial dysfunction in manganese-induced neurotoxicity. *NeuroToxicology, Elsevier*. 30 : 414 - 422.
- Qaoud R., Boumerzoug A., Sayad B., Alkama D., Attia S. 2023. Assessing the influence of neighborhood urban form on outdoor thermal conditions in the hot dry city of Biskra, Algeria. *Ain Shams Engineering Journal, Elsevier*. 14, 102525.
- Rouessac F., Rouessac A., Cruché D., Duverger-Arfulso C., Martel A. 2016. Analyse chimique méthodes et techniques instrumentales. 8e édition, DUNO, Paris. 552 p.
- Sellal A. 2018. Etude de la pollution de Oued K'sob (région de Bordj Bou Arreridj) et de l'effet phyto-accumulateur de *Phragmites australis* (roseau). Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif 1, Algérie, 125 p.
- Shukla S.K., Nagpure A.S., Kumar V., Baby S., Shrivastava P., Singh D., Shukla R.N.. 2008. Impact of dust emission on plant vegetation in the vicinity of cement plant. *Environmental Engineering and Management Journal*. 7 (1) : 31-35.
- Sirven J. B. 2006. Détection de métaux lourds dans lessols par spectroscopie d'émission sur plasma induit par laser (LIBS). Thèse de Doctorat, Université Bordeaux 1, France, 252 p.
- Stewart P. 1968. Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique : quelques réflexions. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord, Alger*. 59 : 23-36.
- Viala A., 1998. *Eléments de toxicologie*. Tec & Doc Lavoisier, Paris, 521p.

- Wang C., Yang Z., Zhang Y., Zhang Z., Cai Z. 2018. PAHs and heavy metals in the surrounding soil of a cement plant Co-Processing hazardous waste. *Chemosphere, Elsevier*. 210 : 247-256.
- Wang C. C., Zhang Q. C., Yan C. A., Tang G. Y., Zhang M. Y., Ma L. Q., Gu R. H., Xiang P. 2023. Heavy metal(loid)s in agriculture soils, rice, and wheat across China: Status assessment and spatiotemporal analysis. *Science of the Total Environment, Elsevier*. 882, 163361.
- Wang X. S. 2013. Magnetic properties and heavy metal pollution of soils in the vicinity of a cement plant, Xuzhou (China). *Journal of Applied Geophysics, Elsevier*. 98 : 73 - 78.
- Wang X., Yang M. 2024. The effect of soil pollution information disclosure on housing prices. *China Economic Review, Elsevier*. 83, 102112.
- Wu J., Lu J., Li L., Min X., Luo Y. 2018. Pollution, ecological-health risks, and sources of heavy metals in soil of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau. *Chemosphere, Elsevier*. 201: 234-242.
- Xu D., Wang Z., Tan X., Xu H., Zhu D., Shen R., Ding K., Li H., Xiang L., Yang Z. 2024. Integrated assessment of the pollution and risk of heavy metals in soils near chemical industry parks along the middle Yangtze River. *Science of The Total Environment, Elsevier*. 917, 170431.
- Yan H., Xiang Q. Q., Wang P., Zhang J. Y., Lian L. H., Chen Z. Y., Li C. J., Chen L. Q. 2022. Trophodynamics and health risk assessment of toxic trace metals in the food web of a plateau freshwater lake. *Journal of Hazardous Materials*. 439, 129690.
- Zeng B., Zhang Z., Yang S., Mo L., Jin F. 2023. Alkanolamines-activated steel slag for stabilization/solidification of heavy metal contaminated soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering, Elsevier*. 11, 110301.
- Zimwara D., Mugwagwa L., Chikowore T.R. 2012. Air pollution control techniques for the cement manufacturing industry: a case study for Zimbabwe. *CIE 42 Proceedings*. 1-13.
- Zouai K. 2011. Etude du mode de fabrication du ciment et effet des matières premières - Impact de l'utilisation du ciment sur l'environnement. Thèse de Magister, Université Hassiba Benbouali de Chlef, Algérie, 126 p.

Sites web

Site web 1.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Biskra>

Site web 2. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Branis>

Site web 3.

<https://www.google.com/maps/place/Branis/@34.9716564,5.5323096,10z/data=!4m6!3m5!1s0x12f5a9a221014a7f:0xd4be89333b75f77b!8m2!3d34.9788386!4d5.7132218!16s%2Fm%2F09rxhxl?entry=ttu>

Site web 4. <https://grey.biskriaciment.com/presentationbiskria/>

Site web 5. <https://grey.biskriaciment.com/>

Site web 6. <https://www.google.com/maps/place/Biskria+Ciment+SPA/>

Résumé

L'objectif de notre travail est d'étudier l'impact de l'industrie cimenterie sur la pollution des sols par les métaux lourds, dans la commune de Branis, wilaya de Biskra. Trente-six échantillons du sol ont été prélevés de la couche superficielle (0-10 cm) pour évaluer les concentrations en Zn, Mn et Pb. L'extraction de ces éléments a été effectuée avec l'EDTA à pH 7 et leur dosage par photomètre d'absorption atomique. Les résultats obtenus, nous ont permis de conclure que les sols situés à proximité de la cimenterie ne sont pas pollués par les métaux lourds analysés (zinc, manganèse et plomb).

Mots clés : cimenterie, pollution, sol, métaux lourds, extractibilité à l'EDTA, Branis.

ملخص

الهدف من عملنا هو دراسة تأثير صناعة الإسمنت على تلوث التربة بالمعادن الثقيلة ببلدية برانيس بولاية بسكرة. تم أخذ ستة وثلاثون عينة من التربة من الطبقة السطحية (0-10 سم) لتقييم تراكيز الزنك والمغنيز والرصاص. وتم استخلاص هذه العناصر باستخدام حمض رباعي الأسيتيك من الإيثيلين عند درجة حموضة 7 وجرعتها بجهاز مضوء الامتصاص الذري. النتائج التي تم الحصول عليها سمحت لنا باستنتاج أن التربة الواقعة بالقرب من مصنع الأسمنت غير ملوثة بالمعادن الثقيلة التي تم تحليلها (الزنك والمغنيز والرصاص).

الكلمات المفتاحية: مصنع الأسمنت، التلوث، التربة، المعادن الثقيلة، قابلية الاستخراج بحمض رباعي الأسيتيك من الإيثيلين، برانيس

Summary

The objective of our work is to study the impact of the cement industry on soil pollution by heavy metals, in the commune of Branis, wilaya of Biskra. Thirty-six soil samples were taken from the surface layer (0-10 cm) to evaluate the concentrations of Zn, Mn and Pb. The extraction of these elements was carried out with EDTA at pH 7 and their dosage by atomic absorption photometer. The results obtained allowed us to conclude that the soils located near the cement plant are not polluted by the heavy metals analyzed (zinc, manganese and lead).

Key words: Cement plant, pollution, soil, heavy metals, EDTA extractibility, Branis.