

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU



Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département d'Ecologie et Environnement

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en écologie et environnement

Spécialité : Biodiversité et Environnement

Thème

Analyse physico-chimique des sols pollués par les hydrocarbures Cas de la station-service de Freha

Présenté par : M^{elle} BOUHA Lynda.

M^{elle} RAHLI Massilia.

Soutenu le 01/07/2024, devant le jury composé de :

Mme SADOUDI ALI AHMED D.	Professeur	Présidente
Mme CHIBANE G.	MAA	Promotrice
Mr DIB D.	Docteur	Co-promoteur
Mme ALI AHMED S.	MCB	Examinatrice

Année universitaire 2023-2024

Remerciements

Il est de rigueur de remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce mémoire de fin d'études. Leur précieuse collaboration et leur soutien ont grandement contribué à la réussite de ce projet académique.

Nous remercions en particulier, notre promotrice **Mme CHIBANE Gouraya** tout d'abord pour nous avoir proposé cette intéressante thématique et nous avoir encadré durant ce travail. Nous adressons toute notre gratitude et notre profonde reconnaissance pour nous avoir fait bénéficier de son savoir et de son expérience scientifiques, avec tant de passion et de pédagogie pour ses conseils avisés et ses remarques toujours constructives sur notre travail.

Nous exprimons notre sincère reconnaissance envers Mr **DIB Djaffer**, notre Co-promoteur, pour son précieux accompagnement, sa confiance et sa patience qui ont été des éléments essentiels pour mener ce projet à bien. Son soutien inestimable a grandement contribué à la réussite de ce travail. Nous espérons qu'il trouvera dans ce mémoire un témoignage de notre profond respect envers sa personne.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements aux honorables membres du jury **Mme SADOUDI-ALI AHMED D.** et **Mme ALI AHMED S.** pour l'attention qu'elles ont accordée à notre recherche et pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce travail et de participer à la soutenance.

Nous remercions toutes les personnes qui travaillent au laboratoire de pédologie qui nous ont aidées dans notre travail. Nous remercions également l'ingénieur du laboratoire, **Mme Abrous H**, qui a été toujours là pour nous aider.

Enfin, un grand merci à toutes les personnes qui ont apporté leur soutien et leur contribution, que ce soit de manière directe ou indirecte, à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je souhaite exprimer toute ma gratitude envers tous ceux qui m'ont encouragée à accomplir ce modeste travail :

À ma chère **Mère**, source infinie d'amour et de soutien, ta présence aimante et tes encouragements ont été mes plus grands atouts tout au long de ce parcours académique. Ce mémoire est également le fruit de ton influence positive et de ton amour indéfectible. Merci pour tout, **Maman**.

À mon cher **Père**, pilier de ma vie, ta présence rassurante et tes précieux conseils ont été des repères essentiels dans la réalisation de ce travail académique. Ce mémoire porte également l'empreinte de ton influence bienveillante et de ton amour sans limites. Merci pour tout, **Papa**.

À mes deux frères adorés, **Lyes** et **Zizou**, pour votre soutien sans faille et votre présence précieuse. Ce message exprime toute ma reconnaissance et mon amour pour vous deux. Merci d'être les meilleurs frères du monde.

À la mémoire de mes chers deux **grands-pères**, Ce mémoire est un hommage à votre amour inconditionnel, à vos conseils avisés et à l'héritage précieux que vous m'avez laissé. Vous restez à jamais dans mon cœur.

À ma meilleure amie **Lorine**, Merci d'être cette amie exceptionnelle qui éclaire ma vie de bonheur et d'amour sincère.

À ma chère binôme **Massilia**, pour sa patience et ses efforts.

À tous les membres de ma famille.

Lynda

Dédicaces

Du profond de mon cœur, je dédie ce modeste travail à tous ceux qui m'ont poussée à le réaliser :

À l'homme de ma vie, mon **cher papa**, qui a sacrifié toute sa vie pour que je puisse arriver là où je suis.

À ma **chère mère** qui n'a jamais cessé de m'encourager et de prier pour moi.

À mes chers frères et sœurs **Nassim, Said, Asma** pour leur amour.

À une personne qui a comblé ma vie de bonheur et de joie, **Khaled**, qui m'a aidé et supporté dans mes moments difficiles.

À ma binôme **Lynda** pour sa patience et ses efforts.

À ma chère sœur **Amel** qui m'a trop aidé pour réaliser ce travail. À mes chères meilleures amies **Manel, Kenza, Nawel** pour leur soutien moral et leurs conseils.

À tous les gens qui m'aiment.

Massilia

Liste des abréviations

g/cm^3 : gramme par centimètre cube (unité de la densité)

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

PCB : polychlorobiphényles

PCDD : polychlorodibenzodioxines

COV : composés organiques volatils

P1 : Point 1 (le plus proche de la source de pollution)

P2 : point 2 (situé entre le point 1 et le point 3)

P3 : Point 3 (le plus éloigné de la source de pollution)

$\mu\text{S/cm}$: milisiemens par centimètre (unité de conductivité électrique)

MO : Matière organique

Meq/l : milliéquivalent par litre (concentration d'ions dans une solution)

Liste des figures

Figure N° 1 : Triangle des textures minérales (Gobat et al, 2010).....	4
Figure N° 2 : Situation géographique de la région de Freha (Google maps, 2024).....	11
Figure N° 3 : Localisation géographique de la station service avec la description de l'entourage (Google earth, 2024).....	12
Figure N° 4 : Variations du pH dans les sols étudiés.....	17
Figure N° 5 : Composition granulométrique des sols étudiés.....	18
Figure N° 6 : Conductivité électrique des sols étudiés.....	19
Figure N° 7 : Taux d'humidité des sols étudiés	20
Figure N° 8 : Variation du calcaire total dans les sols étudiés.....	21
Figure N° 9 : Taux de carbone organique des sols étudiés	22
Figure N° 10 : Taux de la matière organique des sols étudiés.....	23
Figure N° 11 : Taux de bicarbonates des sols étudiés.....	24
Figure N° 12 : Taux de chlorures des sols étudiés.....	25

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : synthèse Bibliographique

I. Généralité sur le sol.....	3
I.1 Définition du sol.....	3
I.2 Constituants du sol.....	3
I.2.1 Phase solide.....	3
I.2.2 Phase liquide.....	3
I.2.3 Phase gazeuse.....	3
I.3 Propriétés physiques du sol.....	3
I.3.1 Texture.....	3
I.3.2 Structure.....	4
I.3.3 Porosité.....	4
I.3.4 Régime hydrique du sol.....	4
I.3.5 Perméabilité du sol.....	5
I.4 Propriétés chimiques du sol.....	5
I.4.1 Potentiel d'hydrogène.....	5
I.4.2 Capacité d'échange cationique.....	5
I.4.3 Humidité.....	5
I.4.4 Conductivité électrique.....	5
I.4.5 Calcaire total.....	5
I.4.6 Matière organique.....	5
I.5 Propriétés biologiques du sol.....	6
II. Généralité sur les hydrocarbures.....	6
II.1 Définition des hydrocarbures	6
II.2 Classification des hydrocarbures.....	6
II.2.1 Hydrocarbures aliphatiques.....	6

II.2.2 Hydrocarbures aromatiques.....	6
II.2.3 Hydrocarbures alicycliques et cycliques.....	6
II.3 Propriétés physiques des hydrocarbures.....	7
II.3.1 Viscosité.....	7
II.3.2 Point d'écoulement.....	7
II.3.3 Densité.....	7
II.4 Devenir des hydrocarbures.....	7
II.4.1 Volatilisation.....	7
II.4.2 Biodégradation.....	7
II.4.3 Solubilisation.....	7
II.4.4 Sorption.....	7
II.4.5 Transformation.....	8
II.5 Effets des hydrocarbures.....	8
II.5.1 Effets sur le sol	8
II.5.2 Effets sur l'environnement.....	8
II.5.3 Effets sur la végétation et la faune.....	8
II.5.4 Effets sur la santé humaine.....	8
III. La pollution du sol	9
III.1 Définition de la pollution.....	9
III.2 Définition d'un sol pollué.....	9
III.3 Définition d'un polluant.....	9
III.4 Principaux types de polluants.....	9
III.4.1 Polluants organiques.....	9
III.4.2 Polluants inorganiques.....	9
III.5 Types de pollution.....	10
III.5.1 Pollution diffuse.....	10
III.5.2 Pollution ponctuelle.....	10

Chapitre II : matériel et méthodes

I. Présentation de la zone d'étude.....	11
I.1 Présentation de la commune de Freha.....	11
I.2 Présentation générale de la station-service de Freha.....	12
II. Stratégie de prélèvement.....	12
III. Traitement et préparation des sols.....	13
IV. Analyse physico-chimiques du sol.....	13
IV.1 Mesure du pH	13
IV.2 Détermination de la texture.....	13
IV.3 Détermination de la conductivité électrique.....	13
IV.4 Mesure de l'humidité du sol.....	14
IV.5 Dosage du calcaire total.....	14
IV.6 Dosage du carbone organique.....	14
IV.7 Dosage de la matière organique.....	15
IV.8 Dosage des anions.....	15
V. Analyse statistique.....	16

Chapitre III : résultats et discussion

I. Résultats.....	17
I.1 Potentiel d'Hydrogène.....	17
I.2 Granulométrie.....	18
I.3 Conductivité électrique.....	19
I.4 Humidité.....	20
I.5 Calcaire total.....	21
I.6 Carbone organique.....	22
I.7 Matière organique.....	23

I.8 Sels solubles.....	24
I.8.1 Bicarbonates.....	24
I.8.2 Chlorures.....	25
II. Discussion.....	26
Conclusion et perspectives.....	28
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumé	

Le sol joue un rôle essentiel et précieux en fournissant des nutriments, des minéraux et de l'eau aux plantes et aux animaux. Il est donc perçu comme un lieu de répartition de nombreux microorganismes (Battaz, 2009).

Les activités industrielles, économiques et sociales sont responsables de la fabrication de composés organiques dont la majorité est extrêmement toxique pour les êtres vivants. Par exemple, les hydrocarbures peuvent causer des catastrophes écologiques irréversibles, entraînant une bioaccumulation dans les chaînes alimentaires, affectant ainsi l'animal, le végétal et la santé humaine (Soltani, 2004).

Les émissions d'hydrocarbures dans les différents biotopes terrestres et aquatiques représentent une menace très importante pour l'environnement. Ces émissions entraînent des changements significatifs dans les apports aux trois compartiments de la biosphère par rapport aux flux naturels (Ramade, 1992).

La pollution des stations-services est principalement causée par la corrosion des cuves de stockage, les fuites de canalisation entre les citernes et les ilots de pompes, ainsi que la séparation des carburants (Colin, 2000).

Lors de cette recherche, nous avons réalisé une analyse approfondie pour évaluer l'impact des hydrocarbures sur plusieurs caractéristiques physico-chimiques du sol d'une station de service à Freha.

Ce travail est divisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une analyse bibliographique sur le sol, la pollution par les hydrocarbures, les impacts de ces derniers sur l'environnement.
- Le deuxième chapitre représente les recherches sur le terrain ainsi que les différentes expériences en laboratoire, incluant la description et la présentation du site d'étude, du matériel et des méthodes employées.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus, leur interprétation ainsi que leur discussion.

Nous clôturons ce travail avec une conclusion générale et quelques perspectives de recherche.

Introduction générale

- Le deuxième chapitre représente les recherches sur le terrain ainsi que les différentes expériences en laboratoire, incluant la description et la présentation du site d'étude, du matériel et des méthodes employées.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus, leur interprétation ainsi que leur discussion.

Nous clôturons ce travail avec une conclusion générale et quelques perspectives de recherche.

I. Généralité sur le sol

I.1 Définition du sol

Le sol est une substance naturelle, superficielle et souvent meuble, formée par la transformation, la décomposition et l'altération de la roche mère en contact avec l'air et les organismes vivants, sous l'influence de l'eau et de l'air. En général, il est issu d'une roche sous-jacente et est contrôlé par des processus physiques, chimiques et biologiques. Il s'agit d'un intermédiaire biologiquement distinct en différentes couches d'épaisseur. Par leurs actions, les plantes, les animaux et les bactéries ont des effets positifs sur l'équilibre du sol (Deprince, 2003).

I.2 Constituants du sol

I.2.1 Phase solide

Elle inclut des composants minéraux classés en fonction de leur taille ou de leur composition minérale, ainsi que des composants organiques tels que les débris végétaux et animaux (Soltner, 2011).

I.2.2 Phase liquide

C'est une eau contenant des substances solubles variées et complexes, formant ce qu'on appelle la solution du sol (Ravelojaona et al., 2020).

I.2.3 Phase gazeuse

Elle est encore connue sous le nom d'atmosphère du sol, dont la composition est habituellement similaire à celle de l'air (oxygène, azote et gaz carbonique), mais elle peut varier à la fois dans l'espace et temps (Calvet, 2003).

I.3 Propriétés physiques du sol

I.3.1 Texture

La texture du sol est généralement représentée par la granulométrie de la terre fine, dont la distribution est généralement représentée par un graphique ternaire ou triangle de texture, comme illustré dans la figure ci-dessus (Gobat et al., 2010).

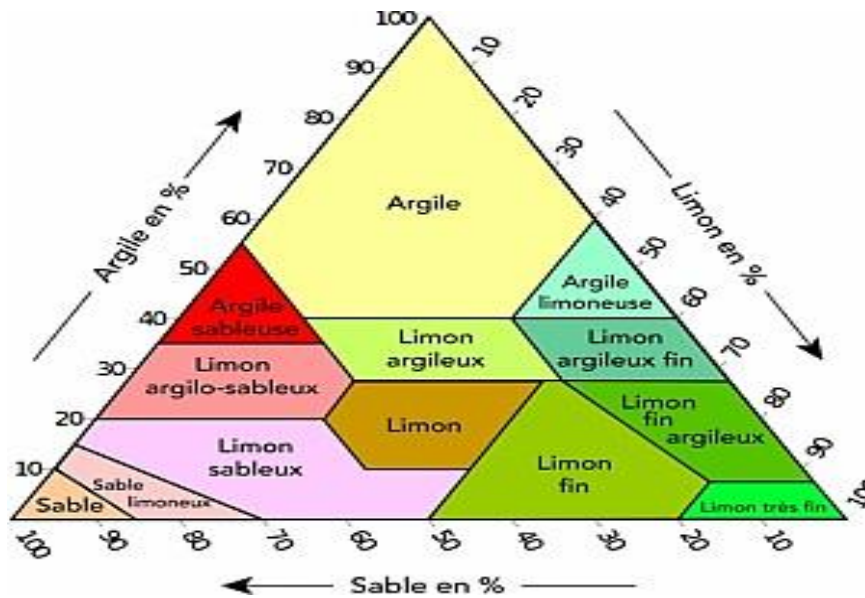


Figure N° 1: Triangle des textures minérales (Gobat et al, 2010)

I.3.2 Structure

Il s'agit du système d'organisation spatiale des composants solides (minéraux et organiques). D'après la présence ou l'absence d'agrégats, on distingue plusieurs types de structures : Structure particulaire, fragmentaire et compacte (Duchauffour et al., 2018).

I.3.3 Porosité

Il s'agit du volume des vides. Ils sont remplis d'air ou d'eau, en pourcentage du volume total. Les capacités d'écoulement et de rétention d'un substrat sont influencées par la porosité (Duchauffour, 2001).

I.3.4 Régime hydrique du sol

Le régime hydrique du sol est influencé par les variations de la concentration d'eau du sol tout au long de l'année. Il est directement impacté par les trois caractéristiques évoquées ci-dessus, à savoir

- La nature de la texture influence les capacités de rétention de l'eau.
- La structure qui a un impact sur la circulation de l'eau.
- La porosité qui détermine la taille du réservoir d'eau du sol (Gobat et al., 2010).

I.3.5 Perméabilité du sol

La perméabilité du sol désigne sa capacité à permettre à l'eau de pénétrer dans les couches inférieures ; elle varie en fonction de la texture et de la structure du sol (Koller, 2004).

I.4 Propriétés chimiques du sol

I.4.1 Potentiel d'hydrogène

Il s'agit d'une grandeur physique sans unité allant de 0 à 14 et qui permet de déterminer si une solution est acide, basique ou neutre. L'eau et toutes les solutions aqueuses renferment des ions hydrogènes (H^+) qui contribuent à l'acidité et des ions hydroxydes (OH^-) qui contribuent à la basicité (Hong et al., 2018).

I.4.2 Capacité d'échange cationique

La fertilité d'un sol est déterminée par sa capacité à retenir les cations sous forme échangeable. Cette caractéristique permet d'évaluer la capacité du sol à stocker les nutriments essentiels à la croissance des plantes (Calvet, 2003).

I.4.3 Humidité

On définit l'humidité du sol comme l'eau évaporable présente dans la partie du sol située au-dessus de la nappe libre. Elle joue un rôle essentiel dans les échanges d'énergie à l'interface entre la surface et l'atmosphère. L'humidité du sol est très influencée par l'évaporation, l'infiltration, le ruissellement de surface et la quantité d'eau absorbée par la végétation. C'est donc un élément essentiel du cycle hydrologique (Thanh, 2002).

I.4.4 Conductivité électrique

La conductivité d'une solution est une évaluation de la quantité de sel soluble dans le sol et reflète le niveau de salinité du sol (Mathieu et Pieltain, 2003).

I.4.5 Calcaire total

En général, il joue le rôle d'un élément granulométrique et de réserve de calcium, ce qui le rend assez facilement mobilisable (Clément, 2003).

I.4.6 Matière organique

La matière organique est présente dans le sol, d'une part, sous forme de résidus végétaux ou animaux plus ou moins identifiables, et, d'autre part, sous forme de substances qui adhèrent à la fraction minérale (Henin et al., 1969).

I.5 Propriétés biologiques du sol

Les communautés microbiennes du sol constituent la dernière étape de la chaîne trophique du sol, où le carbone et les nutriments présents dans la matière organique sont transportés avant d'être à nouveau accessibles aux plantes. De ce fait, elles jouent un rôle crucial dans le processus de recyclage de la matière organique rejetée dans le sol (Chantigny, 2005).

II. Généralité sur les hydrocarbures

II.1 Définition des hydrocarbures

Selon Martinelli (1999), les hydrocarbures se composent de carbone et d'hydrogène. La formule brute qu'ils ont est de type C_nH_m , où n et m sont deux entiers naturels (Pimsee, 2014).

II.2 Classification des hydrocarbures

II.2.1 Hydrocarbures aliphatiques

Les hydrocarbures aliphatiques sont une famille de composés saturés et non saturés constitués. Les alcanes sont des hydrocarbures saturés qui se distinguent par la présence de liaisons simples entre les atomes de carbone. Deux grands groupes sont constitués : les hydrocarbures à chaîne ouverte et les cyclanes à chaîne fermée. On distingue deux types d'hydrocarbures non saturés, les alcènes et les alcynes, qui se distinguent respectivement par la présence d'une double et d'une triple liaison entre deux atomes de carbone (Militon, 2007).

II.2.2 Hydrocarbures aromatiques

Les hydrocarbures aromatiques sont divisés en deux groupes en fonction du nombre de cycles benzéniques qui leur sont liés. Ils présentent une grande toxicité et une persistance élevée car ils ne se dissocient pas dans l'eau (Fattal, 2008).

II.2.3 Hydrocarbures alicycliques et cycliques

Les hydrocarbures alicycliques peuvent aussi être saturés ou présenter une ou plusieurs liaisons doubles. Mais la structure cyclique ne peut pas être utilisée avec les triples liaisons en raison de leur géométrie linéaire, à moins que la molécule ne comporte au moins 8 carbones (cyclines). Des hydrocarbures bicycliques, voire tricycliques, existent également (Pimsee, 2014).

II.3 Propriétés physiques des hydrocarbures

II.3.1 Viscosité

Elle manifeste sa résistance face à l'écoulement. Cela implique que les hydrocarbures extrêmement visqueux ont un mauvais écoulement, tandis que d'autres sont extrêmement fluides (Hassaine, 2016).

II.3.2 Point d'écoulement

Il s'agit de la température inférieure à laquelle un hydrocarbure ne peut plus se déverser. Le produit se comporte comme un solide lorsque la température ambiante est inférieure à son point d'écoulement (Lallemand, 1974).

II.3.3 Densité

Il s'agit du rapport entre la masse et le volume, qui est exprimé en « g/cm³ ». L'industrie pétrolière utilise cette caractéristique pour différencier les hydrocarbures légers des lourds. Elle dépend peu ou pas de la température (Archambault et al., 2017).

II.4 Devenir des hydrocarbures

II.4.1 Volatilisation

Il s'agit du passage de la matière vers l'état gazeux, ce processus peut prendre plus ou moins de temps. Il varie en fonction des conditions météorologiques (vent et température), du type de pétrole et de l'épaisseur de la nappe (Fattal, 2008).

II.4.2 Biodégradation

Il est possible que les hydrocarbures soient dégradés par des microorganismes présents dans la colonne d'eau ou les sédiments. Ces derniers les utilisent pour générer de l'énergie en tant que source de carbone. La totale dégradation microbienne des hydrocarbures issus du dioxyde de carbone, de l'eau, des petits alcanes et des hydrocarbures cycliques (Gruyer et al., 2015).

II.4.3 Solubilisation

Les hydrocarbures sont extrêmement peu solubles dans l'eau. Les hydrocarbures légers ont une solubilité plus élevée que les hydrocarbures lourds. Il convient de se rappeler que ces hydrocarbures solubles sont parmi les plus préjudiciables à l'environnement. Il est compliqué de les éliminer et ils sont absorbés par les plantes et les animaux (Soltani, 2004).

II.4.4 Sorption

Il s'agit de la capacité de certains corps solides à retenir les molécules d'autres corps (à l'état gazeux ou liquide) à leur surface (Murphy et al., 1990).

II.4.5 Transformation

Il peut s'agir d'un processus biologique impliquant l'intervention de microorganismes ou non biologiques (hydrolyse, oxydation et réaction photochimique) (Ali Ahmed, 2011).

II.5 Effets des hydrocarbures

II.5.1 Effets sur le sol

Pour près de la moitié des cas, les HAP sont les substances les plus fréquemment retrouvées dans les sols. Viennent ensuite le plomb (20 %), les hydrocarbures (20 %), les solvants (15 %), le chrome (15 %) et le zinc (15 %) (Doumont et Libion, 2006).

Ils peuvent donc affecter les composants, les propriétés ainsi que la fertilité du sol (Koller, 2004). Leur présence dans le sol modifie considérablement ses propriétés physiques, chimiques et biologiques.

II.5.2 Effets sur l'environnement

Les hydrocarbures sont une ressource d'énergie que les individus et les consommateurs utilisent quotidiennement à travers le monde. Ils entraînent une pollution qui entraîne des modifications telles qu'une augmentation croissante des températures moyennes sur la planète en raison de la modification de la concentration des GES naturellement présents dans l'atmosphère (CO₂, CH₄, N₂O,...) ; c'est ce qu'on appelle l'effet de serre additionnel (Picot et Montadon, 2013).

II.5.3 Effets sur la végétation et la faune

La présence d'hydrocarbures dans les sols peut entraîner une diminution de la variété et de l'abondance de la macrofaune du sol (Erstfeld et SnowAshbrook, 1999).

Selon Doumont et Libion (2006), le métabolisme des plantes est perturbé par la pollution des sols par les hydrocarbures, ce qui entraîne une diminution du rendement des récoltes ou une sensibilité accrue des cultures. Les polluants auront un impact direct sur les organismes vivants présents dans le sol.

II.5.4 Effets sur la santé humaine

À court terme, la peau est desséchée par les hydrocarbures, ce qui peut entraîner des dermatoses et des eczémas en obturant les pores (Fettal, 2008). À long terme, les hydrocarbures, notamment les hydrocarbures aromatiques, peuvent entraîner une augmentation du risque de cancer de la peau en cas de contact prolongé avec ces derniers (Pranudda, 2014).

III. La pollution du sol

III.1 Définition de la pollution

La pollution consiste à introduire des substances solides ou liquides dans l'air, l'eau et le sol, ce qui cause des altérations de ces environnements et a des conséquences néfastes pour les individus ou les écosystèmes. Les actions humaines sont fréquemment responsables de la pollution qui affecte la qualité de l'air, de l'eau et du sol avant de se propager à des récepteurs biologiques (Bouزيد, 2019).

III.2 Définition d'un sol pollué

Un sol pollué est un sol qui est pollué de manière à engendrer des nuisances ou un risque permanent pour les individus ou l'environnement (Khellout, 2004). On peut définir la pollution du sol comme l'accumulation de substances toxiques persistantes telles que les produits chimiques, les sels, les matières radioactives ou les agents pathogènes dans le sol, pouvant avoir des conséquences néfastes sur la croissance des plantes et la santé des animaux (Okrent, 1999).

III.3 Définition d'un polluant

Un polluant peut prendre la forme d'un gaz, d'un aérosol, d'un liquide ou d'un solide conçu par l'homme ou par la nature. Il s'agit d'un élément réputé pour avoir des conséquences néfastes sur l'ensemble ou une partie d'un écosystème ou de l'environnement, en général (Tétreault, 2016).

III.4 Principaux types de polluants

III.4.1 Polluants organiques

Les hydrocarbures jouent un rôle essentiel dans la pollution des sols en tant que polluants organiques les plus fréquemment présents. Ces produits comprennent les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles (PCB), les polychlorodibenzo-dioxines (PCDD), les composés organiques volatils (COV) et les pesticides (Benfardia et Chenine, 2014).

III.4.2 Polluants inorganiques

Ils forment un ensemble d'éléments qui ne se dégradent pas naturellement, se accumulent et sont toxiques lorsqu'ils sont en grande quantité. Le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le zinc (Zn) et l'arsenic (As) sont les plus courants. Ils se trouvent naturellement dans les sols à des concentrations généralement faibles et sont principalement causés par l'altération de la roche mère. Cependant, les activités humaines telles que l'agriculture, le trafic routier et l'incinération d'ordures peuvent entraîner une augmentation de leurs concentrations naturelles (Benfardia et Chenine, 2014).

III.5 Types de pollution

III.5.1 Pollution diffuse

Elle se manifeste sur de grandes surfaces du sol, en général par l'épandage de produits solides ou liquides (l'utilisation d'engrais ou de pesticides en agriculture) ou par les émissions atmosphériques (Barriuso et al., 1996).

III.5.2 Pollution ponctuelle

Ce qui la caractérise, c'est la présence occasionnelle dans les sols et sous-sols de substances dangereuses, généralement issues de déversements, de fuites ou de dépôts solides. Ces substances, qui ne sont pas confinées et qui sont à des concentrations élevées, engendrent des sites contaminés à l'échelle locale (Carnicer et Victoria, 2007).

L'objectif de notre étude est d'analyser l'influence des hydrocarbures sur les caractéristiques physico-chimiques des sols de la station-service de Freha.

Nous avons séparé cette partie de notre étude en deux parties : une partie consacrée à l'échantillonnage sur le terrain et une autre partie à l'analyse en laboratoire.

I. Présentation de la zone d'étude

I.1 Présentation de la commune de Freha

La commune de Freha fait partie de la circonscription administrative de la daïra d'Azazga, selon les informations fournies par le plan directeur d'aménagement et de l'urbanisme (PDAU) en 2011. Elle se trouve à environ 30 km de la wilaya de Tizi-Ouzou, en partie sur le bassin versant sud de la chaîne côtière. Elle couvre une superficie de 68,55 km².

La commune a une altitude moyenne de 350m. Sa géographie est composée de plaines et de montagnes (DUC Tizi-Ouzou, 2011).

Le climat de la commune est de type méditerranéen continental avec des hivers extrêmement froids et des étés extrêmement chauds (température hivernale inférieure à 10°C et température estivale supérieure à 35°C). Les précipitations sur la commune sont estimées à environ 850 mm par an (DUC TiziOuzou, 2011).

Selon la direction de la programmation et du suivi budgétaire de la wilaya de Tizi-Ouzou (2019), elle compte 26 763 habitants.

La figure 2 présente la situation géographique de la région d'étude.



Figure N° 2 : Situation géographique de la région de Freha (Google maps, 2024).

I.2 Présentation générale de la station-service de Freha

Nous avons effectué notre échantillonnage dans la station de service de Freha, qui est bordée par la RN 12 à l'est, l'oued Sébaou à l'ouest à environ 470 mètres, les voies navigables au nord et les chantiers de construction au sud. Cette zone est constituée de différentes constructions commerciales, industrielles et résidentielles.

L'environnement immédiat du site d'étude est illustré sur la figure 3.



Figure N° 3 : Localisation géographique de la station service avec la description de l'entourage (Google earth, 2024).

II. Stratégie de prélèvement :

Le prélèvement a été réalisé en une seule journée, le 7 mars 2024. Les échantillons prélevés lors de notre expérience expérimentale ont été prélevés à proximité de la source de pollution, correspondant à la couche superficielle du sol (0-20 cm).

Nous avons délimité trois zones de prélèvement, que nous appellerons P1, P2 et P3. Chaque zone mesure 30 cm sur 20 cm. Le prélèvement de l'échantillon P1 a été réalisé très près de la

source de pollution à seulement 5 mètres de distance, à l'intérieur de la station-service. P2 a été prélevé à l'entrée de la station à 15 mètres d'écart de P1. Enfin, le dernier prélèvement P3 a été effectué à l'endroit le plus éloigné de la source de pollution, à environ 30 mètres de la source de pollution.

III. Traitement et préparation des sols

Les échantillons de sol prélevés sur le terrain ont été placés dans des sacs en plastique et transportés au laboratoire. Une fois au laboratoire, ils ont été étalés sur les paillasses, pendant 5 jours afin d'être séchés à l'air libre. Puis, les échantillons ont été broyés manuellement pour les réduire en petites particules fines, puis tamisés à travers un tamis avec des mailles de 2 mm. Ils sont ensuite étiquetés et conservés dans des sachets dans un endroit sec jusqu'à leur analyse. Les analyses physiques et chimiques sont réalisées au sein d'un laboratoire privé.

IV. Analyse physico-chimiques du sol

IV.1 Mesure du pH :

Pour mesurer le pH, on utilise le pH mètre. Nous avons pesé 10 g de terre fine que nous avons placée dans un bécher ; auquel nous avons ajouté 25 ml d'eau distillée. Après une agitation de 10 minutes, nous avons laissé la solution au repos pendant 2 heures. On a plongé l'électrode à l'intérieur du bécher qui contient la solution à analyser avec la nécessité de ne pas toucher les côtés et le fond du bécher. Ensuite, on a procédé à la lecture du résultat qui s'affiche sur l'écran de l'appareil. À la fin de chaque mesure, il faut rincer l'électrode avec de l'eau distillée entre deux échantillons.

IV.2 Détermination de la texture

Nous avons choisi de réaliser le test du bocal. 20 g de sol ont été pesés, puis nous avons ajouté 100 ml d'eau distillée.

Ensuite, nous avons laissé le mélange se mélanger pendant quelques minutes afin de le rendre homogène et nous l'avons laissé décanter pendant 24 heures.

IV.3 Détermination de la conductivité électrique

Pour mesurer ce paramètre, on a utilisé un conductimètre qui est exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nous avons pesé 20 g de sol, que nous avons placée dans un bécher ; auquel nous avons ajouté 50 ml

d'eau distillée. Après une agitation de 2 minutes, nous avons laissé la solution au repos pendant 30 minutes. Ensuite, nous l'avons filtré puis refiltré et nous lui avons ajouté 2 gouttes d'HexaMétaPhosphate de sodium à 0,1 %. Nous avons placé l'électrode du conductimètre à l'intérieur du bécher qui contient la solution. Par la suite, on a examiné le résultat qui apparaît sur l'écran de l'appareil.

IV.4 Mesure de l'humidité du sol

Nous avons pesé 5 g de sol tamisé à 2 mm. En utilisant une étuve à 105 °C, nous allons laisser l'échantillon sécher pendant 24 heures. Après le séchage, une seconde pesée a été réalisée.

La formule suivante représente le taux d'humidité en % :

$$H \% = \frac{P_1 - P_0}{P_0} \times 100$$

Avec :

- P1 : poids de la prise du sol (g).
- P0 : poids de la prise du sol après séchage à 105°C (g).

IV.5 Dosage du calcaire total

Au départ, nous avons pesé 1 g de terre tamisée à une taille de 2 mm, puis nous l'avons placé dans un bécher de 250 ml. 20 ml d'acide chlorhydrique à 1 N et 100 ml d'eau distillée ont été ajoutés à cette solution.

Par la suite, le bécher est placé sur le bain de sable à une température de 60°C et agité de temps en temps pendant 45 minutes, puis laissé bouillir pendant quelques minutes. Une fois que les béchers ont refroidi, nous avons passé le contenu des béchers à travers une fiole de 250 ml tout en lavant soigneusement la terre.

Après avoir ajusté 250 ml, nous avons prélevé 100 ml du filtre auquel nous avons ajouté 3 gouttes de phénolphtaléine à une teneur de 2 %, puis on a titré le reste d'acide chlorhydrique par la soude à 1 N. Le passage vers le rouge violacé a bien été effectué.

IV.6 Dosage du carbone organique

Cette mesure repose sur l'oxydation du carbone par le bichromate de potassium dans un milieu acide (acide sulfurique) hautement acide.

Après avoir placé 1g de terre fine dans un ballon de 250 ml, nous avons ajouté 10 ml de solution de bichromate et 15 ml d'acide sulfurique concentré.

Ensuite, nous avons chauffé légèrement le ballon pendant 5 minutes à partir de la première goutte de condensation. Nous avons attendu que cela refroidisse avant de le verser dans un ballon de 200 ml et de l'ajuster avec les eaux de rinçage.

Une fois l'homogénéisation terminée, nous avons prélevé une quantité de 20 ml à l'aide d'une pipette, que nous avons diluée avec 200 ml d'eau distillée, puis ajouté une pincée de fluorure.

Ajouter de la poudre de sodium et 4 gouttes de diphénylamine. Enfin, nous avons utilisé une solution de sel de Mohr à 0.2N pour identifier l'excès de bichromate.

Le taux de carbone organique est calculé selon la formule suivante :

$$\frac{(A-B) \times 10 \times 0,004}{P \times A} \times 100$$

Avec :

A: Volume de sel de Mohr utilisé pour titrer le blanc.

B : Volume de sel de Mohr utilisé pour titrer l'échantillon à doser.

10 : Volume de bichromate ajouté.

0,004: Nombre de grammes de carbone par mole de bichromate.

P : Poids de l'échantillon titré exprimé sur base sèche (g).

100 : Facteur pour obtenir un pourcentage.

IV.7 Dosage de la matière organique

La teneur en MO est obtenue en multipliant le taux du carbone organique par le coefficient 1,724 selon la formule suivante :

$$\%MO = \%C \times 1,724$$

IV.8 Dosage des anions

- **Les carbonates :** cette détermination repose sur la neutralisation d'un volume (10ml) de solution par un acide minéral, dilué, en présence d'un indicateur coloré. Pour cela,

il faut prélever une fraction aliquote de 10 ml de l'extrait du sol et y ajouter quelques gouttes de phénolphtaléine.

- ✓ Si une coloration rouge se développe, titrer doucement avec du H_2SO_4 à 0,1N, jusqu'à décoloration totale.
- ✓ S'il n'y a pas de coloration, après addition de phénolphtaléine, il n'y a pas de carbonates dans l'échantillon.
- **Les bicarbonates** : Après dosage des carbonates, ajouter dans la même prise, quelques gouttes de méthyle orange, et titrer par le même acide (H_2SO_4) jusqu'au virage du jaune au rouge.
- **Les chlorures** : Ajouter dans une prise d'essai d'extrait du sol, 1 à 8 gouttes de chromate de potassium à 5%, puis titrer avec le nitrate d'argent en solution à 0,02N.

V. Analyse statistique

Les données obtenues ont été analysées par une analyse de variance (ANOVA) à un seul facteur et par le test de Kruskal-Wallis lorsque la normalité n'est pas vérifiée.

Nous avons vérifié la normalité des données en utilisant le test de Shapiro-Wilk, avec une p-value supérieure à 0.05 pour chaque paramètre étudié.

Le logiciel R4.1.1 a été utilisé pour effectuer ces analyses, et la différence est considérée comme significative lorsque la p-value est inférieure à 0,05.

I. Résultats

La caractéristique du sol réside dans ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques. Les liens entre ces diverses caractéristiques déterminent la capacité et les limites du sol à être un support de biomasse et influencent de manière plus générale l'utilisation des terres.

Pour évaluer les conséquences des hydrocarbures sur les caractéristiques du sol, nous avons réalisé des analyses physiques et chimiques sur des prélèvements de sol provenant d'une station-service de la région de Freha.

I.1 Potentiel d'Hydrogène

Il a été observé une augmentation du pH en s'éloignant de la source de pollution. Une diminution des valeurs de pH en fonction du gradient de pollution :

8,19 pour le P1, 8,21 pour le P2 et 8,22 pour le P3 (Figure 4). Les valeurs enregistrées dans la présente étude indiquent que le sol est alcalin.

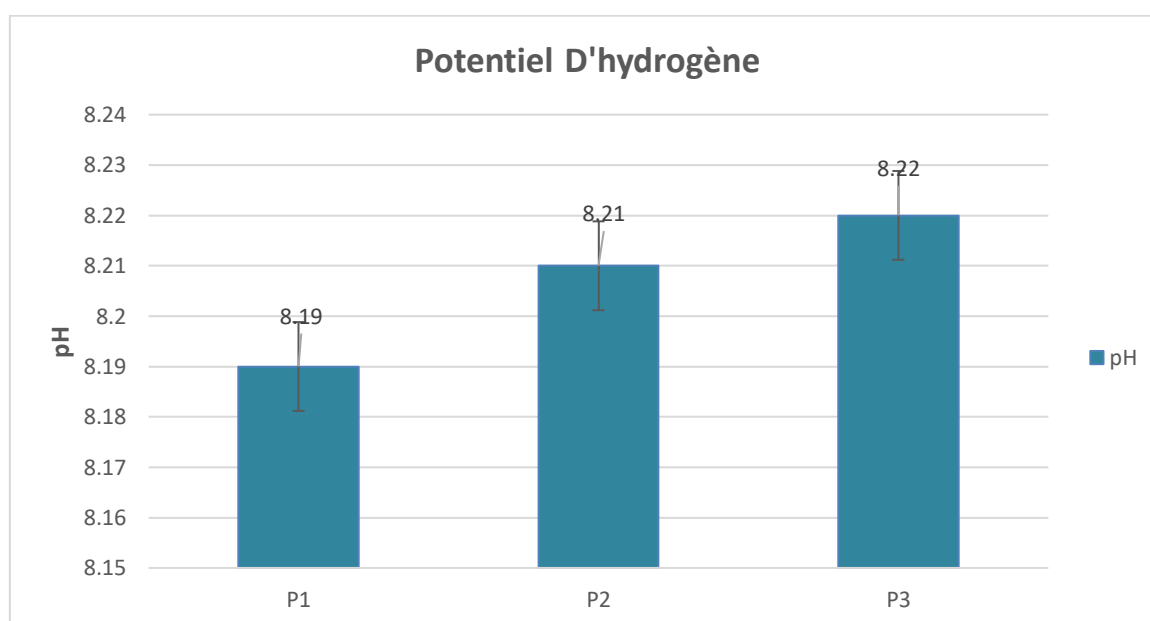


Figure N° 4 : Variations du pH dans les sols étudiés.

Le test de l'ANOVA a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les différents points d'échantillonnages pour le paramètre pH. Nous avons observé une p-value de 0,0135.

I.2 Granulométrie

Les résultats dans P1 ont montré 35% de sable, 20% de limon et 45% d'argile donnant lieu à la classe texturale équilibrée. P2 présentait 35% de sable, 30% de limon et 35% d'argile correspond à la classe texturale équilibrée. P3 avec 50% de sable, 25% de limon et 25% d'argile donnant lieu à une classe texturale équilibrée. On observe que les hydrocarbures n'ont pas affecté la texture du sol (Figure 5).

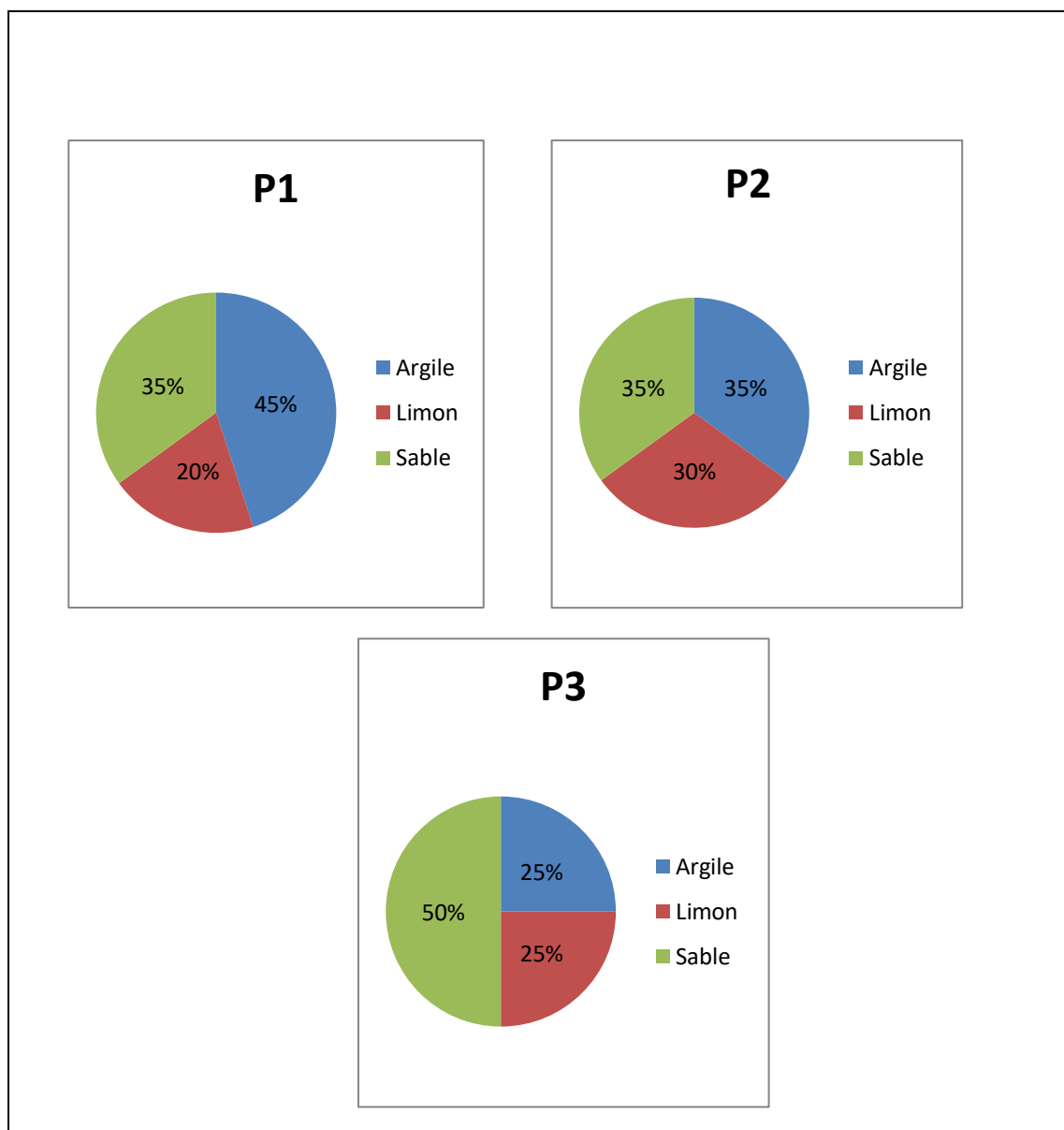


Figure N° 5 : Composition granulométrique des sols étudiés.

I.3 Conductivité électrique

Selon les résultats présentés dans la figure 6. Nous remarquons une augmentation du taux de la conductivité électrique en s'éloignant de la source de pollution. Le P3 présente ainsi, la valeur la plus importante qui est de 0,24 mS/cm, puis elle diminue dans le P2 avec une valeur de 0,14 mS/cm, jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur minimale de 0,12 mS/cm dans le P1.

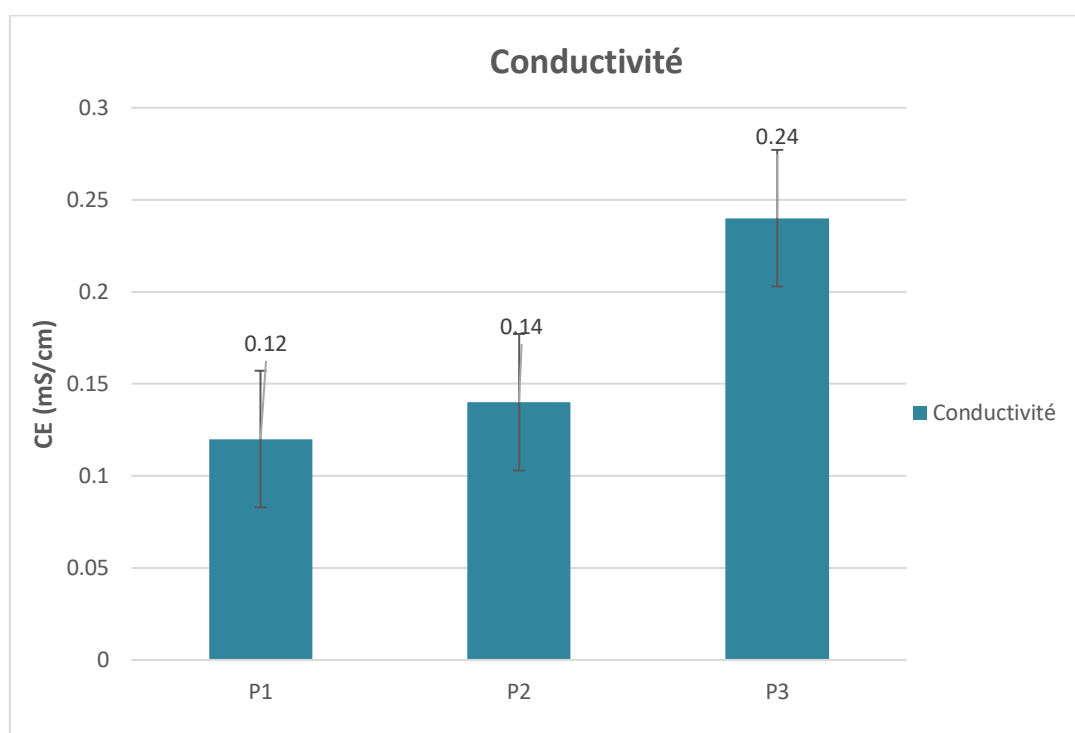


Figure N° 6 : Conductivité électrique des sols étudiés.

Le test de Kruskal Wallis a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les différents points d'échantillonnages pour le paramètre conductivité. Nous avons observé une p-value de 0,03115.

I.4 Humidité

La mesure du taux d'humidité des échantillons des sols contaminés par les hydrocarbures montre des niveaux d'humidité différents de 2,06% à 3,58%, par rapport à la source de pollution. Le P1 est proche de la pollution avec une humidité de 2,06%, tandis que le P2 est moyennement proche avec une humidité de 2,59%. En revanche, le P3 est assez éloigné de la source de pollution avec une humidité de 3,58%. Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure 7.

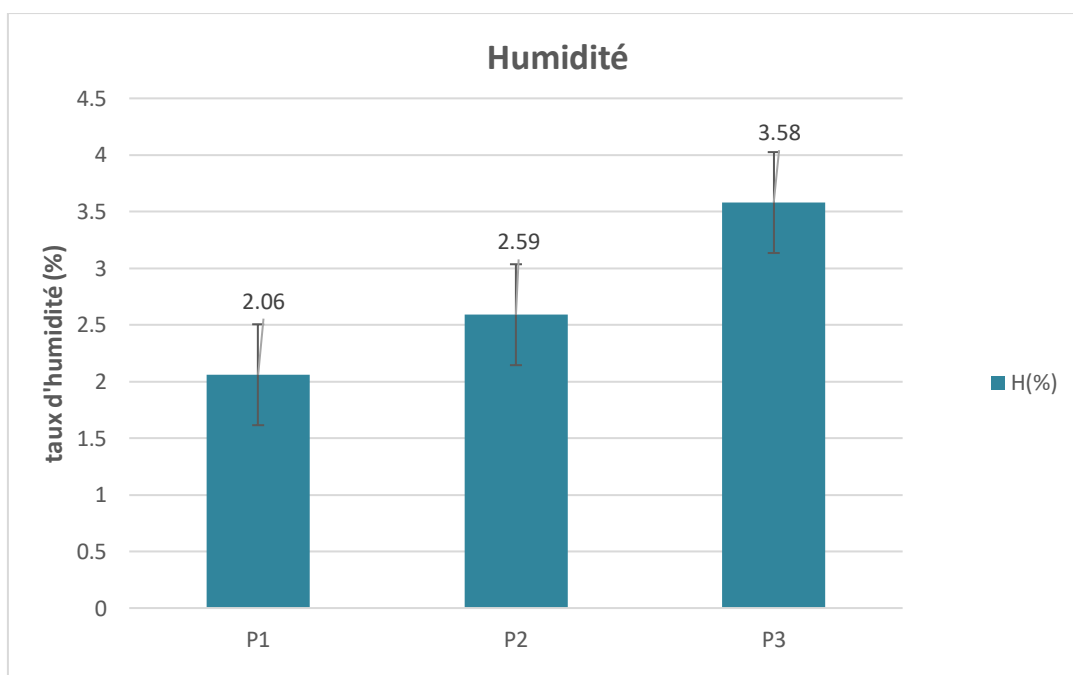


Figure N° 7 : Taux d'humidité des sols étudiés.

Plus on se rapproche de la source de pollution, plus l'humidité du sol est faible : les humidités du sol de 2,06 % et 2,59 % peuvent indiquer une faible teneur en eau dans les zones les plus proches du centre de pollution.

À mesure que l'on s'éloigne de la source de pollution, l'humidité du sol augmente : la valeur d'humidité dans le sol P3 est de 3,58 %, indique une teneur en eau plus élevée dans le sol éloigné du centre de pollution.

Le test de Kruskal Wallis a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les différents points d'échantillonnages pour le paramètre humidité. Nous avons observé une p-value de 0,02571.

I.5 Calcaire total

Les résultats (Figure 8) montrent que l'augmentation du calcaire des sols étudiés en s'éloignant de la source de pollution. 4,7% pour P1, 5,3% pour P2, et 7,1% pour P3.

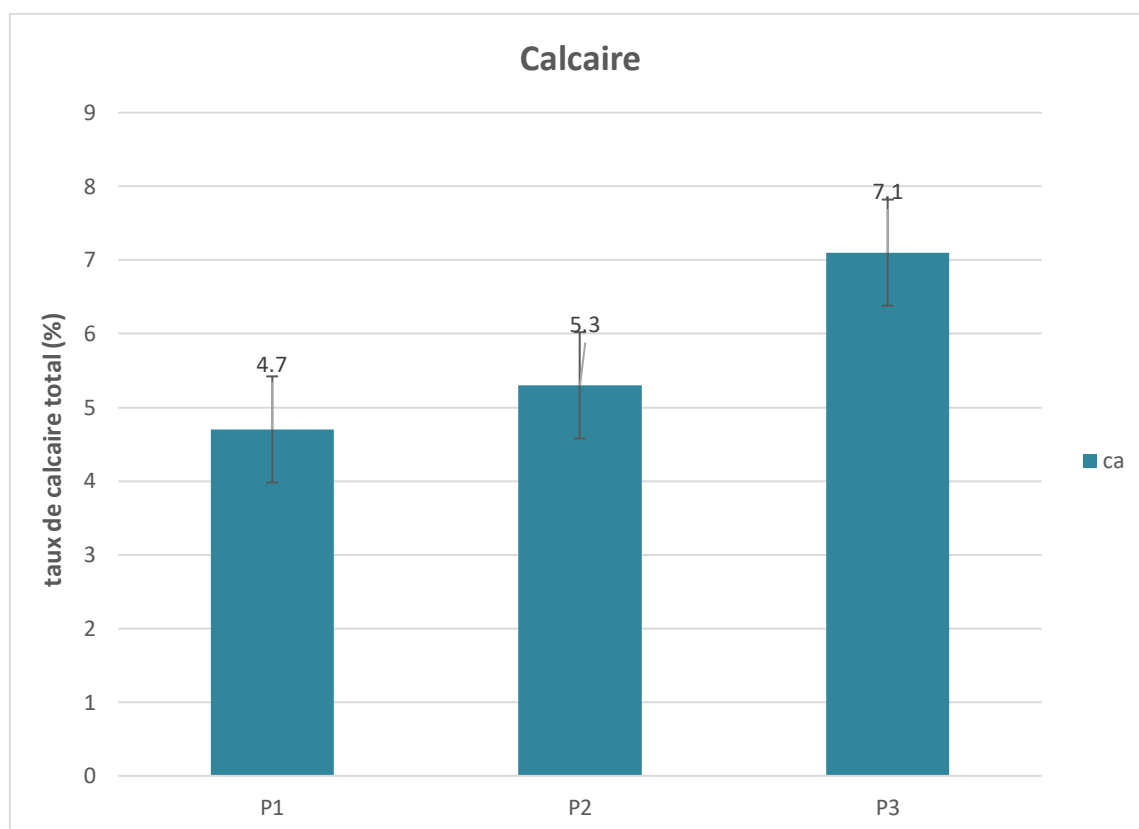


Figure N° 8 : Variation du calcaire total dans les sols étudiés.

Le test de Kruskal Wallis a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les différents points d'échantillonnages pour le paramètre calcaire. Nous avons observé une p-value de 0,02571.

I.6 Carbone organique

Les résultats de la figure 9, montrent que la valeur la plus élevée en carbone organique est obtenue dans le sol le plus proche de la source de pollution avec P1 = 2,5% puis on note une diminution au niveau de P2 avec un taux de 2%, et enfin P3 renferme un taux de 1,2%.

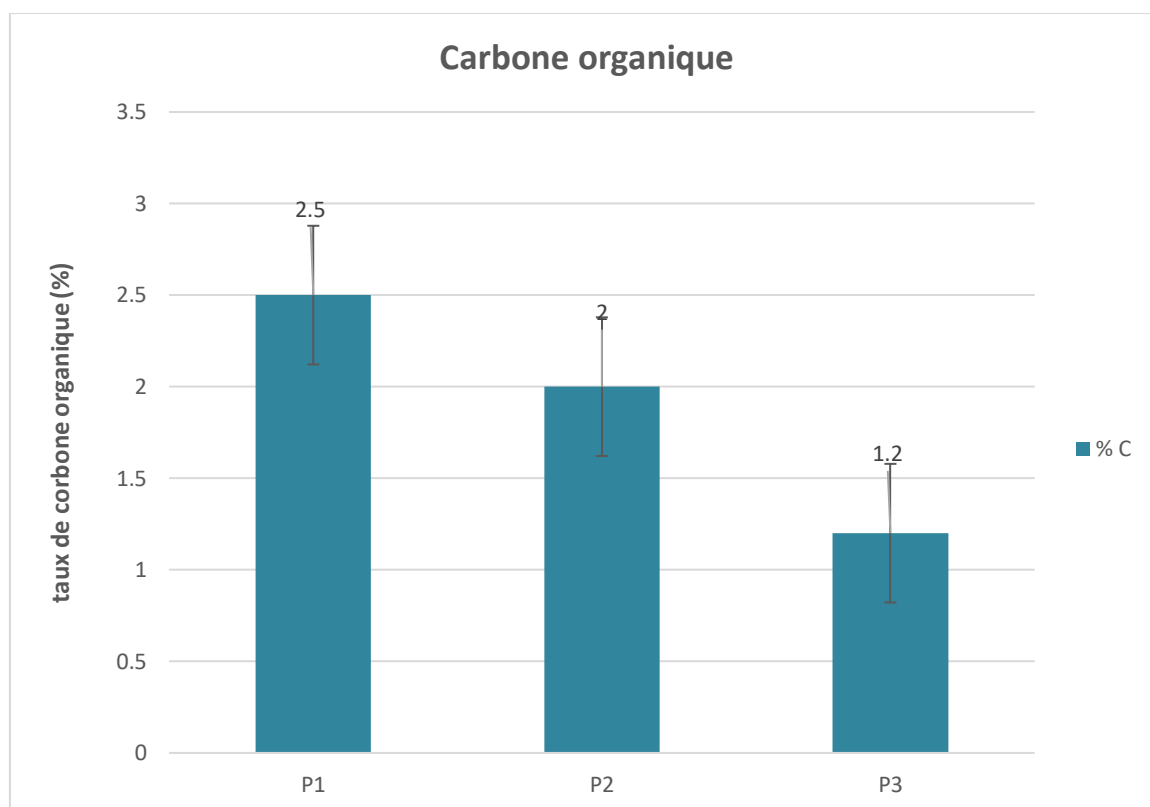


Figure N° 9 : Taux de carbone organique des sols étudiés.

Le test de l'ANOVA a montré une différence très hautement significative ($p < 0,05$) entre les différents points d'échantillonnages pour le paramètre carbone. Nous avons observé une p-value de 0,0004899.

I.7 Matière organique

Les résultats obtenus (Figure 10) montrent que La variation du taux en matière organique suit celle du carbone organique, la valeur extrême est enregistrée dans le P1 (4,31%). Pour le P2, nous avons enregistré un taux égal à 3,45%. La valeur minimale est de 2,07% et est enregistrée au niveau du SP3.

Les résultats obtenus dans la présente étude indiquent que le P3 possède un taux modéré en matière organique. Le P2 et le P1 possèdent un taux élevé en matière organique.

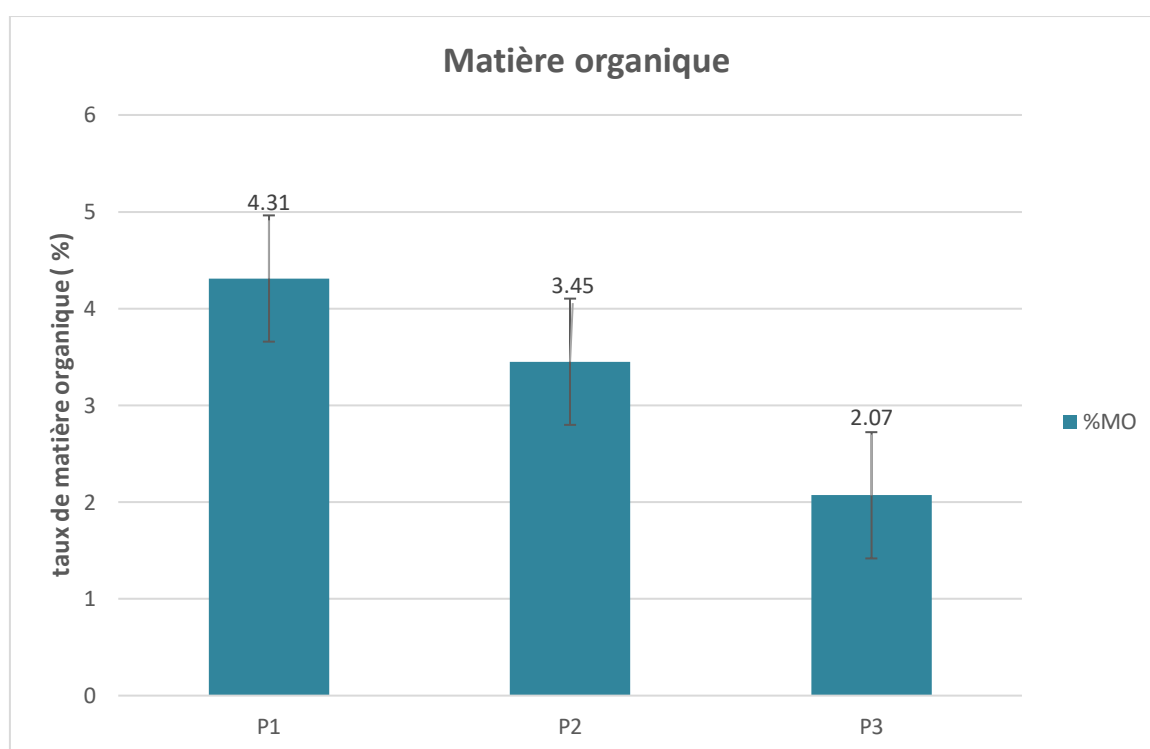


Figure N° 10 : Taux de la matière organique des sols étudiés.

Le test de l'ANOVA a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les différents points d'échantillonnages pour le paramètre matière organique. Nous avons observé une p-value de 0,0004901.

I.8 Sels solubles

I.8.1 Bicarbonates

Selon les résultats de la figure 11, le P1 présente le taux de bicarbonate le plus élevé qui est égale à 0,73 Meq/l, une diminution est notée dans P2 avec un taux de 0,52 Meq/l, enfin le P3 quant à lui présente un taux de 0,26 Meq/l qui est le plus faible.

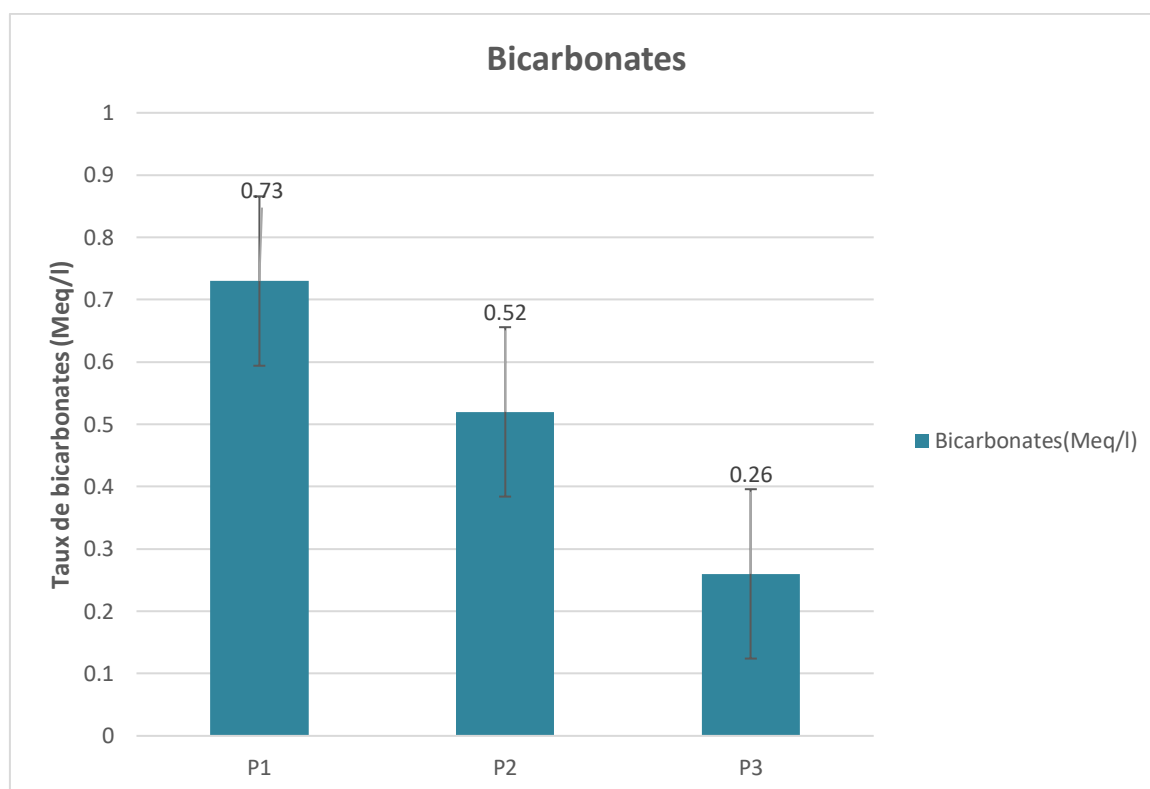


Figure N° 11 : Taux de bicarbonates des sols étudiés.

Le test de l'ANOVA a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les différents points d'échantillonnage pour le paramètre bicarbonates. Nous avons observé une p-value de 1.236e-07.

I.8.2 Chlorures

Selon les résultats de la figure 12, nous remarquons une diminution du taux de chlorure en s'éloignant de la source de pollution, avec P1= 0,38 Meq/l, P2 = 0,28 Meq/l et P3 = 0,23 Meq/l.

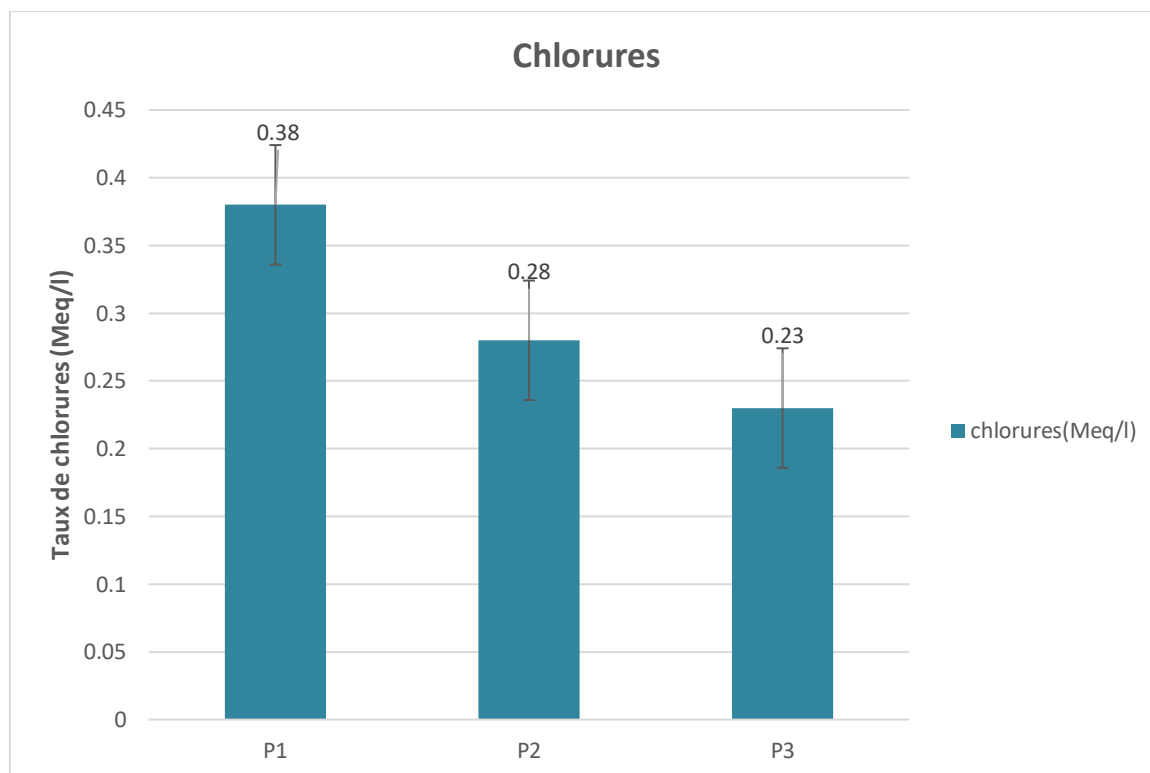


Figure N° 12 : Taux de chlorures des sols étudiés.

Le test de l'ANOVA a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les différents points d'échantillonnages pour le paramètre chlorures. Nous avons observé une p-value de $1.229e-05$.

II. Discussion

Les résultats obtenus sur le pH des trois sols suggèrent un environnement alcalin pour les trois sols. Le pH tend à baisser en fonction du gradient de pollution, ce qui signifie que le pH du P1 est plus bas que celui du P3. Le test d'ANOVA a montré une différence significative entre les trois sols, ce qui confirme l'influence des hydrocarbures sur le pH.

Contrairement aux résultats obtenus par Cherfaoui et Dahmouh (2023) qui indiquent que le pH a tendance à diminuer dans les strates qui sont loin de la source de pollution par rapport au pH des sols des strates proches de la source de pollution.

D'après Njoku et al. (2009), la diminution du pH est due à la dégradation des hydrocarbures. Elle pourrait être provoquée par l'accumulation des acides organiques produits lors de cette dégradation dans le sol.

Les résultats de la granulométrie indiquent que le sol P1 contient une quantité élevée d'argile par rapport aux autres composants, ce qui en fait un sol argileux. Le sol P2 présente une proportion équilibrée entre le sable, le limon et l'argile : il peut être qualifié de sol limono-argileux. Le sol P3 contient une quantité importante de sable, ce qui en fait un sol sableux.

Les résultats de la conductivité électrique montrent qu'il y a une différence très hautement significative. Contrairement aux résultats de Lachemot et Lamrani (2022), qui ont conclu que les hydrocarbures n'ont pas d'effets sur la conductivité électrique du sol.

La mesure du taux d'humidité des échantillons de sol montre que le taux d'humidité du sol P1 est inférieur au taux d'humidité des sols P2 et P3. Ces résultats s'accordent à ceux de Cherfaoui et Dahmouh (2023) qui attestent que le taux d'humidité est plus important dans les strates non contaminées.

D'après Bergue (1985), il a été démontré que les terres non contaminées par les hydrocarbures présentent une humidité plus élevée que les terres contaminées. Les résultats du test de Kruskal Wallis concernant l'humidité des échantillons étudiés ont montré une différence significative. À cet effet, nous concluons que les hydrocarbures ont des effets sur l'humidité du sol.

Les résultats obtenus concernant le calcaire des trois sols indiquent un sol peu calcaire pour le P1, modérément calcaire pour le P2 et le P3. On a observé que le taux total de calcaire diminuait lorsque la teneur en hydrocarbures augmentait : la valeur maximale est enregistrée au niveau du P3, tandis que la valeur minimale est enregistrée au niveau du P1.

Le test de Kruskal Wallis a révélé qu'il y a une différence très hautement significative entre les trois sols, ce qui confirme que les hydrocarbures ont des effets sur le calcaire.

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Lachemot et Lamrani (2022) ainsi que ceux obtenus par Cherfaoui et Dahmouh (2023) qui avaient constaté une augmentation des valeurs du calcaire dans le sol témoin et une diminution remarquable des valeurs du calcaire dans les sols très pollués.

D'après Baize (1989), ces fluctuations du taux de calcaire peuvent être attribuées à l'ajout d'hydrocarbures. Contrairement aux résultats de Degranges (1977) qui avait conclu que la composition chimique du sol témoin et du sol contaminé par les hydrocarbures était peu différente en termes d'éléments majeurs, ce qui implique que la contribution des hydrocarbures à ces éléments est faible par rapport à la teneur du sol.

Les résultats obtenus concernant le carbone organique des trois sols indiquent que l'échantillon du P1 contient une quantité plus élevée de carbone que les échantillons des P2 et P3, en raison de l'introduction d'hydrocarbures dans le sol par les rejets de la station-service.

Selon Godwin et al. (2013), il est démontré que le taux de carbone a augmenté dans le sol pollué par rapport au sol témoin, en raison des activités des hydrocarbures qui impliquent l'action de microorganismes qui libèrent du carbone dans le sol.

Le taux de matière organique est déterminé à partir du taux de carbone organique. Ceci explique que les quantités de carbone déterminées au niveau des sols proviendraient en majeure partie du carbone apporté par les hydrocarbures.

Selon les résultats du taux de matière organique, il existe une différence très hautement significative entre les trois sols. D'après la comparaison des sols P2 et P1, le P3 présente la valeur la plus faible en matière organique, tandis que la valeur maximale est enregistrée au niveau du P1, ce qui indique qu'elle augmente avec l'augmentation de la teneur en hydrocarbures du sol.

Selon Fayuelle (2013), il existe une relation complexe entre la présence de contamination en hydrocarbures et les niveaux de matières organiques dans les sols.

Les résultats obtenus pour mesurer la quantité de sels solubles indiquent une augmentation de leur concentration en se rapprochant du centre de la pollution.

Les résultats que nous avons obtenus sont en accord avec ceux de Lachemot et Lamrani (2022) ainsi que ceux de Cherfaoui et Dahmouh (2023), qui rapportent qu'il y a une augmentation de la teneur du sol en sels solubles en fonction du gradient de pollution.

Notre travail avait pour but d'analyser l'impact des hydrocarbures sur les propriétés physiques et chimiques du sol prélevé de la station-service de Freha.

Au terme de cette étude, la majorité des paramètres physico-chimiques sont affectés et les principales conclusions peuvent être résumées de la manière suivante :

Concernant le potentiel d'hydrogène, les valeurs enregistrées indiquent un milieu alcalin pour les trois sols.

Les résultats obtenus pour la conductivité électrique indiquent que les sols sont non-salins, et que les hydrocarbures ont un effet significatif sur ce paramètre.

Le taux d'humidité diffère d'un sol à l'autre et dépend de la pollution. Nous avons observé une augmentation du taux d'humidité en allant de P1 à P3, ce qui suggère que la présence d'hydrocarbures favorise une rétention d'eau faible dans le sol.

Les résultats obtenus sur le calcaire des trois sols montrent un sol peu calcaire pour le P1, un sol modérément calcaire pour le P2 et le P3. En s'approchant du point du rejet, le taux du calcaire total diminue progressivement.

La teneur en carbone diffère significativement selon les sols. Il est plus élevé dans le sol P1.

En ce qui concerne le taux de la matière organique, les résultats montrent une différence significative entre les sols : modéré dans le P3, élevé dans le P2 et le P1.

Les sels solubles (bicarbonates et chlorures) sont plus élevés à mesure que l'on se rapproche du centre de pollution.

Les résultats obtenus démontrent clairement que la présence d'hydrocarbures dans les sols représente un problème majeur dont il sera nécessaire de prendre en charge en raison de leurs effets néfastes sur les caractéristiques physico-chimiques du sol.

En se basant sur cette étude, il semble que la méthode de traitement biologique soit une solution solide et prometteuse qui traitera la pollution des sols et éliminera les hydrocarbures présents dans les terres contaminées. La consommation d'énergie et d'argent est réduite, tout en améliorant le paysage. Il s'agit d'une approche visant à rétablir les écosystèmes contaminés en utilisant des organismes vivants tels que des bactéries, des plantes et des champignons.

Il serait également intéressant d'étudier l'emplacement du réseau de distribution de produits pétroliers et de concevoir des cartes pour répertorier les sites contaminés de faible à forte contamination au niveau de la station-service où une décontamination est nécessaire.

Références bibliographiques

Abdely C., 2006. Bioremédiation / phytoremédiation, Institut supérieur de l'éducation et de la formation continuer : SN232, p-p.6-8.

Ali Ahmed, S. 2011. Essai de réhabilitation d'un sol contaminé par les hydrocarbures à l'aide des tensioactifs obtenus par voie biologique. Mémoire de Magister en sciences agronomiques INRA d'Alger, 135 p.

Archambault P., Schloss IR., Grant C., Plante S. 2017. Les hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent - Enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Notre Golfe, Rimouski, Qc, Canada, 324 p.

Baize D. 2016. Petit Lexique de pédologie. Edition Christel Desmaris, Nancy, France, 286 p.

Battaz, S. 2009. Etude comparative de la dégradation d'une terre polluée par les hydrocarbures lourds. Mémoire de Magister en chimie, Université 20 Août 1955 de Skikda, 122 p.

Benfardia H., Chenine A. 2014. Effets de la nature du sol sur l'efficacité d'un dispositif de biodépollution à l'aide des bactéries hydrocarboruclastes. Mémoire de Master académique en Microbiologie appliquée. Université Kasdi Merbah Ouargla, 72p.

Bouzi I. 2019. Développement et évaluation d'une méthode à base de mousse pour l'oxydation améliorée de sols insaturés contaminés par des hydrocarbures. Thèse de Doctorat en chimie, Université Bourgogne Franche-Comté, 221 p.

Calvet, R. 2003. Le sol propriétés et fonctions. France Agricole Editions, 455p.

Carnicer P., Victoria M. 2007. La pollution ponctuelle des sols : Le Cas Des Stations-service dans La Région De Bruxelles -Capitale. Gestion de l'environnement Université Libres Bruxelles, 154 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2015. Hydrocarbures pétroliers : caractéristiques, devenir et criminalistique environnementale, 41p.

Chantigny, M., & Angers, D. 2005. Activité microbiologique et qualité des sols : quoi de neuf sous nos pieds. édition CRAAQ, Pp 2-10.

Clément M., PIELTAIN F. 2003. Analyse chimique du sol. Edition TEC&DOC ,387p.

Colin, F. 2000. Pollution localisé des sols et sous sols par les hydrocarbures et par les solvants chlores. Edition TEC et DOC, 417p.

Références bibliographiques

- Deprince, A. 2003.** La faune du sol : diversité, méthodes d'étude, fonctions et perspectives. Le courrier de l'environnement, n°49, juin 2003.
- Duchaufour, P. 2001.** Introduction à la science du sol. Sol, végétation et environnement. 6ème édition. MASSON. Paris Milan Barcelone, 498p.
- Duchaufour P., Faivre P., Poulenard J., Gury M. 2018.** Introduction à la science du sol 7e édition Sol, végétation, environnement. Dunod, 472 p.
- Erstfeld, K. M., Snow-Ashbrook, J. 1999.** Effects of chronic low-level PAH contamination of soil invertebrate communities. *Chemosphere*, 39(12), 2117– 2139.
- Fattal, P. 2008.** Pollution des cotes par les hydrocarbures. Presse universitaire de Rennes. 498p.
- Fayeulle A. 2013.** Etude des mécanismes intervenant dans la biodégradation des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques par les champignons saprotrophes telluriques en vue d'applications en bioremédiation fongique de sols pollués. Thèse de Doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, France, 204 p.
- Gobat, J.M., Aragno, M., Matthey, W. 2010.** Le sol vivant. Bases de pédologie-Biologie des sols. 3e édition presses polytechniques et universitaires romandes, 817p.
- Godwin U., Akpan, Bassey, T., & Udoh. 2013.** Evaluation of some properties of soils affected by diesel oil pollution in Uyo, Niger Delta area, Nigeria. *Journal of biology, agriculture and healthcare*: 33-43.
- Gruyer N., Groleau P., Ouellet A., & Dupont R. 2015.** Hydrocarbures pétroliers : caractéristiques, devenir et criminalistique environnementale – Études GENV222 et GENV23, Évaluation environnementale stratégique globale sur les hydrocarbures. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 55p.
- Hassaine, A. 2016.** Thèse de doctorat : biodégradation des hydrocarbures (pétrole brut et kérosène) par la microflore microbienne des eaux de la région de Skikda faculté des sciences département de biologie. Université Badji Mokhtar – Annaba. 189p.
- Henin O., Hasnaou A., 1969.** Effets des hydrocarbures sur les propriétés physicochimiques du sol et essai de phytoremediation. Mémoire d'ingénieur d'état en biologie. U.M.M.T.O, 35p.
- Hong S., Piao S., Chen A., Liu Y., Liu L., Peng S., ... & Zeng H. 2018.** Afforestation neutralizes soil pH. *Nature communications*, 9(1): 1-7.
- Koller E. 2004.** Traitement des pollutions industrielles (eau, air, déchet, sol, boues). Edition DUNOD Paris., 424 p.

Références bibliographiques

- Koller E., 2009.** Traitements des pollutions industrielles : Eau, Air, Déchets, Sols, Boues. Edition Dunod, Paris. 569p.
- Martinelli, I. 1999.** Infiltration des eaux de ruissellement pluviale et transfert de polluants associées dans le sol, urbain ; vers une approche globale et pluridisciplinaire. Thèse de doctorat ,Institut Nationale des Sciences appliquées de Lyon, 203 p.
- Mathieu, C., Pieltain, F. 2003.** Analyse chimique des sols. Paris : Tec&Doc, 265p.
- Milton, C. 2007.** Caractérisation des communautés procaryotiques impliquées dans la bioremédiation d'un sol pollué par des hydrocarbures et développement d'outils d'analyse à haut débit :biopuces adn. Thèse de doctorat ,Université Blaise Pascal , Ecole doctorale des sciences de la vie et de la santé, 441 p.
- Murphy E.M., Zachara J.M.,Smith S.C., 1990.** Influence of mineral-bound humic substances on the sorption of hydrophobic organic compounds. Environmental science and technology.vol.24N° 10.pp : 150-169.
- Njoku N., Akinola O., Oboh B.O. 2009.** Phytoremediation of crude oil contaminated soil. Edition mars land press, 85p.
- Okrent D. 1999.** Une équité intergénérationnelle et son conflit avec l'équité Intergénérationnelle et sur la nécessité de politiques pour guider la réglementation de L'élimination des déchets et d'autres activités présentant des risques à très long terme. Analyse desrisques,19 : 877–901.
- Origo N., Wicherek S. & Hotyat M. 2012.** Réhabilitation des sites pollués par phytoremédiation. Vertigo, 12(2), 14p.
- Picot A., Montandon F. 2013.** Écotoxicochimie des hydrocarbures. Lavoisier, 407p.
- Pimsee, P. 2014.** Etude du comportement des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) lors du déversement accidentel d'hydrocarbures en eaux continentales. Thèse de doctorat , Université de Toulouse. 175 p.
- Ramade, F. 1992.** Précis d'écologie. 6^{ème} édition masson.paris, 300p.
- Ravelojaona, J., Managneo, M. L., & Andriantsoa, E. (2020).** Modélisation de la variation du mode d'infiltration de l'eau dans le sol selon sa porosité. Afrique SCIENCE 16(1): 315-328.
- Soltani, M. 2004.** Distribution liquide et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram Négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de Doctorat de l'université paris 6, spécialité chimie analytique, 284p.

Références bibliographiques

Soltani D., 2004. Distribution liquide et voie métabolique chez quartes bactéries gram négative hydrocarbonoclaste. Variation en fonction de sources de carbone. Docteur de l'université paris, P48

Soltner, D. 2011. Les bases de la production végétale (éd. Tome I- le sol et son amélioration 25ème Edition). Collection science et technique agricole, 472 p.

Tétreault J. 2016. Agent of deterioration: Pollutants. Canadian Conservation Institute, 23p.

Vidali M. 2001. Bioremédiation: an overview. Pure and applied chemistry 73(7): 1163-1172.

Annexe I : Analyses physico-chimiques du sol de la station-service de Freha.**Tableau 01 : Résultats d'analyses du pH**

	P1	P2	P3
Répétition 1	8,19	8,21	8,22
Répétition 2	8,20	8,21	8,21
Répétition 3	8,19	8,20	8,23
Moyenne	8,19	8,21	8,22

Tableau 02 : Résultats d'analyses de la conductivité électrique (ms/cm)

	P1	P2	P3
Répétition 1	0,12	0,13	0,24
Répétition 2	0,12	0,15	0,25
Répétition 3	0,13	0,14	0,23
Moyenne	0,12	0,14	0,24

Tableau 03 : Résultats d'analyses de l'humidité (%)

	P1	P2	P3
Répétition 1	2,06	2,59	3,59
Répétition 2	2,07	2,59	3,57
Répétition 3	2,06	2,60	3,58
Moyenne	2,06	2,59	3,58

Tableau 04 : Résultats d'analyses du calcaire total (%)

	P1	P2	P3
Répétition 1	4,7	5,3	7,1
Répétition 2	4,7	5,4	7,2
Répétition 3	4,8	5,2	7,1
Moyenne	4,7	5,3	7,1

Tableau 05 : Résultats d'analyses du carbone et de la matière organiques (%)

	P1		P2		P3	
	Carbone	MO	Carbone	MO	Carbone	MO
Répétition 1	2,7	4,65	1,98	3,41	1,1	1,90
Répétition 2	2,5	4,31	2,02	3,48	1,5	2,59
Répétition 3	2,3	3,97	2	3,45	1	1,72
Moyenne	2,5	4,31	2	3,45	1,2	2,07

Tableau 06 : Résultats d'analyses de Bicarbonates (Meq/l)

	P1	P2	P3
Répétition 1	0,75	0,52	0,28
Répétition 2	0,73	0,52	0,26
Répétition 3	0,71	0,53	0,24
Moyenne	0,73	0,52	0,26

Tableau 07 : Résultats d'analyses de Chlorures (Meq/l)

	P1	P2	P3
Répétition 1	0,38	0,26	0,23
Répétition 2	0,38	0,29	0,22
Répétition 3	0,39	0,29	0,24
Moyenne	0,38	0,28	0,23

Annexe II: Résultats des analyses statistiques avec le logiciel R

1. Résultats du test ANOVA des paramètres physicochimiques :

pH

```
> anova(reg.aov)
Analysis of Variance Table

Response: pH
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
point  2 0.00106667 0.00053333    9.6 0.0135 *
Residuals 6 0.00033333 0.00005556
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Carbone organique

```
> reg.aov=lm(c~point)
> anova(reg.aov)
Analysis of Variance Table

Response: c
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
point  2 2.5800  1.2900  35.054 0.0004899 ***
Residuals 6 0.2208  0.0368
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Matière organique

```
> reg.aov=lm(mo~point)
> anova(reg.aov)
Analysis of Variance Table

Response: mo
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
point  2 7.6582  3.8291  35.05 0.0004901 ***
Residuals 6 0.6555  0.1092
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Bicarbonates

```
> reg.aov=lm(bi~point)
> anova(reg.aov)
Analysis of Variance Table

Response: bi
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
point  2 0.33296 0.166478  599.32 1.236e-07 ***
Residuals 6 0.00167 0.000278
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Chlorures

```
> reg.aov=lm(ch~point)
> anova(reg.aov)
Analysis of Variance Table

Response: ch
      Df  Sum Sq  Mean Sq F value    Pr(>F)
point   2 0.036689 0.0183444    127 1.229e-05 ***
Residuals  6 0.000867 0.0001444
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

2. Résultats du test de Kruskal-Wallis des paramètres physicochimiques :

Conductivité électrique

```
> kruskal.test(ce~point)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  ce by point
Kruskal-Wallis chi-squared = 6.9379, df = 2, p-value = 0.03115
```

Humidité

```
> kruskal.test(h~point)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  h by point
Kruskal-Wallis chi-squared = 7.322, df = 2, p-value = 0.02571
```

Calcaire total

```
> kruskal.test(ca~point)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  ca by point
Kruskal-Wallis chi-squared = 7.322, df = 2, p-value = 0.02571
```

Annexe III : Les normes d'interprétation des résultats pH (SSDS, 1993).

Fortement acide	Acide	Légèrement acide	Neutre	Légèrement alcalin	Alcalin
< 5,0	5,0 - 6,0	6,0 - 6,6	6,6 - 7,4	7,4 - 7,8	> 7,8

Conductivité électrique (SSDS, 1993).

Non-salin	Salinité très faible	Salinité faible	Salinité modérée	Salinité élevée
0 - 2	2-4	4-8	8-16	≥ 16

Calcaire total (Baize, 1988).

Non calcaire	Peu calcaire	Modérément calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire
≤ 1	1 % - 5	5 % - 25	25 % - 50	50 % - 80

Carbone organique (Hazelton and Murphy, 2007)

Extrêmement faible	Très faible	Faible	Modéré	Elevé	Très élevé
< 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 1	1– 1,8	1,8 – 3	> 3

Matière organique (Hazelton and Murphy, 2007)

Extrêmement faible	Très faible	Faible	Modéré	Elevé	Très élevé
<0,7	0.70–1.00	1.00–1.70	1.70–3.00	3.00–5.15	>5.15

Résumé

Les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol sont caractéristiques. Les liens entre ces différentes caractéristiques influencent la capacité et les limites du sol à fournir un support de biomasse, et influencent de manière plus générale l'utilisation des terres.

Dans notre étude, nous avons examiné l'influence de la pollution par les hydrocarbures sur les propriétés physico-chimiques des échantillons de sol prélevés à la station-service de Freha.

Les caractéristiques physico-chimiques des sols analysés comprennent le pH, la conductivité électrique, l'humidité, le calcaire total, le carbone organique, les sels solubles et la matière organique.

Les résultats obtenus ont montré que les hydrocarbures ont un impact significatif sur les propriétés du sol. En s'approchant de la source de pollution, certains paramètres tels que le carbone organique, la matière organique et les sels solubles ont augmenté, tandis que d'autres tels que le pH, la conductivité électrique, l'humidité et le calcaire total ont diminué.

Mots clés : station-service, pH, humidité, calcaire total, matière organique.

Abstract

The physical-chemical and biological properties of the soil are characteristic. The links between these different characteristics influence the capacity and limits of the soil to provide a biomass support, and more generally influence land use.

In our study, we looked at the influence of hydrocarbon pollution on the physico-chemical properties of soil samples taken from the Freha gas station.

The physical and chemical characteristics of the soils analyzed include pH, electrical conductivity, humidity, total limestone, organic carbon, soluble salts and organic matter.

The results showed that hydrocarbons have a significant impact on soil properties. As we approached the source of pollution, some parameters such as organic carbon, organic matter and soluble salts increased, while others such as pH, electrical conductivity, humidity and total limestone decreased.

Keywords: gas station, pH, humidity, total limestone, organic matter.

