

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**  
**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**Département Ecologie et Environnement**



*Mémoire de fin d'études*

*En vue de l'obtention du Diplôme Master en Ecologie et Environnement*

*Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie*

*Spécialité : Biodiversité et Environnement*

## **Thème**

***Etude des caractéristiques physico-chimiques  
des sols pollués par les carburants cas de la  
station d'Azazga***

**Réalisé par :**

**CHERFAOUI Lila**

**DAHMOUH Sarah**

**Devant le jury :**

<b>Mme Ali Ahmed S.</b>	<b>Présidente du jury</b>	<b>Maitre de conférences (B) UMMTO</b>
<b>Mme SADOUDI-Ali Ahmed D.</b>	<b>Promotrice</b>	<b>Professeur UMMTO</b>
<b>Mme Lamri T.</b>	<b>Co-promotrice</b>	<b>Maitre de conférences (A) UMMTO</b>
<b>Mme Chibane G.</b>	<b>Examinatrice</b>	<b>Maitre assistante (A) UMMTO</b>

**Année universitaire : 2022–2023**

# Remerciements

Je souhaite exprimer ma reconnaissance envers notre encadrant académique, **M<sup>me</sup> SADOUDI-ALI AHMED Djamila**, pour sa guidance, ses conseils précieux et son soutien constant tout au long de ce parcours. Son expertise et sa disponibilité ont été des piliers essentiels dans la réalisation de ce mémoire.

J'aimerais également remercier notre Co-promotrice, **M<sup>me</sup> LAMRI Taous** pour ses conseils avisés qui ont grandement enrichi notre travail et qui nous ont permis de mener à bien cette recherche.

Chers membres du jury, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements pour votre présence et votre attention bienveillante lors de la soutenance de mon mémoire de fin d'étude.

Enfin, j'adresse mes remerciements à mon institution d'enseignement pour m'avoir offert les ressources nécessaires pour mener à bien ce projet de recherche. Les opportunités d'apprentissage et l'environnement académique stimulant ont joué un rôle crucial dans mon développement personnel et professionnel.

C'est avec une profonde gratitude que je conclus cette étape importante de ma vie étudiante. Votre soutien et votre contribution ont été d'une valeur inestimable, et je suis honoré(e) d'avoir eu l'opportunité de présenter mon travail devant un jury aussi distingué.

Je vous prie d'agréer, chers membres du jury, l'expression de ma reconnaissance la plus sincère.

# *Dédicaces*

*Je tiens à dédier ce travail à :*

*Mes très chers parents qui m'ont soutenue tout au long de mon parcours et plus spécialement à mon très cher papa qui a donné de son précieux temps pour nous aider*

*Mon très cher binôme qui est plus qu'un binôme mais une sœur pour moi*

*Mes frères Samy et Amine*

*Ma Cousine adorées Melissa*

*Nos amis Yanis, Hamida*

*Et en particulier mon soutien Mahammed.*

***Sarah***

# *Dédicaces*

*Je tiens à dédier ce travail à :*

*Mes chers parents qui ont été toujours à mes côtés durant mon parcours et plus  
spécialement ma maman qui a été d'un soutien énorme*

*Au père de mon binôme qui nous a énormément aidés durant nos recherches*

*Mon très cher binôme qui compte beaucoup pour moi*

*Mes amis Arezki, Bilal et Aymen*

*Mes meilleures amies Amélia et Sarah*

*Mes sœurs du cœur Sily et Lynda*

*Mes frères Bilal et Aissa*

*Mes cousins et cousines*

*Et nos amis Yanis et Hamida.*

*Lila*

## Liste des abréviations

mPa.s : Millipascal-seconde (unité de la viscosité)

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)

mS/cm : Millisiemens par centimètre (unité de conductivité électrique)

meq/l : Milliéquivalent par litre (concentration d'ions dans une solution)

HAP : hydrocarbures aromatique polycyclique

PCB : polychlorobiphényles

BTEX : benzène, toluène, éthylbenzène et xylène

## Liste des figures

<b>Figure 1 : Localisation par satellite du site d'étude d'Azazga (Google Maps, 2023).....</b>	<b>21</b>
<b>Figure 2 : pH mètre .....</b>	<b>22</b>
<b>Figure 3 : pH des sols étudiés .....</b>	<b>27</b>
<b>Figure 4: Taux d'humidité des sols étudiés.....</b>	<b>28</b>
<b>Figure 5 : conductivité électrique des sols étudiés.....</b>	<b>29</b>
<b>Figure 6 : teneur en calcaire total des sols étudiés .....</b>	<b>30</b>
<b>Figure 7 : Taux de bicarbonates des sols étudiés.....</b>	<b>31</b>
<b>Figure 8 : Taux de chlorures des sols étudiés .....</b>	<b>32</b>
<b>Figure 9: Taux de carbones organique des sols étudiés .....</b>	<b>33</b>
<b>Figure 10 : Taux de matière organique des sols étudiés .....</b>	<b>34</b>
<b>Figure 11 : Composition granulométrique des sols étudiés .....</b>	<b>35</b>

## Liste de tableau

<b>Tableau 1 : Constituants du sol (Baize,1989) .....</b>	<b>8</b>
<b>Tableau 2 : Différentes classes d'hydrocarbures (Nyer et al., 1998).....</b>	<b>12</b>
<b>Tableau 3 : Mécanismes de la bioremédiation (Ademe, 2006) .....</b>	<b>18</b>

## Sommaire

Introduction..... 1

Première partie : partie

bibliographique Chapitre 1 :

<b>I. Généralités sur le sol</b> .....	3
1- Définition du sol .....	3
2- Phases du sol.....	3
2-1 Fraction solide .....	3
2-2 Fraction liquide .....	3
2-3 Fraction gazeuse .....	3
3- Origine et constituants du sol .....	3
4- Propriétés du sol.....	4
4-1 Propriétés physiques du sol.....	4
4-1-1 Structure .....	4
4-1-2 Texture .....	5
4-1-3 Porosité.....	5
4-1-4 Perméabilité.....	5
4-2 Propriétés chimiques du sol.....	5
4-2-1 pH du sol .....	5
4-2-2 Humidité du sol .....	5
4-2-3 Matière organique du sol.....	5
4-2-4 Calcaire total du sol .....	5
4-2-5 Conductivité électrique .....	6
4-3 Propriétés biologiques du sol.....	6
<b>II. Les hydrocarbures</b>	
1- Définition des hydrocarbures .....	6
2- Classification des hydrocarbures .....	6
2-1 Hydrocarbures aliphatiques.....	6
2-2 Hydrocarbures cycliques .....	7
2-3 Hydrocarbures aromatiques .....	7
3- Carburants .....	7
3-1 Définition des carburants .....	7

3-2 Classification des carburants et leurs compositions .....	8
4- Propriétés physiques des hydrocarbures .....	8
4-1 Densité .....	8
4-2 Viscosité.....	8
4-3 Point d'écoulement.....	9
5- Devenir des hydrocarbures .....	9
5-1 Transformation .....	9
5-2 Volatilisation.....	9
5-3 Solubilisation .....	9
5-4 Sorption.....	9
5-5 Biodégradation .....	9
6- Effets écotoxiques des hydrocarbures.....	10
6-1 Effets des hydrocarbures sur le sol.....	10
6-1-1 Sur les propriétés physiques du sol.....	10
6-1-2 Sur les propriétés chimiques du sol .....	10
6-1-3 Sur les propriétés biologiques du sol .....	10
6-2 Effets des hydrocarbures sur l'environnement .....	11
6-3 Effets des hydrocarbures sur la santé humaine.....	11
IV. Pollution du sol par les hydrocarbures.....	11
1- Définition de la pollution .....	11
2- Définition d'un sol pollué .....	11
3- Définition d'un polluant .....	12
4- Principaux types de polluants .....	12
4-1 Polluants organiques.....	12
4-2 Polluants inorganiques.....	12
5- Principales sources de pollution par les HC.....	12

Deuxième partie : Matériel et

méthodes Chapitre 2 :

I. Présentation de la zone d'étude.....	13
II. Stratégie de prélèvement .....	13
III. Traitement et préparation des sols .....	14
IV. Analyses effectuées .....	14
1- Du pH.....	14

2- Estimation de l'humidité hygroscopique .....	15
3- Mesure de la conductivité électrique d'un sol .....	15
4- Dosage du calcaire total.....	15
5- Détermination de la texture .....	15
6- Dosage des anions.....	16
7- Dosage du carbone organique.....	17
8- Dosage de la matière organique.....	17
V. Analyse statistique.....	17

### Chapitre 3 : Résultats et discussion

Résultats.....	18
1- Effets des hydrocarbures sur le sol .....	18
1-1 Potentiel d'Hydrogène .....	18
1-2 Humidité .....	19
1-3 Conductivité électrique.....	20
1-4 Calcaire total .....	21
1-5 Sels solubles .....	22
1-5-1 Bicarbonates.....	22
1-5-2 Chlorures .....	23
1-6 Carbone organique.....	24
1-7 Matière organique .....	25
1-8 Granulométrie .....	26
I. Discussion.....	26
Cocclusion.....	30

### Reference

### bibliographique

### Annexes

# **Introduction générale**

### Introduction :

Les sols, sont avec les milieux aquatiques, et l'atmosphère une des trois composantes majeures de la biosphère. A ce titre, ils ont joué et jouent en permanence un rôle déterminant dans l'apparition et le maintien de l'activité biologique et de la biodiversité à la surface de la planète (Verdin et al, 2004).

Les sols exercent une fonction environnementale importante en carburant à la qualité de l'environnement, non seulement en tant que partie de celui-ci, mais aussi par leur influence sur la qualité de l'air et de l'eau (Calvet, 2003).

Le secteur des hydrocarbures constitue le pivot de l'économie nationale, une énergie qui, de par les bienfaits qu'elle apporte aux citoyens et au développement du pays, continue à causer de sérieuses et préoccupantes menaces sur notre environnement qui ne cesse d'être pollué à l'échelle de tous ses compartiments : l'eau, l'air et le sol (Tandjir et Djebat, 2004).

Les stations-service sont parmi les principales causes des pollutions constatées par la corrosion des cuves de stockage, ou des fuites de canalisation entre les citernes et les îlots de pompes et séparation des hydrocarbures (Colin, 2001).

La pollution par les hydrocarbures constitue une menace très sérieuse pour l'environnement ; les émissions des hydrocarbures dans les divers biotopes terrestres et aquatiques provoquent d'importantes modifications dans les apports aux trois compartiments de la biosphère en comparaison des flux naturels (Ramade, 1992).

Selon les degrés de pollution des sols et du risque qu'ils représentent directement pour la santé humaine et les écosystèmes, des techniques particulières de dépollutions doivent être mise en œuvre et de nombreux paramètres sont à prendre en considération : type de polluant, contamination récente ou ancienne, extension en surface ou dans les couches profondes du sol et diversité des conditions locales. Tout ceci nécessite un diagnostic préalable (Benchouk, 2017).

L'effet des carburants sur les propriétés physiques et chimiques ont fait l'objet d'étude de plusieurs travaux de recherches tels que Lamiri et Nezlaoui (2017), Khimeche et Oudai (2019) ainsi que Aumar et Sediri (2018). L'objectif de notre recherche consiste à étudier les effets physiques et chimiques des sols contaminés par les carburants dans un site pollué d'une station-service située à Azazga sur trois points de prélèvements différents.

Le présent travail est structuré en chapitres :

- Le premier consistera une revue bibliographique avec des généralités sur le sol et sa pollution par les carburants et les impacts de ce dernier sur l'environnement.
- Le second est consacré à la présentation du matériel ainsi qu'aux méthodes utilisées pour la réalisation de nos expériences.
- Le troisième nous l'avons consacré pour la présentation des résultats obtenus, leurs interprétations et discussions.
- Enfin nous avons clôturé notre travail par une conclusion générale et des perspectives.

# **Partie bibliographique**

### **I. Généralités sur le sol :**

Le sol constitue un compartiment essentiel des écosystèmes en raison de multiples phénomènes dont il est le siège. Ces phénomènes irréversibles sont à l'origine de la fonction environnementale ou encore de la fonction écologique du sol (Calvet, 2013).

#### **1- Définition du sol :**

Le sol est la couche superficielle meuble de la lithosphère terrestre, présentant une épaisseur variable de quelques centimètres à plusieurs mètres. Il est constitué par un mélange de matériaux minéraux et organiques, il sert de support et de milieu naturel pour la croissance des plantes (Lergos, 2007).

#### **2- Phases du sol :**

##### **2-1 Fraction solide :**

Elle comporte les minéraux classés par catégorie de grosseur et les substances organiques inertes, mais aussi les êtres vivants (Ravelojaona et al., 2020).

##### **2-2 Fraction 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).

##### **2-3 Fraction gazeuse :**

Encore appelée atmosphère du sol, sa composition est généralement proche de celle de l'air (oxygène, azote et gaz carbonique), mais elle peut être variable dans l'espace et dans le temps (Calvet, 2003).

#### **3- Origine et constituants du sol :**

Le sol résulte de l'union de la matière minérale provenant de la roche mère décomposée en argile et de la matière organique fraîche provenant des débris organiques décomposés en humus. La croissance et l'évolution des sols se font à des vitesses variables selon les zones climatiques (Baize, 1989). (Tableau 1)

**Tableau 1** : Constituants du sol (Baize,1989)

	Constituants solides		Constituants liquides (solutions du sol)	Constituants gazeux (atmosphère du sol)
	Minéraux	Organiques		
<b>Origine</b>	Désagrégation physique et altération biochimique des roches.	Décomposition des vivants	Précipitation, nappes, ruissellement	Air hors sol, matière en décomposition, respiration
<b>Critères de classement</b>	Taille (granulométrie) Qualité(minéralogie)	Etat (vivant, mort) Qualité chimique (originelle, transformée).	Origine (météorique, phréatique) Etat physique (potentiel hydrique)	Origine (air, organismes)
<b>Catégorie</b>	- Eau  -Substances dissoutes :  Glucides, Alcools, Acides, Organiques Minéraux Cations Anions	-Organismes vivants  -Organismes morts  -Matières organiques héritées : (Cellulose, lignine, résine)  -Matières organiques humifiées : Acides fluviqes et humiques, humines.	- Eau  -Substances dissoutes :  Glucides, Alcools, Acides, Organiques Minéraux Cations Anions	Gaz de l'air : N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>  Gaz issu de la respiration et de la décomposition des organismes : CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , CH <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>

#### 4- Propriétés du sol :

##### 4-1 Propriétés physiques du sol :

##### 4-1-1 Structure :

C'est le mode d'arrangement spatial des constituants solides (minéraux et organique). Selon la présence ou l'absence des agrégats, différents types de

structures sont distinguées : structure élémentaire, fragmentaire et compacte (Duchauffour et al.,2018).

### **4-1-2 Texture :**

La texture du sol est la base de toutes les autres propriétés. C'est la propriété qui traduit, de manière globale, la composition granulométrique de la terre fine (Gobat et al.,2010)

### **4-1-3 Porosité :**

Elle peut être définie par l'ensemble des vides que comporte un horizon. La porosité d'un sol est une grandeur physique qui exprime le rapport entre le volume occupé par les pores et son volume total (Mathieu et Pieltain,1998).

### **4-1-4 Perméabilité :**

La perméabilité est l'aptitude du sol à laisser passer l'eau vers les couches inférieures. Elle dépend de la texture et de la structure (Koller,2004)

## **4-2 Propriétés chimiques du sol :**

### **4-2-1 pH du sol :**

Il est défini comme le logarithme de la concentration d'une solution en ions. Il permet d'approfondir les modalités d'interaction entre les ions et les surfaces absorbantes du sol (Nemar, 2015).

### **4-2-2 Humidité du sol :**

L'humidité du sol est définie comme étant l'eau évaporable contenue dans la portion du sol se trouvant au-dessus de la nappe libre. Elle est un paramètre prépondérant dans les échanges d'énergie à l'interface surface-atmosphérique. L'évaporation, l'infiltration, le ruissellement de surface et la quantité d'eau absorbée par la végétation sont très dépendantes de l'humidité du sol. Il s'agit donc d'un paramètre clé du cycle hydrologique (Thanh, 2002).

### **4-2-3 Matière organique du sol :**

La matière organique se présente dans le sol, pour une part, sous forme de résidus végétaux ou animaux plus ou moins reconnaissables, et, pour le reste, sous forme de substances adhérentes à la fraction minérale (Henin et al., 1969).

### **4-2-4 Calcaire total du sol :**

Les sols calcaires sont ceux qui contiennent du carbonate de calcium (avec éventuellement d'autres carbonates) dans la terre fine, et même dans la fraction

grossière. Le carbonates de calcium peut se trouver dans le sol à l'état de fragment de dimension quelconque, depuis les blocs et les graviers jusqu'à la taille des colloïdes argileux (Clément, 2003).

### **4-2-5 Conductivité électrique :**

C'est la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol. Elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol (Koller, 2004).

### **4-3 Propriétés biologiques du sol :**

Le sol constitue le principal réservoir de la biodiversité puisqu'il héberge environ un quart de la diversité biologique totale de la planète classée selon plusieurs échelles de taille allant des micro-organismes jusqu'aux macro-organismes ; tels que les bactéries, les archéobactéries, les algues, les cryptogames, les phanérogames, les champignons, les nématodes, les rotifères, les arthropodes, les annélides et les mollusques. Ils sont tous liés dans les réseaux d'interactions et participent au flux d'énergie dans les écosystèmes.

Les différentes caractéristiques de ces organismes (forme, stade de développement, mode de vie et régime alimentaire) influencent le fonctionnement physico-chimique du sol à toutes les échelles (de l'échelle texturale à l'échelle structurale) (Hedde et Zwicke, 2020).

## **II. Les hydrocarbures :**

### **1- Définition des hydrocarbures :**

Les hydrocarbures, ou huiles minérales regroupent différents produits pétroliers. Ce sont des composés organiques qui contiennent des atomes de carbones (C) et d'hydrogènes (H). Leur formule brute est  $C_nH_m$  (Lemière et al., 2001).

### **2- Classification des hydrocarbures :**

#### **2-1 Hydrocarbures aliphatiques :**

Ce sont des molécules linéaires ou ramifiées à longue chaîne, saturés (alcane) ou insaturés (alcène ou alcyne) et substitués ou non. Ces produits flottent souvent sur les nappes souterraines et ils sont plus ou moins volatils et toxiques. Leur biodégradation est rapide lorsque les chaînes sont droites (Arnaud, 2004).

### **2-2 Hydrocarbures cycliques :**

Ce sont des composés dont la chaîne carbonée est cyclique. Il s'agit de cycloalcanes (saturés), cycloalcènes et cycloalcynes (insaturés). Il existe une très grande diversité de structures cycliques (Arnaud, 2004).

### **2-3 Hydrocarbures aromatiques :**

Les hydrocarbures aromatiques sont classés en deux catégories selon le nombre de cycle benzéniques associés. Ils sont très toxiques et persistants car ils sont insolubles dans l'eau (Fattal, 2008).

## **3- Carburants :**

### **3-1 Définition des carburants :**

Un carburant est une substance dont la combustion permet le fonctionnement des moteurs thermiques. Il s'agit d'un mélange de plusieurs espèces chimiques et plusieurs dizaines d'hydrocarbures (Hugop, 2006).

Le carburant utilisé en automobile est composé d'un mélange d'hydrocarbures (97%-98%). C'est un composé chimique formant deux corps ; le carbone et l'hydrogène (H) ainsi que des résidus d'impuretés et d'additifs (2-3%) (eau, soufre, plomb et alcool) (Ballerini et al., 2019).

### 3-2 Classification des carburants et leurs compositions :

Les différentes classes d'hydrocarbures sont représentées dans le tableau 2

**Tableau 2 :** Différentes classes d'hydrocarbures (Nyer et al., 1998).

<b>Produits</b>	<b>Composants majeurs</b>
Gaz	Alcanes normaux et ramifiés contenant 1 à 15 atomes de carbones
Essence	Hydrocarbures qui peuvent être ramifiés contiennent 6 à 10 atomes de carburant cyclo alcanes et les alkyl benzènes.
Kérosène/ diesel	Contenant 11 à 12 atomes de carbones. Les hydrocarbures ramifiés contiennent généralement un niveau faible, des hydrocarbures benzéniques et poly aromatiques
Gazoles légères	Hydrocarbures contenant 12 à 18 atomes de carbones. Ils ont un faible pourcentage d'alcanes et contiennent les oléfines telles que les styrènes qui composent le diesel et les huiles de moteurs.
Gazoles lourds et huiles lubrifiantes légères	Hydrocarbures contenant 18 à 25 atomes de carbones
Lubrifiants	Hydrocarbures contenant 26 à 38 atomes de carbones
Asphaltes	Composés lourds polycycliques

### 4- Propriétés physiques des hydrocarbures :

#### 4-1 Densité :

C'est la mesure de la masse par rapport au volume et elle s'exprime en (**g/cm<sup>3</sup>**). Cette propriété est utilisée par l'industrie pétrolière pour distinguer les hydrocarbures légers des lourds. Elle est peu ou pas influencée par la température (Archambault et al., 2017).

#### 4-2 Viscosité :

Elle est représentée par la résistance à l'écoulement : cela veut dire que les hydrocarbures à haute viscosité s'écoulent difficilement, par contre ceux du cas inverse sont très fluides. Elle dépend de la température et s'exprime en **mPa.s** (Archambault et al., 2017).

### **4-3 Point d'écoulement :**

C'est la température en dessous de laquelle un hydrocarbure ne s'écoule plus. Si la température ambiante est inférieure à son point d'écoulement, le produit se comporte comme un solide (Lallemand, 1974).

## **5- Devenir des hydrocarbures :**

### **5-1 Transformation :**

Il peut s'agir d'un phénomène biologique, lorsqu'elle fait intervenir la matière vivante, c'est-à-dire le mécanisme de biodégradation qui consiste à transformer un produit en sous-produit par l'action des micro-organismes. Lorsqu'il s'agit du phénomène non biologique, celle-ci regroupe toutes les réactions de réduction et d'oxydation se déroulant dans le sol qui conduisent à l'altération du polluant (Saada et al., 2005).

### **5-2 Volatilisation :**

Ce phénomène touche les fractions légères et dépend des conditions atmosphériques. Autrement dit, les hydrocarbures légers sont les plus concernés. Ils sont éliminés rapidement dès le premier jour mais peuvent conduire à une pollution de l'atmosphère ( Soltani, 2004).

### **5-3 Solubilisation :**

Un hydrocarbure est d'autant plus soluble que sa masse moléculaire est faible et que sa polarité est élevée. Il est important de noter que les hydrocarbures solubles sont parmi les plus dangereux pour l'environnement. Ils sont difficiles à éliminer et sont absorbés par la faune et la flore du sol (Soltani, 2004).

### **5-4 Sorption :**

C'est la capacité de certains corps solides à retenir les molécules d'autres corps (à l'état gazeux ou liquides) à leur surface (Murphy et al, 1990).

### **5-5 Biodégradation :**

C'est le processus naturel le plus important dans la dépollution de l'environnement à l'aide des microorganismes (Vogel, 2001). Selon Lacompte (1995), la biodégradation est

l'ensemble des mécanismes de transformation des contaminants en différents sous-produits par l'action des microorganismes.

### **6- Effets écotoxiques des hydrocarbures :**

Les émissions d'hydrocarbures dans l'atmosphère et les divers biotopes terrestres et aquatiques provoquent d'importantes modifications dans les rapports entre les trois compartiments de la biosphère (Ramade, 2007).

#### **6-1 Effets des hydrocarbures sur le sol :**

##### **6-1-1 Sur les propriétés physiques du sol :**

Des études réalisées par Rouquerol (1987) ont déterminé l'effet des hydrocarbures sur le sol. Il a démontré que les hydrocarbures enrobent les particules minérales et assurent leur dispersion.

D'après Mettauer et al. (1987), la présence des hydrocarbures améliore la stabilité structurale du sol, accroît sa rétention en eau et réduit la mobilité des HC.

##### **6-1-2 Sur les propriétés chimiques du sol :**

Les effets des hydrocarbures sur les propriétés chimiques du sol consistent, généralement, en :

- Une augmentation de la conductivité électrique (CE) entraînant l'inhibition de certaines plantes très sensibles à la présence de sels (Alilouche et Toudouft, 2014).
- Augmentation des éléments chimiques à l'état de traces tels que le manganèse (Mg), le fer (Fe) et le zinc (Zn) (Sauchelssi, 1969).
- Diminution du pH de sol et augmentation du taux de carbone organique total (Chaineau et al., 1997).

##### **6-1-3 Sur les propriétés biologiques du sol :**

Selon Jambu (1991), cité par Duchaufour (2001), les hydrocarbures, s'ils sont incorporés au sol en quantités limitées (moins de 2% de la couche de 0 à 15cm), n'exercent pas d'action dépressive vis-à-vis des micro-organismes du sol, mais ils exercent une action nocive indirecte. Les composés humiques deviennent, à leur tour, hydrophobes et

difficilement biodégradables, la perméabilité excessive du sol ne permet pas la constitution de réserves hydriques suffisantes. Les effets des hydrocarbures sur l'activité biologique du sol dépendent de leur concentration dans le sol et d'autres facteurs liés au milieu.

### **6-2 Effets des hydrocarbures sur l'environnement :**

Les hydrocarbures sont une source d'énergie que le particulier et le consommateur utilisent journalièrement dans le monde entier. Leur rejet provoque une pollution engendrant des changements tels qu'une hausse croissante des températures moyennes sur la planète à cause de la modification de la concentration des GES naturellement présents dans l'atmosphère ; c'est ce que l'on appelle effet de serre additionnel (Picot et Montadon, 2013).

### **6-3 Effets des hydrocarbures sur la santé humaine :**

A court terme, les hydrocarbures dessèchent la peau et peuvent provoquer des dermatoses et des eczémas par obturation des pores (Fettal, 2008). A long terme, les hydrocarbures, en particulier les hydrocarbures aromatiques, peuvent favoriser le cancer de la peau suite aux contacts prolongés avec ces derniers (Pranudda, 2014).

## **IV. Pollution du sol par les hydrocarbures :**

### **1- Définition de la pollution :**

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît, en totalité ou en partie, comme un sous-produit de l'action humaine à travers des effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergies, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. (Ramade, 1992).

### **2- Définition d'un sol pollué :**

Un sol pollué est un site qui, du fait d'anciens dépôts de déchets ou d'infiltration de substances polluantes, présente une pollution susceptible de provoquer une nuisance ou un risque pérenne pour les personnes ou l'environnement. Dans ces sites, la pollution présente un caractère concentré, c'est à dire des concentrations souvent élevées sur une surface réduite. Elle diffère des pollutions diffuses, comme celles des pratiques agricoles ou des retombées atmosphériques (Rivière, 1998).

### **3- Définition d'un polluant :**

Un polluant peut être un gaz, un aérosol, un liquide ou un solide d'origine anthropique ou naturelle. C'est une substance connue pour avoir des effets néfastes sur tout ou une partie d'un écosystème ou de l'environnement, en général (Tétreault, 2016).

### **4- Principaux types de polluants :**

#### **4-1 Polluants organiques :**

Les hydrocarbures les plus dangereux font partie des composés aromatiques et des hydrocarbures chlorés. Le benzène et le toluène sont deux composés aromatiques très utilisés en industrie, engendrant une pollution notable. De façon générale, les composés aromatiques sont toxiques et parfois cancérigènes et mutagènes. Le degré de dangerosité devient plus important quand le sol assure difficilement la dégradation biologique de ce type de produits (Khellout et Settouf, 2004).

#### **4-2 Polluants inorganiques :**

Ils constituent un ensemble d'éléments généralement non biodégradables, accumulatifs et toxiques quand ils sont présents naturellement à des concentrations généralement basses dans les sols et proviennent, en grande partie, de l'altération de la roche mère. Les activités anthropiques telles que l'agriculture, le trafic routier et l'incinération d'ordures peuvent conduire à l'augmentation de leurs concentrations naturelles (Benfardia et Chenine, 2014).

### **5- Principales sources de pollution par les HC :**

#### **• Sources naturelles :**

Les feux de forêts, les éruptions volcaniques et les fuites des réservoirs naturels ont un important potentiel de production de quantités massives d'hydrocarbures, mais aussi les réactions biogènes dans les plantes et les bactéries, ainsi que les réactions géologiques associées à la production de fuel fossile et minéral (COLIN,2000).

#### **• Sources anthropiques**

- **Les activités urbaines :** Elles peuvent résulter :
- Des activités artisanales ou commerciales utilisant ou engendrant des produits et déchets dangereux au même titre que les activités industrielles.

- Par retombées atmosphérique de nombreuses sources de pollution atmosphériques dans les villes ou à leur périphérie comme les usines d'incinération ou les véhicules motorisés.
- De rejets, volontaires ou non, de produits pétroliers. Elle relève à la fois de la pollution chimique et de la pollution organique (COLIN, 2000).

# **Matériel et Méthodes**

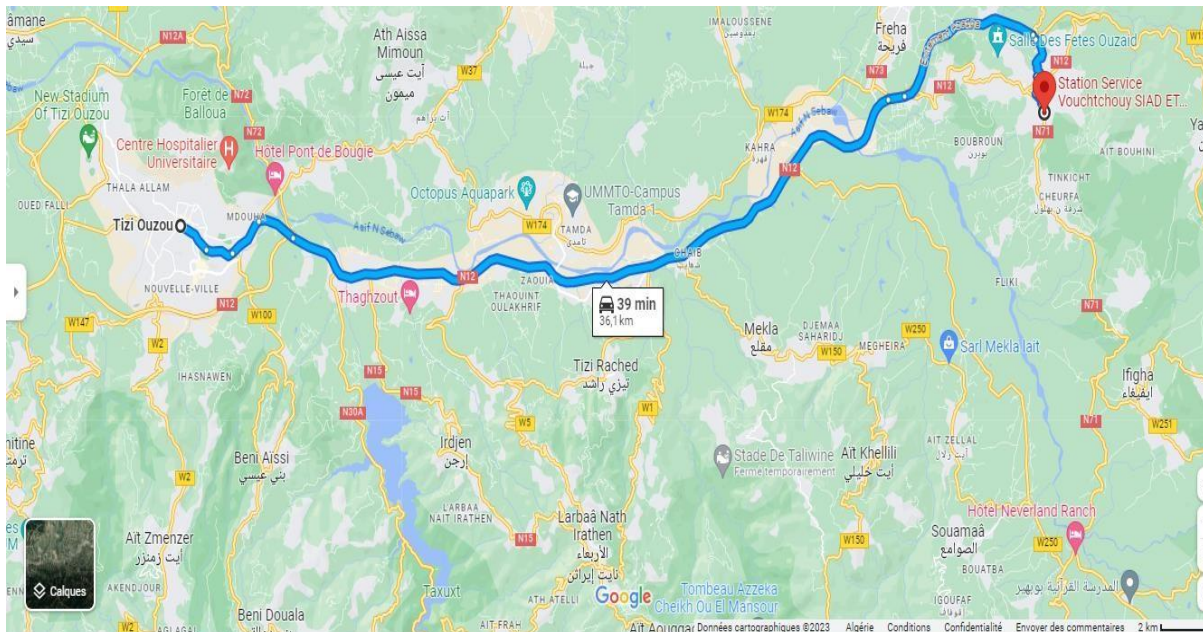
Cette section de notre étude se compose de deux parties distinctes :

- ✓ Une partie consacrée à l'échantillonnage sur le terrain.
- ✓ Une partie dédiée aux analyses en laboratoire.

### I. Présentation de la zone d'étude :

Azazga est une commune de la wilaya de Tizi Ouzou en Algérie. Elle est située à 30 km au sud du littoral méditerranéen, à 30 km à l'est de Tizi Ouzou et à 90 km à l'ouest de Béjaïa (**Figure 1**).

Située en amont du fleuve Sebaou. Azazga a su tirer profit de sa position géographique entre les deux principales villes de la Kabylie (Tizi Ouzou et Béjaïa). Elle est devenue un important centre urbain, d'où le choix de ce site.



**Figure 1:** Localisation par satellite du site d'étude d'Azazga (Google Maps, 2023)

### II. Stratégie de prélèvement :

Le prélèvement des échantillons a été effectué en une seule journée, le 16 février 2023. Notre étude expérimentale s'est déroulée à proximité d'une source de pollution, et nous avons choisi de prélever des échantillons dans la couche superficielle du sol, à une profondeur de 0 à 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. L'échantillon P2 a été prélevé à l'entrée de la station, à une distance de 15 mètres par rapport à 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 des tables pendant 5 jours afin de les sécher naturellement à l'air libre. Ensuite, 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. Après cela, ils ont été étiquetés et conservés dans des sachets dans un endroit sec en vue de leur analyse ultérieure.

Les analyses chimiques sont réalisées au niveau du laboratoire de pédologie, le laboratoire commun de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'UMMTO ainsi qu'au niveau du laboratoire de pédologie de l'INRF de Bainem.

### IV. Analyses effectuées :

#### 1- Du pH :

Mesure Le pH d'une suspension sol/eau distillée a été mesuré en utilisant un rapport pondéro-volumique de 1/2,5. La suspension a été agitée pendant 15 mn à l'aide d'une baguette en verre, puis laissée au repos pendant 15 minutes. Ensuite, l'électrode du pH mètre **HI 2210** a été plongée dans le liquide surnageant et les valeurs ont été enregistrées avec une précision de deux décimales.



Figure 2 : pH mètre

### 2- Estimation de l'humidité hygroscopique :

Nous avons pesé dans un bocal, 5 grammes de sol séché à l'air et tamisé à travers un crible de 2 mm de diamètre. Nous avons porté le bocal renfermant le sol à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures (temps au bout duquel, en général, le sol a perdu son humidité hygroscopique). Après ce temps, nous avons ressorti la capsule dans un dessiccateur et nous l'avons repesé.

Le taux d'humidité s'exprime en % selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{A - B}{B} \times$$

-**A** : poids du sol avant séchage (g).

-**B** : poids du sol après séchage à 105°C (g).

### 3- Mesure de la conductivité électrique d'un sol :

Nous avons pesé 20 g de sol tamisé au travers d'un crible de 2 mm. Nous les avons ensuite portés dans un bécher de 250 ml et y avons ajouté 100 ml d'eau distillée après une agitation de 2 minutes, à l'aide d'un agitateur mécanique ou magnétique. Nous avons placé l'électrode du conductimètre au centre du bécher contenant l'extrait de sol.

### 4- Dosage du calcaire total :

Nous avons pesé 1 g de terre fine, tamisée au travers d'un crible à 2 mm, dans un bécher de 250 ml. Nous avons ajouté exactement 20 ml d'acide chlorhydrique à N et avons également ajouté 100 ml d'eau distillée. Nous avons porté le bécher sur un bain de sable à 60 °C, en agitant de temps en temps pendant 45 minutes. Nous avons laissé bouillir pendant quelques minutes, puis agité. Ensuite on a décanté le mélange sur un filtre dans une fiole de 250 ml. Après refroidissement, nous avons prélevé 100 ml du filtrat et les avons versés dans un bécher de 400 ml après avoir bien lavé notre sol et bien rincé le récipient de prélèvement. Nous avons ajouté quelques gouttes de phénolphthaléine à 2 % et avons titré le reste d'acide chlorhydrique avec de la soude à N. Le virage s'est produit vers le rouge violacé.

### 5- Détermination de la texture :

- **Attaque à froid :**

Nous avons introduit 20 g de terre séchée à l'air libre et tamisée avec un tamis de 2 mm dans un bécher de 800 ml. Ensuite, nous avons ajouté 40 ml d'eau distillée et agité le bécher à

la main. Avec précaution, nous avons ajouté 10 ml d' $\text{H}_2\text{O}_2$  à 30% et avons immédiatement couvert le bécher avec un verre de montre. Nous avons laissé réagir à température ambiante pendant une nuit.

- **Attaque à chaud :**

Avant l'attaque, nous avons ajouté quelques millilitres d'eau oxygénée. Ensuite, nous avons procédé à l'attaque à chaud en portant le bécher au bain de sable. Nous avons agité fréquemment le bécher pour faire descendre la mousse. Nous avons également jeté des jets d'eau distillée autour de la paroi du bécher pour faire descendre la mousse et éviter de laisser l'échantillon aller à l'état sec. De temps en temps, nous avons ajouté quelques gouttes d' $\text{H}_2\text{O}_2$  pour nous assurer que l'échantillon n'était pas humifère. La réaction était considérée comme terminée lorsque la mousse avait disparu. Nous avons veillé à ne jamais laisser l'échantillon aller à l'état sec et l'avons laissé refroidir.

- **Dispersion chimique/mécanique, sédimentation :**

Nous avons transféré le sol dans un flacon d'agitation, nous avons ajouté 40 ml de la solution dispersante d'Hexamétaphosphate de sodium (50 g/l) et 1 ml de  $\text{NH}_3$ . Nous avons rempli à demi les allonges avec de l'eau déminéralisée et prévu une allonge contenant 40 ml de la solution dispersante diluée à 1000 ml (blanc). Nous avons agité les flacons avec un agitateur rotatif pendant 2 heures. Après agitation, nous avons transféré tout le contenu des flacons d'agitation dans les allonges de 1000 ml et les avons lavés au besoin avec de l'eau distillée. Ensuite, nous avons complété les allonges avec de l'eau distillée. Jusqu'au trait de jauge.

### 6- Dosage des anions :

- **Les carbonates :** Nous avons prélevé une fraction aliquote de 10 ml d'un volume de solution neutralisé par un acide minéral, et y avons ajouté quelques gouttes de phénolphtaléine. Si une coloration rouge se développe, dans ce cas, on doit titrer doucement avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1 N jusqu'à la décoloration totale. S'il n'y a pas de coloration après l'ajout de phénolphtaléine, il n'y a pas de carbonates dans l'échantillon.
- **Les bicarbonates :** Après le dosage des carbonates, nous avons ajouté quelques gouttes de méthyl orange dans la même prise d'essai, et nous avons titré avec le même acide jusqu'au virage du jaune au rouge. Les résultats ont été exprimés en Meg/l.

- **Dosage des chlorures** : Nous avons dosé les chlorures par argentimétrie en suivant la méthode de Mohr. Nous avons précipité les chlorures par du nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. Ce dernier a pris une coloration rouge (chromate d'argent) et a indiqué la fin de la réaction.

### **7- Dosage du carbone organique :**

Nous devons réaliser une prise d'essai ne dépassant pas 30 mg de carbone, en pesant entre 1 g et 0,250 g de sol (fraction fine) en fonction de sa teneur présumée en matière organique. Nous avons introduit cette terre dans un ballon de 250 ml, ajouté 10 ml d'une solution aqueuse de bichromate de potassium à 8% et 15 ml d'acide sulfurique concentré (pur). Ensuite, nous avons porté le ballon à une légère ébullition sur un chauffe-ballon, tout en reliant le ballon à un réfrigérant ascendant. Nous avons laissé bouillir pendant 5 minutes à partir de la première goutte condensée, puis retiré le ballon et laissé refroidir. Ensuite, nous avons transvasé le contenu dans une fiole de 200 ml et ajusté le niveau avec des eaux de rinçage jusqu'au trait de jauge. Nous avons prélevé une aliquote de 20 ml, ajouté 200 ml d'eau distillée, une pincée de fluorure de sodium (NaF) et 4 à 5 gouttes de diphénylamine. Ensuite, nous avons titré à froid l'excès de bichromate à l'aide du sel de Mohr.

### **8- Dosage de la matière organique :**

La formule pour obtenir la teneur en matière organique (MO) consiste à multiplier le taux de carbone organique par le coefficient 1,724 selon la formule suivante :

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

### **V. Analyse statistique :**

Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse de la variance (ANOVA) à un seul facteur et au test de Kruskal-Wallis en cas de non-normalité des données. Pour vérifier la normalité des données, le test de Shapiro-Wilk a été utilisé et chaque paramètre étudié a montré une valeur de p supérieure à 0,05. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R4.1.1. Une différence est considérée significative lorsque la valeur de p est inférieure à 0,05.

## **Résultats et discussion**

### Résultats :

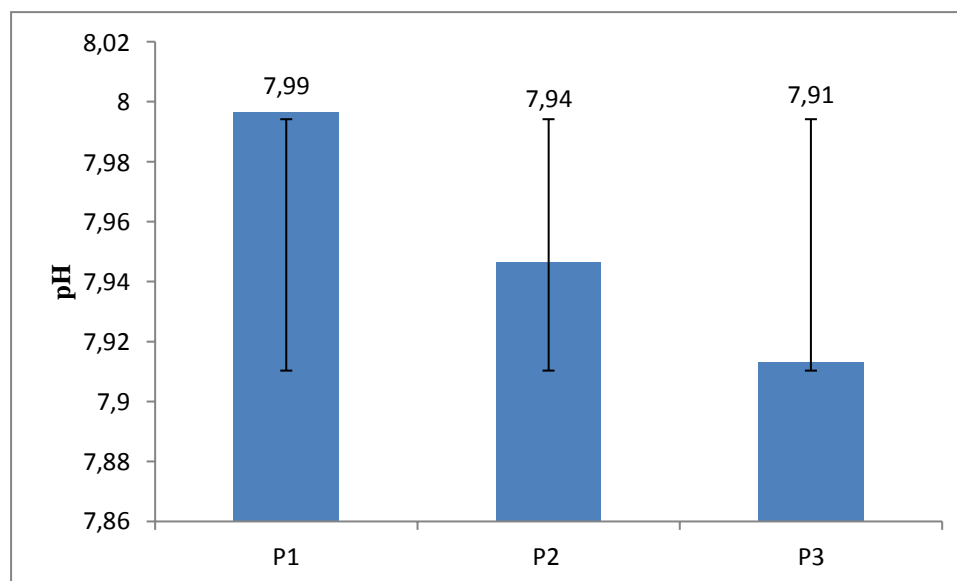
Les propriétés physico-chimique et biologique du sol définissent sa nature, et leur interaction joue un rôle crucial dans sa capacité à soutenir la vie végétale. De plus, ces propriétés influencent également l'utilisation des terres dans leur ensemble.

Pour évaluer l'impact des hydrocarbures sur les caractéristiques du sol, nous avons mené des analyses physiques et chimiques sur des échantillons prélevés dans une station-service située dans la région d'Azazga.

### 1- Effets des hydrocarbures sur le sol :

#### 1-1 Potentiel d'Hydrogène :

Les résultats de la détermination du pH du sol étudié montrent une baisse de valeur selon le gradient de pollution, la figure 3 nous enregistrons : 7,99 pour le P<sub>1</sub>, 7,94 pour le P<sub>2</sub> et 7,91 pour le P<sub>3</sub>. Les valeurs enregistrées dans la présente étude indiquent que le sol est légèrement alcalin.



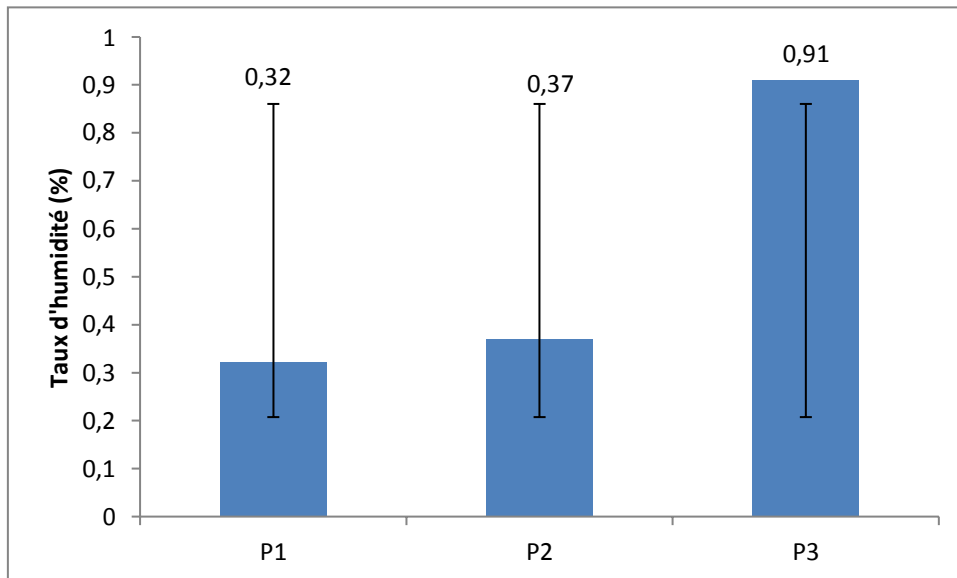
**Figure 3 :** pH des sols étudiés

D'après les résultats de l'ANOVA (annexe III), pour le pH, il y'a une différence très hautement significative pour le facteur sol ( $p = 6,43e-06$ ).

Le test de Newman et Keuls concernant le pH pour le facteur sol a donné 3 groupes homogènes. Le groupe A représente P1 avec un pH de 7,99. Dans le groupe B, nous avons P2 avec un pH de 7,94. Enfin, le groupe C correspond au P3 avec un pH de 7,91.

## 1-2 Humidité :

Selon les résultats rapportés par la figure 4, il y'a une augmentation de l'humidité en s'éloignant du centre de pollution : 0,32% pour P<sub>1</sub>, 0,37% pour P<sub>2</sub> et 0,91% pour P<sub>3</sub>.



**Figure 4 :** Taux d'humidité des sols étudiés

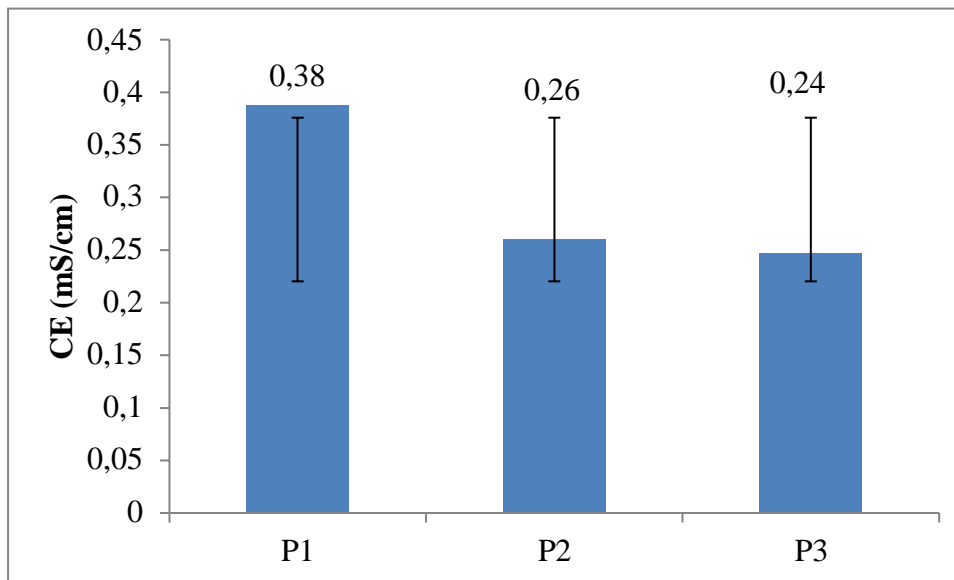
Plus on se rapproche de la source de pollution, plus l'humidité du sol est faible : les humidités du sol de 0,32% et 0,37% peuvent indiquer une faible teneur en eau dans les zones les plus proches du centre de pollution.

A 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 0,91% indique une teneur en eau plus élevée dans le sol éloigné du centre de pollution.

Le test de Kruskal Wallis (annexe III), montre que le taux d'humidité varie de façon significative pour le facteur sol ( $P=0.0484$ ).

### 1-3 Conductivité électrique :

Selon les résultats présentés dans la figure 5, il y'a une augmentation du taux de la CE en s'approchant de la source de pollution : 0,38 mS/cm pour P<sub>1</sub>, 0,26 mS/cm pour P<sub>2</sub> et 0,24 mS/cm pour P<sub>3</sub>



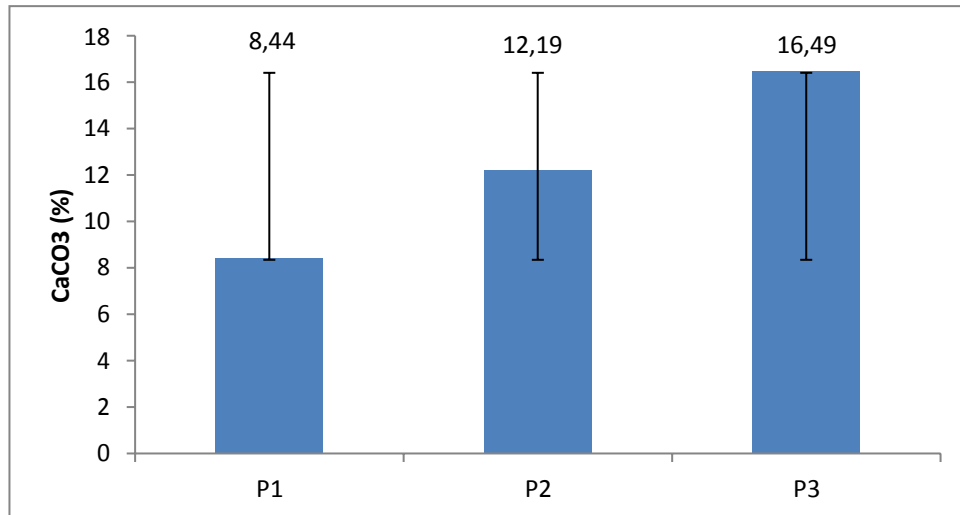
**Figure 5** : conductivité électrique des sols étudiés.

Le test de Kruskal Wallis (annexe III), pour la conductivité électrique, révèle qu'il y'a une différence significative pour le facteur sol ( $P=0,03386$ ).

Le test de Newman et Keuls concernant la conductivité électrique, a donné 2 groupes homogènes A et B. Le groupe A représente P1 avec un taux de CE de 0,38mS/cm. Le groupe B représente P2 et P3 avec un taux de CE de 0,26 mS/cm et de 0,24 mS/cm.

### 1-4 Calcaire total :

Les résultats (figure 6) montrent l'augmentation du calcaire des sols étudiés en s'éloignant de la source de pollution. 8,44% pour P<sub>1</sub>, 12,19% pour P<sub>2</sub>, et un maximum de 16,49% au niveau de P<sub>3</sub>.



**Figure 6** : teneur en calcaire total des sols étudiés.

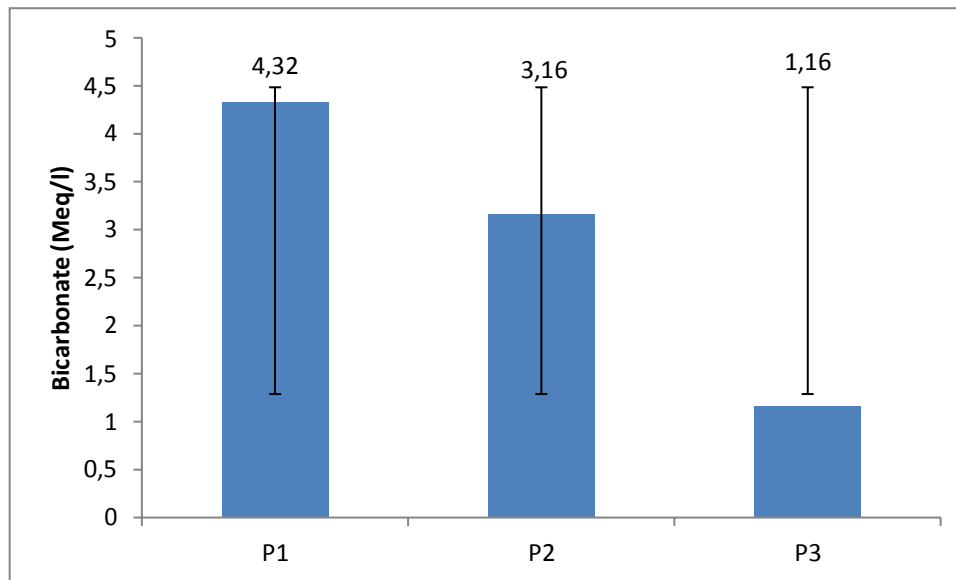
Les résultats du test d'ANOVA (annexe III), concernant le taux de calcaire total des échantillons étudiés, ont montré une différence très hautement significative ( $p=3,809e-07$ ).

Le test de Newman et Keuls concernant le calcaire total, a donné 3 groupes homogènes. Le groupe A représente P1 avec un taux de calcaire de 8,44%. Dans le groupe B, nous avons P2 avec un taux de calcaire égal à 12,19%. Enfin, le groupe C correspond au P3 avec un taux de calcaire égal à 16,49%.

### 1-5 Sels solubles :

#### 1-5-1 Bicarbonates :

D'après les données de la figure 7, P<sub>1</sub> représente le taux de bicarbonate le plus haut qui est égale à 4,32Meq/l, une diminution est notée dans P<sub>2</sub> avec un taux de 3,16Meq/l, enfin le P<sub>3</sub> quant à lui présente un taux de 1,16Meq/l qui est le plus faible.



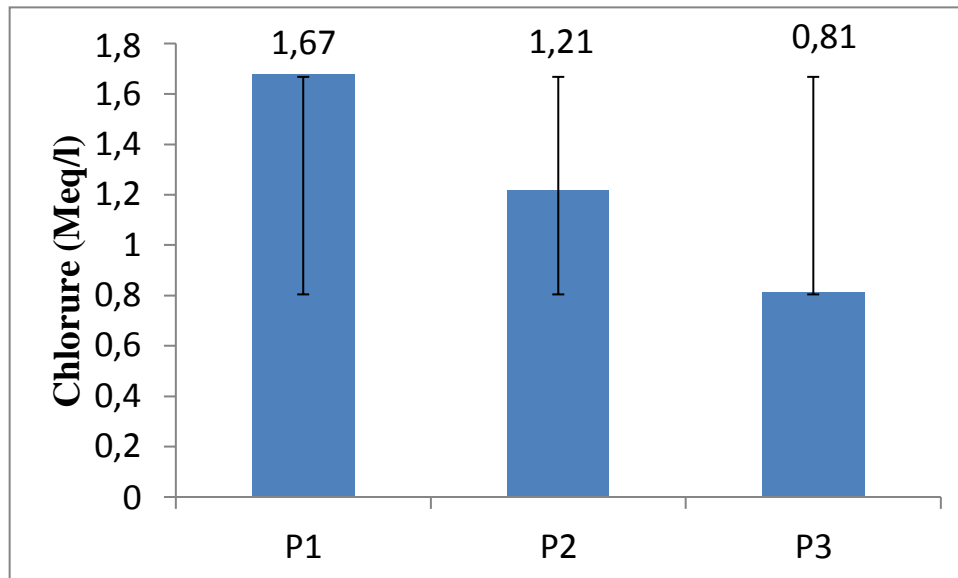
**Figure 7 :** Taux de bicarbonates des sols étudiés.

Les résultats du test de Kruskal Wallis (annexe III), concernant la variable teneur du sol en bicarbonates des échantillons étudiés, ont montré une différence significative pour le facteur sol ( $p=0,02491$ ).

Le test de Newman et Keuls concernant les bicarbonates, a fait ressortir 3 groupes homogènes. Dans le groupe A nous avons le sol P1 avec une moyenne de 4,32 Meq/l. Dans le groupe B, nous avons P2 avec une moyenne de 3,16 Meq/l. Enfin, le groupe C renferme P3 avec une teneur moyenne en bicarbonates de l'ordre de 1,16Meq/l.

### 1-5-2 Chlorures :

Selon les résultats de la figure 8, nous remarquons une diminution du taux de chlorure en s'éloignant de la source de pollution, avec  $P_1 = 1,67 \text{ Meq/l}$ ,  $P_2 = 1,21 \text{ Meq/l}$  et  $P_3 = 0,81 \text{ Meq/l}$ .



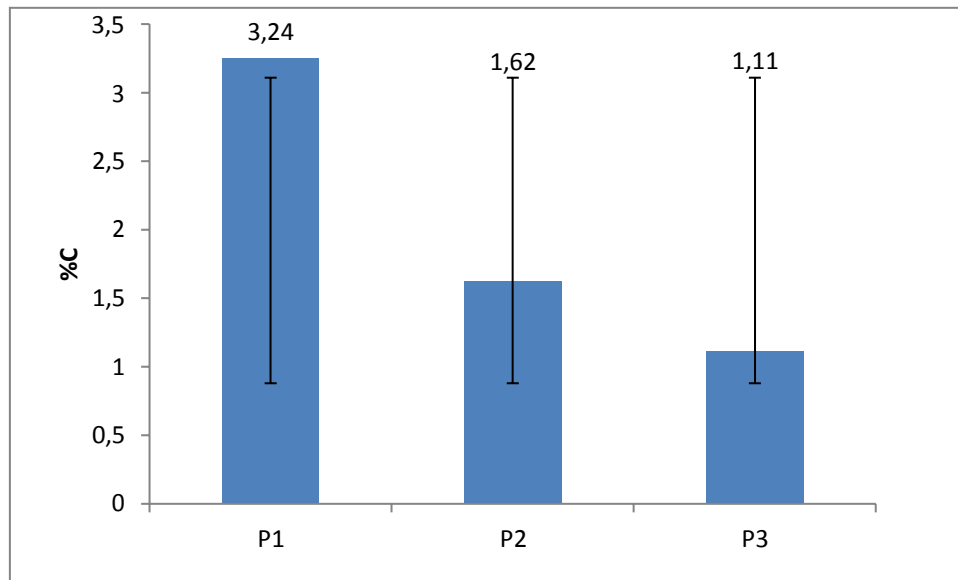
**Figure 8 :** Taux de chlorures des sols étudiés.

Les résultats du test d'ANOVA (annexe III), concernant les chlorures, ont montré une différence très hautement significative pour le facteur sol ( $P=3,64e-10$ ).

Le test de Newman et Keuls a fait ressortir 3 groupes homogènes concernant le taux de chlorures. Le groupe A correspond au P1 avec un taux moyen de chlorures de 1,67 Meq/l. Le groupe B renferme P2 avec un taux moyen de chlorures de 1,21 Meq/l. Enfin, le groupe C concerne P3 avec un taux moyen de chlorures de 0,81 Meq/l.

### 1-6 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,  $P_1 = 3,24\%$ , puis on note une diminution au niveau de  $P_2$  avec un taux de  $1,62\%$ , et enfin  $P_3$  renferme un taux de  $1,11\%$ .



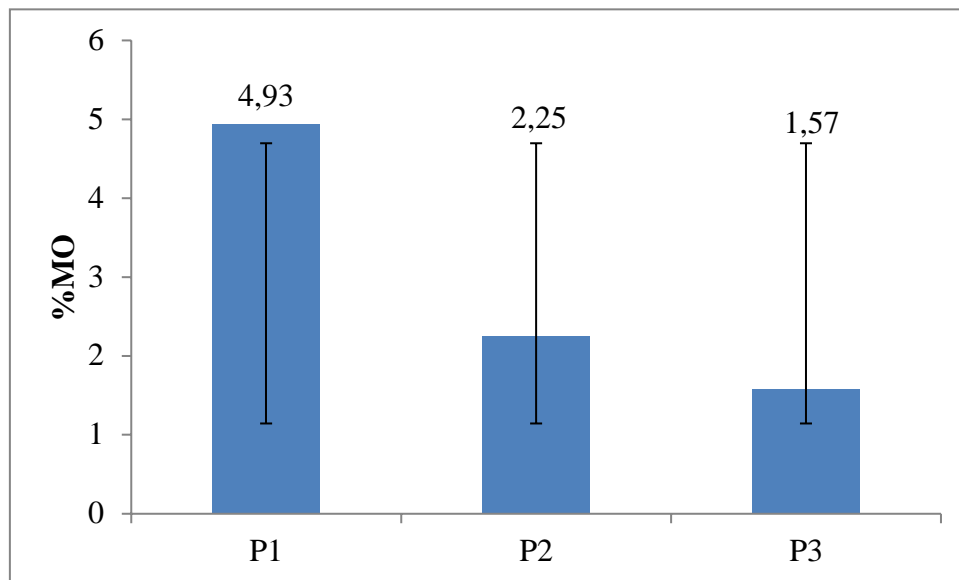
**Figure 9 :** Taux de carbones organique des sols étudiés.

D'après les résultats traités par Kruskal Wallis (annexe III), pour le carbone organique, il y'a une différence significative pour le facteur sol ( $P=0,02571$ ).

Le test de Newman et Keuls concernant le carbone organique pour le facteur sol a donné 3 groupes homogènes. Le groupe A représente P1 avec un taux moyen de carbone organique de  $3,24\%$ . Le groupe B renferme P2 avec un taux moyen de carbone organique de  $1,62\%$  et le groupe C concerne P3 avec un taux moyen de carbone organique de  $1,11\%$ .

### 1-7 Matière organique :

Sur la base des données illustrées dans la figure 10, nous remarquons une augmentation de la matière organique en suivant le gradient de pollution, elle présente les mêmes fluctuations que le carbone avec  $P_1 = 4,93\%$ ,  $P_2 = 2,25\%$  et  $P_3 = 1,57\%$  en matière organique.



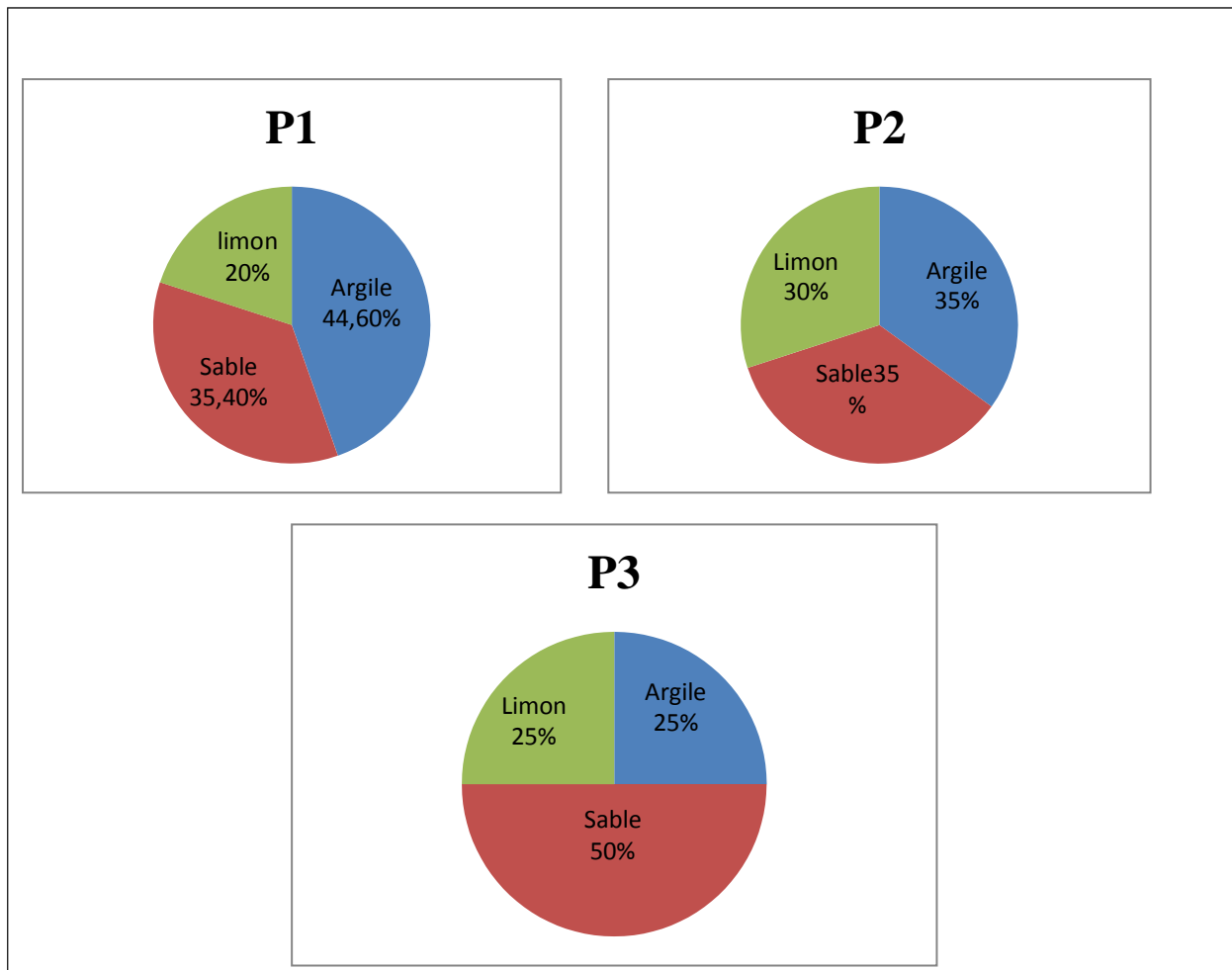
**Figure 10 :** Taux de matière organique des sols étudiés.

Le test de Kruskal Wallis pour la matière organique, révèle une différence significative pour le facteur sol ( $P=0,02571$ ).

Le test de Newman et Keuls concernant la matière organique, a donné 3 groupes homogènes. Le groupe A renferme P1 avec un taux moyen de matière organique de 4,93%. Le groupe B correspond au P2 avec un taux moyen de matière organique de 2,25%. Enfin, le groupe C renferme le P3 avec un taux moyen de matière organique de 1,57%.

### 1-8 Granulométrie :

Les résultats dans P1 ont montré 35,40 % de sable, 20 % de limons et 44,60% 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.



**Figure11** : Composition granulométrique des sols étudiés.

### I. Discussion :

Les résultats obtenus concernant le pH des trois sols, indiquent un milieu neutre pour les trois sols P1, P2 et P3. Cependant le pH a tendance à diminuer en suivant le gradient de pollution.

Nos résultats sont similaires à ceux de Chikhaoui et Hettak (2019) qui rapportent 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. Le test d'ANOVA a révélé qu'il y

a une différence très hautement significative entre les trois sols, ce qui confirme que le pH est influencé par les hydrocarbures.

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 Chikhaoui et Hettak (2019) qui attestent que le taux d'humidité est plus important dans les strates non contaminées.

Selon **Fccendini (1995)**, le taux élevé d'humidité joue un rôle important dans la solubilisation d'une large gamme de polluants. Le taux important de l'humidité dans les sols très pollués est causé par la faible perméabilité de ces sols **Guy (1978)**.

Les résultats du test de Kruskal Wallis concernant l'humidité des échantillons étudiés, ont montré une différence significative. A cet effet, nous concluons que les hydrocarbures ont des effets sur l'humidité du sol.

La conductivité électrique est une mesure qui permet d'estimer la concentration des sels solubles présents dans un échantillon. 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 conclue que la conductivité électrique n'a pas été influencée par les rejets de la station-service.

D'après les résultats obtenus pour le dosage du calcaire total des échantillons étudiés, nous avons constaté que le taux du calcaire total diminuait quand la teneur en hydrocarbures augmente : la valeur maximale est enregistrée au niveau du sol P3, tandis que la valeur minimale est enregistrée au niveau du sol P1. Selon les normes de **Baize (1989)**, ces variations du taux de calcaire peuvent être dues à l'apport des hydrocarbures contrairement aux résultats obtenus par **Degranges (1977)** qui a conclu qu'il y a peu de différences dans la composition chimique entre un sol pollué et un sol peu pollué par les hydrocarbures. Nos résultats s'accordent avec ceux de Lamiri et Nezlioui (2017), qui avaient constaté une augmentation des valeurs du calcaire dans le sol témoin et une diminution remarquable dans les valeurs du calcaire dans les sols très pollués.

Les résultats obtenus pour le dosage des sels solubles montrent une augmentation de la teneur de ces derniers en s'approchant de la source de pollution. Nos résultats convergent avec ceux de Lamiri et Nezlioui (2017) et ceux de Lachemot et Lamrani (2022) qui rapportent qu'il y a une augmentation de la teneur du sol en sels solubles en fonction du gradient de pollution.

**Godwin et al. (2013)** attestent que le taux de carbone organique augmente dans les sols pollués. Les résultats que nous avons obtenus affirment aussi que le taux de carbone organique est plus élevé dans les sols pollués par rapport aux sols moins pollués.

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. Elles proviendraient, en majeure partie, du carbone apporté par les hydrocarbures.

Les résultats du taux de matière organique montrent qu'il y a une différence significative entre les trois sols. En comparant les sols, P3 a la valeur la plus faible en matière organique tandis que la valeur maximale est enregistrée au niveau du P1, ce qui signifie que la matière organique augmente avec l'augmentation de la teneur du sol en hydrocarbures. **Fayuelle (2013)**, affirme qu'il y'a une interdépendance complexe entre contamination en hydrocarbures et teneurs en matières organiques dans les sols. Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Aumar et Sediri (2018), Lachemot et Lamrani (2022) qui avaient noté que la teneur en matière organique des sols pollués est supérieure à sa teneur dans les sols non pollués. Mais, ils se confrontent à ceux de Dendani et Saad (2017) avaient remarqué que le taux de la matière organique du sol non pollué est supérieur à sa teneur dans le sol pollué.

Les résultats de la granulométrie montrent que le sol P1 a une teneur élevée en argile par rapport aux autres constituants, il peut être considéré comme un sol argileux. Le sol P2 a des proportions équilibrées entre le limon, l'argile et le sable. On peut le considéré comme un sol limono-argileux. Le sol P3 a une proportion élevée de sable, on peut le qualifié de sol sableux.

# **Conclusion**

### **Coclusion :**

L'objectif de notre étude était d'analyser l'impact des hydrocarbures sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol prélevé au niveau de la station-service d'Azazga. Voici les principales conclusions de notre étude :

Le taux d'humidité varie d'un sol à l'autre et est influencé par la contamination. Nous avons observé une augmentation du taux d'humidité en allant du P1 au P3, ce qui suggère que la contamination par les hydrocarbures favorise une faible rétention d'eau dans le sol.

Concernant le pH Les valeurs enregistrées indiquent un pH neutre pour les trois sols P1, P2 et P3.

Les résultats obtenus indiquent que les sols sont salins et que les hydrocarbures ont un effet significatif sur ce paramètre.

Les sols sont modérément calcaires, et la teneur en calcaire diminue progressivement en s'approchant du point de rejet.

La présence de sels solubles tels que les bicarbonates et les chlorures augmente à mesure que l'on se rapproche de la source de pollution.

La teneur en carbone varie considérablement d'un sol à l'autre, et elle est plus élevée dans le sol P1.

Les résultats montrent une différence significative dans la teneur en matière organique entre les sols, avec une teneur faible dans le sol P3, modérée dans le sol P2 et élevée dans le sol P1.

Les résultats de cette étude démontrent clairement que la contamination des sols par les hydrocarbures constitue un problème sérieux qui nécessite une attention particulière en raison de ses effets néfastes sur les propriétés physico-chimiques du sol.

Notre étude suggère que la méthode de traitement biologique est une solution solide et prometteuse pour remédier à la pollution des sols et éliminer les hydrocarbures des terres polluées. Cette approche est à la fois peu coûteuse en termes d'énergie et d'argent, tout en améliorant le paysage. Elle vise à restaurer les écosystèmes contaminés en utilisant des organismes vivants tels que des bactéries, des plantes et des champignons.

Il serait tout aussi captivant de procéder à une analyse géo spatiale du réseau de distribution des produits pétroliers, accompagnée de la conception de cartes détaillant les sites affectés, allant de légèrement contaminés à gravement contaminés, nécessitant ainsi une décontamination au sein des stations-service.

# **Références bibliographiques**

1. **Ademe, 2006.** Agence de l'environnement et de la Maitrise de l'Energie, France.
2. **Alilouche M. et Toudouft L., 2014.** L'effet des quelques carburants (l'essence normal, essence super et le gasoil) sur les nodosités des racines de la fève (*Vicia faba* L.) et sur quelques propriétés du sol. Mémoire de master en Biologie. U.M.M.T.O. 35 p.
3. **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.
4. **Arnaud P., 2004.** Chimie organique. Edition DUNOD, Paris.208 p.
5. **Aumar N., Sediri D. (2018).** Etude des propriétés physico-chimiques des sols de deux stations-services Idjeur et Fréha. Mémoire de Master en biodiversité et environnement, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 71p
6. **Baize D. 2016.** Petit Lexique de pédologie. Edition Christel Desmaris, Nancy, France, 286 p.
7. **Ballerini, Vendaecastale.1999** : La restauration par voie microbiologique des sols contaminés par les polluants organique. Biotechnologie, coordinateur R. scriban, 5ème édition Tech et doc. p 900.
8. **Benchouk, A. (2017).** Bioremédiation des sols pollués de pétrole par les microorganismes et amélioration génétique de leurs pouvoirs de dégradation. Thèse de Doctorat en microbiologie appliquée, Université de Mostaganem, 199p.
9. **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
10. **Bouderhem A. (2011).** Utilisation des souches bactériennes telluriques autochtones dans la biodétection et la bioremédiation des sols pollués par les hydrocarbures. Mémoire de Magister en Microbiologie appliquée. Université Kasdi Merbah Ouargla, 91 p.
11. **Calvet R. (2013).** Le sol : Constitution, propriétés physiques, physicochimiques et chimiques. Organismes vivants. Qualité des sols (2° Éd.). France Agricole Editions, 738 p.
12. **Chaineau CH., Morel JL. Et Oudot J., 1997.** Phytotoxicity and plant uptake of Fuel Oil hydrocarbons. J. Environ. Quali. V26. pp 1478-1483.

13. **Clement M et pieltain F., 2003.** Analyse chimique méthodes choisies. Ed. TEC&Doc.P 275.
14. **Colin F., 2000.** Pollution localisé des sols et sous sols par les hydrocarbures et par les solvants chlores. Edition TEC et DOC. P 417.
15. **Delage P. et Schrefler B., 2005.** Géomécanique environnementale : sols pollués et déchets. Lavoisier. 249 p.
16. **Duchaufour P., Faivre P., Poulenard J., Gury M. (2018).** Introduction à la science du sol 7e édition Sol, végétation, environnement. Dunod, 472 p.
17. **Fattal P., 2008.** Pollution des cotes par les hydrocarbures. Presse universitaire de Rennes. 498 p.
18. **Gobat J. M., Aragno M., & Matthey W. (2010).** Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols. PPUR Presses polytechniques (Vol. 14), 817 p.
19. **Hanini M., 2009.** Caractérisation de la contamination des berges de rivières saint François et massawippi par les hydrocarbures pétrolier et métaux lourds ( sud de quibec canada ) .
20. **Henin O., Hasnaou A., 1969:** Effets des hydrocarbures sur les propriétés physicochimiques du sol et essaie de phytoremediation. Mémoire d'ingénieur d'état en Biologie. U.M.M.T.O. 35p.
21. **Khimeche F., Oudai S. (2019).** Etude des caractéristiques physiques et chimiques des sols pollués par les carburants Cas des stations-services de Ouadhia et Yakourene. Mémoire de Master en biodiversité et environnement, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
22. **Koller E. (2004).** Traitement des pollutions industrielles (eau, air, déchet, sol, boues).Edition DUNOD Paris. 424 p.
23. **Lamiri F., Nezloui H. (2017).** Mémoire de Master en protection de l'environnement, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
24. **Lecompte P., 1998.** Les sites polluent. Traitement des sols et des eauxsouterrains. Editionlavoisier. TEC et PAC, p198.
25. **Legros J.P., 2007.** Les grands sols du monde. Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, P574.
26. **Louati H. (2013).** Etude de la bioremédiaion de sédiments contaminés par des hydrocarbures aromatiques polycycliques: Impact écologique sur la microflore et la microfaune de la lagune de Bizerte .Thèse de Doctorat. Université de Carthage et Montpellier II, 276p.

27. **Lumière B. ,2001. Seguin JJ. , Guyonet D., Branger . ,** guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes .BRGM / RP, P 99.
28. **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. 24.N° 10. pp: 150-169.
29. **Origo N., Wicherek S. & Hotyat M. (2012).** Réhabilitation des sites pollués par phytoremédiation. VertigO, 12(2), 14p.
30. **Picot A., Mantondon.2003.** Ecotoxicochémie appliqué aux hydrocarbures. Edition chantalarpino , 653 . 175-179.
31. **Ramade F., 1992.** Précis d'écologie. 6ème edition Masson. Paris. 300 p.
32. **Ramade F., 2007:** Introduction à l'écotoxicologie. Fondements et applications. Edition Tec et Doc. Lavoisier. 618p.
33. **Riviere J.L., 1998.** Evaluation du risqué écologique des sols pollués. Lavoisier Tec et Doc. P193.
34. **Rouquerol T., Amir H., Amir A., 1987:** Effets de l'épandage de résidus pétroliers de raffinerie sur l'évolution de la matière organique. L'activité de la densité microbienne d'un sol agricole. Revue d'écologie et de biologie du sol. Vol. 24. N° 2. pp: 137-156.
35. **Saada A., Nowak C. et Coquereau N., 2005.** L'état des connaissances sur l'atténuation naturelle des hydrocarbures. Edition BRGM.107 p.
36. **Saada G., Afyun M., Mousavi S.-F., Abbaspour K. C., Richards B. K &Schulin R.,2010.** Transport of Cd, Cu, Pb and Zn in a calcareous soil under wheat and safflower cultivation-a column study. Geoderma, vol. 154. 311-320.
37. **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.
38. **Verdin A., Lounès-Hadj Sahraoui A., et Durand R., 2004.** Les agents de la bioremédiation des sols pollués par les hydrocarbures polycyclique aromatiques. N° 36. 4 e trimestre. pp 30- 37.

# **Annexes**

**Annexe I** : Analyses physico-chimiques du sol de la station-service d'Azazga.

**Tableau 01** : Résultats d'analyses du pH

	P1	P2	P3
Echantillon 1	7,99	7,95	7,91
Echantillon 2	8	7,94	7,91
Echantillon 3	8	7,95	7,92
<b>Moyenne</b>	<b>7,99</b>	<b>7,94</b>	<b>7,91</b>

**Tableau 02** : Résultats d'analyses de l'humidité (%)

	P1	P2	P3
Echantillon 1	0,34	0,33	0,91
Echantillon 2	0,28	0,39	0,92
Echantillon 3	0,34	0,39	0,90
<b>Moyenne</b>	<b>0,32</b>	<b>0,37</b>	<b>0,91</b>

**Tableau 03** : Résultats d'analyses de la conductivité électrique (ms/cm)

	P1	P2	P3
Echantillon 1	0,43	0,27	0,25
Echantillon 2	0,43	0,25	0,25
Echantillon 3	0,42	0,26	0,24
<b>Moyenne</b>	<b>0,38</b>	<b>0,26</b>	<b>0,24</b>

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

	P1	P2	P3
Echantillon 1	8,15	12,1	16,5
Echantillon 2	9,05	12,5	16,48
Echantillon 3	8,12	11,97	16,5
<b>Moyenne</b>	<b>8,44</b>	<b>12,19</b>	<b>16,49</b>

**Tableau 05** : Résultats d'analyses des sels solubles**Bicarbonates (Meq/l)**

	P1	P2	P3
Echantillon 1	4,32	3,1	1,18
Echantillon 2	4,33	3,2	1,17
Echantillon 3	4,33	3,2	1,17
<b>Moyenne</b>	<b>4,32</b>	<b>3,16</b>	<b>1,16</b>

**Chlorures (Meq/l)**

	P1	P2	P3
Echantillon 1	1,67	1,23	0,82
Echantillon 2	1,68	1,2	0,8
Echantillon 3	1,68	1,22	0,82
<b>Moyenne</b>	<b>1,67</b>	<b>1,21</b>	<b>0,81</b>

**Tableau 06** : Résultats d'analyses du carbone et de la matière organique (%)

	P1		P2		P3	
	carbone	MO	carbone	MO	carbone	MO
Echantillon 1	3,28	4,92	1,6	2,2	1,1	1,57
Echantillon 2	3,2	4,94	1,64	2,27	1,12	1,58
Echantillon 3	3,26	4,94	1,64	2,28	1,12	1,58
<b>Moyenne</b>	<b>3,24</b>	<b>4,93</b>	<b>1,62</b>	<b>2,25</b>	<b>1,11</b>	<b>1,57</b>

**Annexe II** : 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, 1998)

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

Carbone organique (Hazeltoun et 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 (Hazeltoun et 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

### Annexe III : Résultats des analyses statistiques avec le logiciel R

#### 1. Résultats du test ANOVA des paramètres physicochimiques

pH

```
> reg.aov1=lm(PH~trt)
> anova(reg.aov1)
Analysis of Variance Table

Response: PH
      Df  Sum Sq  Mean Sq F value  Pr(>F)
trt    2  0.010556  0.0052778  158.33 6.43e-06 ***
Residuals 6  0.000200  0.0000333
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> |
```

Humidité

```
> kruskal.test(H~trt)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  H by trt
Kruskal-Wallis chi-squared = 6.0565, df = 2, p-value = 0.0484
> |
```

Conductivité électrique

```
> kruskal.test(CE~trt)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  CE by trt
Kruskal-Wallis chi-squared = 6.771, df = 2, p-value = 0.03386
```

## Calcaire total

```
> reg.aov1=lm(calcaire~trt)
> anova(reg.aov1)
Analysis of Variance Table

Response: calcaire
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
trt    2  97.437   48.719   410.86 3.809e-07 ***
Residuals 6   0.711    0.119
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> |
```

## Bicarbonates

```
> kruskal.test(bicarbonat~trt)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  bicarbonat by trt
Kruskal-Wallis chi-squared = 7.3846, df = 2, p-value = 0.02491
> |
```

## Chlorures

```
> reg.aov1=lm(chlorure~trt)
> anova(reg.aov1)
Analysis of Variance Table

Response: chlorure
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
trt    2  1.1196  0.55981  4198.6 3.64e-10 ***
Residuals 6  0.0008  0.00013
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
~ |
```

## Carbones organique

```
> kruskal.test(carbone~trt)

      Kruskal-Wallis rank sum test

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

## Matière organique

```
> kruskal.test(MO~trt)

      Kruskal-Wallis rank sum test

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

## 2. Résultats du test de Newman et Keuls des paramètres physicochimiques

## pH

```
$groups
      PH groups
P1 7.996667    a
P2 7.946667    b
P3 7.913333    c
```

## Humidité

```
$groups
      H groups
P3 0.91      a
P2 0.37      b
P1 0.32      b
```

## Conductivité électrique

```
$groups
      CE groups
P1 0.4266667 a
P2 0.2600000 b
P3 0.2466667 b
```

## Calcaire total

```
$groups
      calcaire groups
P3 16.49333    a
P2 12.19000    b
P1  8.44000    c
```

### Bicarbonates

```
$groups
  bicarbonate groups
P1  4.326667      a
P2  3.166667      b
P3  1.173333      c
```

### Chlorures

```
$groups
  chlorure groups
P1 1.6766667      a
P2 1.2166667      b
P3 0.8133333      c
```

### Carbones organique

```
$groups
  carbone groups
P1 3.246667      a
P2 1.626667      b
P3 1.113333      c
```

### Matière organique

```
$groups
  MO groups
P1 4.933333      a
P2 2.250000      b
P3 1.576667      c
```

## **Résumé :**

Le sol se distingue par ses propriétés physico-chimiques et biologiques, dont les interactions déterminent sa capacité à supporter la biomasse et conditionnent son utilisation. Notre étude s'est concentrée sur l'impact de la pollution par les hydrocarbures sur les caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sol prélevés à la station-service d'Azazga.

Les paramètres étudiés pour définir la physico-chimie des sols incluent l'humidité, le pH, la conductivité électrique, le calcaire total, les sels solubles, le carbone organique et la matière organique.

Les résultats obtenus ont révélé que les hydrocarbures ont un effet significatif sur les caractéristiques du sol. En effet, certains paramètres tels que le calcaire total et l'humidité ont augmenté, tandis que d'autres tels que le carbone organique, la matière organique et les sels solubles ont diminué. En revanche, le pH du sol n'a subi pratiquement aucun changement dû à la présence des hydrocarbures.

**Mots clés :** station-service, pollution des sols, carburants, pH, humidité, anions, carbone, matière organique.

## **Abstarct;**

Soil is characterized by its physicochemical and biological properties. The interrelationships between these different properties determine the soil's capacity and limitations to support biomass and, more broadly, influence land use. Our study focused on the impact of hydrocarbon pollution on the physicochemical characteristics of soil samples collected from the Azazga gas station.

The parameters defining the physicochemical properties of the studied soils include moisture, pH, electrical conductivity, total limestone, soluble salts, organic carbon, and organic matter. The results obtained revealed that hydrocarbons have a significant effect on soil characteristics, manifested by an increase in certain parameters such as total limestone and moisture, and a decrease in others such as organic carbon, organic matter, and soluble salts. However, hydrocarbons did not have any effect on soil pH.

**Keywords:** gas station, soil pollution, fuels, pH, moisture, anions, carbon, organic matter.