



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE 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.*



## ***Mémoire de fin d'étude***

*En vue de l'obtention du diplôme de MASTER*

*Filière : Ecologie et environnement.*

*Spécialité : Biodiversité et environnement.*

### ***Thème :***

*Caractéristiques physico-chimiques de sols pollués  
par les hydrocarbures. Cas de la Station-service de  
Bouzeguène.*

*Présenté par : M<sup>elle</sup> Benbachir Lamia*

*M<sup>elle</sup> Moussous Cylia*

*Devant le jury composé de :*

<i>Présidente :</i>	<i>Melle Ali Ahmed S.</i>	<i>MAA (UMMTO)</i>
<i>Promotrice :</i>	<i>Mme Sadoudi D.</i>	<i>Professeur (UMMTO)</i>
<i>Co-promotrie :</i>	<i>Mme LAMRI T.</i>	<i>MAA(UMMTO)</i>
<i>Examinatrice :</i>	<i>Mme Chibane G.</i>	<i>MAB (UMMTO)</i>

*Soutenue : 29/09/2022*

## Remerciements

Nous remercions, tout d'abord, Madame SADOUDI-ALI AHMED Djamilia, Professeur au département de Biologie de l'U.M.M.T.O pour nous avoir proposé cette thématique, nous avoir encadrés durant toute la durée du travail. Nous tenons à lui exprimer toute notre gratitude et notre reconnaissance pour avoir fait partager ses connaissances dans ses domaines de compétences, pour ses conseils, sa disponibilité et pour son investissement dans ce travail de recherche.

Nous tenons à remercier notre co-promotrice Mme LAMRI TAOUS, Maitre-assistante au département de Biologie de L'U.M.M.T.O qui nous a orientées et aidées dans la réalisation des analyses pédologiques.

Nos vifs remerciements vont aussi aux membres du jury Mme ALI AHMED SAMIRA et CHIBANE GOURAYA, MAB de l'UMMTO pour l'intérêt qu'elles ont porté à notre recherche en acceptant de présider, et d'examiner notre travail et de l'enrichit par leurs remarques.

Nous souhaitons remercier chaleureusement l'ensemble du personnel du laboratoire de pédologie, du laboratoire commun et du laboratoire du département d'agronomie, la FSBSA de l'université de Mouloud Mammeri.

Nous témoignons notre profonde gratitude à l'égard de Mr Sadou Sidali et Ramdan Ramdini Doctorant à l'UMMTO et Melle ALI AHMED CHAFIKA MCB à l'UMMTO pour leur aide ainsi que leur explication.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire

## **DEDICACES**

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents les prunelles de mes yeux, pour leur soutien morale et matériel tout au long de mes études, que dieu tout puissant me les protège et leur accorde une longue vie pleine de bonheur et de santé.*

*A mes très chers frères à qui je souhaite le succès dans leurs vies.*

*A ma belle sœur Dahbia et mon neveu adoré Amine.*

*A ma meilleur amie Houda avec qui j'ai partagé ce travail et toute sa respectueuse famille.*

*A ma chère binôme Cylia.*

*A tous mes amis(es), Tina, Fatma et ceux qui m'aiment notamment mes camarades de classe auxquels je souhaite la réussite et le bonheur.*

*A tous les enseignants(e) et les étudiants(e) de la promotion*

*Biodiversité et environnement.*

**Lamia**

*Avant tout je remercie ALLAH pour tout.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, et leur soutien moral,*

*A mes sœurs:*

*Lynda, Samira, Siham et Romaiissa et mes chers frères Hamid et Samir ainsi que mes chers neveux et ma nièce Iline.*

*A ma belle sœur Thanina*

*A ma chère binome Lamia.*

*A tous mes ami(e)s spécialement Hocine, Fatma et Tina pour leur appui tout au long de mon parcours universitaire notamment mes camarades de classe auxquels je souhaite la réussite et le bonheur.*

*A tous les enseignants(e) et les étudiants(e) de la promotion*

*Biodiversité et environnement.*

**Cylia.**

### Liste des figures :

<b>Figures</b>	<b>titre</b>	<b>Page</b>
<b>1</b>	Situation géographique de la région d'étude.	<b>12</b>
<b>2</b>	Position géographique des villages de la commune de Bouzeguène.	<b>13</b>
<b>3</b>	Diagramme ombrothermique de Bouzeguène (2012-2021).	<b>18</b>
<b>4</b>	Position de la région d'étude sur le climagramme d'Emberger.	<b>19</b>
<b>5</b>	Préparation du sol (photos originales, 2022).	<b>21</b>
<b>6</b>	Etapes suivie pour la détermination de la granulométrie des trios sols de Bouzeguène (photos originales, 2022).	<b>22</b>
<b>7</b>	Etapes suivies pour la détermination d'humidité des trois sols de Bouzeguène (photo originales, 2022).	<b>24</b>
<b>8</b>	Etapes suivies pour la détermination du pH (photos originales, 2022).	<b>25</b>
<b>9</b>	Etapes suivies pour la détermination de la conductivité électrique (photos originales, 2022).	<b>25</b>
<b>10</b>	Etapes suivies pour la détermination du calcaire total (photos originales, 2022).	<b>26</b>
<b>11</b>	Etapes suivies pour la détermination du carbone organique (photos originales, 2022)	<b>27</b>
<b>12</b>	Etapes suivies pour la détermination des bicarbonates (photos originales, 2022).	<b>28</b>
<b>13</b>	Etapes suivies pour la détermination des chlorures (photos originales, 2022).	<b>29</b>
<b>14</b>	Résultats de la projection des composants des trois sols étudiés.	<b>31</b>
<b>15</b>	Variation de taux d'humidité des trois sols de Bouzeguène.	<b>34</b>
<b>16</b>	Variation du pH des trois sols de Bouzeguène.	<b>34</b>
<b>17</b>	Variation de la conductivité électrique des trios sols de Bouzeguène.	<b>36</b>
<b>18</b>	Variation du calcaire total des trois sols de Bouzeguène.	<b>36</b>
<b>19</b>	Variation de carbone organique des trois sols de Bouzeguène.	<b>38</b>
<b>20</b>	Variation de matière organique des trios sols de Bouzeguène.	<b>39</b>
<b>21</b>	Variation de bicarbonates des trois sols de Bouzeguène.	<b>41</b>
<b>22</b>	Variation des chlorures des trois sols de Bouzeguène..	<b>41</b>
<b>23</b>	ACP des variables des variable pour les paramètres physico-chimiques du sol de la station-service de Bouzeguène .	<b>43</b>
<b>24</b>	ACP des individus pour les paramètres physico-chimiques du sol de la station-service de Bouzeguène .	<b>43</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Pages</b>
<b>N°1</b>	Température maximale et minimales de la région de Bouzeguène durant la période (2012-2021).	<b>15</b>
<b>N°2</b>	Précipitations moyennes mensuelles de région de Bouzeguène durant la période (2012-2021) après extrapolation.	<b>16</b>
<b>N°3</b>	Q2 d'Emberger calculé pour la région d'étude Bouzeguène.	<b>18</b>
<b>N°4</b>	Résultats d'ANOVA pour la variable argile.	<b>32</b>
<b>N°5</b>	Résultats du test de Newman et Kuels pour la variable argile.	<b>32</b>
<b>N°6</b>	Résultats d'ANOVA pour la variable limon.	<b>32</b>
<b>N°7</b>	Résultats d'ANOVA pour la variable sable.	<b>33</b>
<b>N°8</b>	Résultats du test de Newman et Kuels pour la variable sable.	<b>33</b>
<b>N°9</b>	Résultats d'ANOVA pour la variable pH.	<b>35</b>
<b>N°10</b>	Résultats du test de Newman et Kuels pour la variable pH.	<b>35</b>
<b>N°11</b>	Résultats de test d'ANOVA réalisés pour le calcaire totale.	<b>37</b>
<b>N°12</b>	Résultats de test ANOVA réalisé pour le taux de carbone.	<b>37</b>
<b>N°13</b>	Résultats du test Newman et Kuels pour la variable taux de carbone.	<b>38</b>
<b>N°14</b>	Résultats du test d'anova pour la variable matière organique	<b>39</b>
<b>N°15</b>	Résultats du test Newman et Kuels pour la variable matière organique.	<b>40</b>
<b>N°16</b>	Résultats d'ANOVA pour la variable bicarbonate.	<b>40</b>
<b>N°17</b>	Résultats d'ANOVA pour la variable chlorure.	<b>42</b>

## Liste des abréviations :

**CE** : Conductivité électrique.

**CEC** : Capacité d'échange cationique.

**CNA** : Capacité de neutralisation des acides.

**HAP** : Hydrocarbure aromatique polycyclique.

**PH** : Hydrocarbures pétrolières.

**U.S.D.A** : United States Departement of Agriculture.

## Sommaire

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

### Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

I-Généralités sur le sol.....	3
1-Définition du sol .....	3
2-Rôle du sol .....	3
3- Constituants du sol.....	3
4- Propriétés du sol.....	3
5- Pollution du sol .....	6
6- Effet des polluants sur le sol .....	6
II-Contamination des sols par les hydrocarbures .....	6
1-Définition .....	6
2-Origine des hydrocarbures .....	6
3-Composition des hydrocarbures .....	7
4-Classification des hydrocarbures .....	7
5-Propriétés physico-chimique des hydrocarbures .....	8
6-Origine des hydrocarbures dans le sol .....	9
7-Comportement et le devenir des hydrocarbures dans le sol.....	10
8-Toxicité des hydrocarbures .....	11

### Chapitre II : Matériel et méthodes

1-Présentation de la zone d'étude.....	12
2- Synthèse climatique et étage bioclimatique .....	17
3- Matériel et méthodes.....	20
4- Analyses effectuées.....	22
4-1-Granulométrie .....	22
4-2-Humidité hygroscopique.....	23
4-3-pH .....	24
4-4-Conductivité électrique .....	25
4-5-Calcaire total.....	26
4-6- carbone organique.....	26
4-7-Matière organique.....	27

4-8-Dosage des anions (les sels solubles) .....	28
5- Analyses statistiques .....	29

### **Chapitre III : Résultats et discussion**

I-Analyse des résultats physiques et chimiques du sol.....	30
I-1-Paramètres physiques .....	30
I-1-1- Granulométrie .....	30
I-1-2-Humidité .....	33
I-2-Paramètres chimique .....	34
I-2-1-Potentiel hydrogène.....	34
I-2-2-Conductivité électrique .....	35
I-2-3-Calcaire total .....	36
I-2-4-Carbone organique .....	37
I-2-5-Taux de matière organique.....	39
I-2-6-Sels solubles .....	40
II- Discussion .....	45
Conclusion .....	47
Références bibliographiques .....	48

**Annexes**

**Résumé**

# *Introduction*

## Introduction

Le sol est un milieu naturel composé d'un mélange des éléments organiques et inorganiques présents à l'état gazeux, aqueux et solide. Les sols diffèrent considérablement dans leurs caractéristiques génétiques et environnementales mais fonctionnent, généralement, comme des réservoirs d'eau et de nutriments qui favorisent la croissance des plantes et des micro-organismes (Lee *et al.*, 2020). Il joue aussi un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres. C'est une ressource importante qu'il convient de protéger compte tenu de l'accélération de sa dégradation liée, souvent, aux activités humaines. Cette protection passe avant tout par le développement des recherches dans ce domaine scientifique clé : la pédologie (Gobat *et al.*, 2010).

La pollution des sols par les polluants organiques tels que les hydrocarbures pétroliers est depuis longtemps une préoccupation environnementale car ces composés sont persistants et difficiles à biodégrader. Les déversements des huiles et des carburants dans le sol sont parmi les problèmes de pollution les plus importants et les plus dommageables pour l'environnement car ils menacent la santé humaine et les écosystèmes, en particulier dans les régions froides (Ahmed *et al.*, 2018).

Certaines activités qui se déroulent dans le cadre d'exploitation de la station-service peuvent être à l'origine d'impacts environnementaux tels qu'une diminution de la qualité des eaux et des sols, de la qualité de l'air, ou peuvent entraîner une détérioration de la qualité de vie à la station-service par émission d'odeurs d'hydrocarbures, de produits de lavage et de bruits divers (Administration de l'environnement du Luxembourg, 2014).

Cependant, ces stations-services ne respectent pas toujours les réglementations environnementales et rejettent leurs émissions dans les milieux naturels sans traitement préalable (Nemur, 2015).

Dans la wilaya de Tizi-Ouzou, certaines études ont porté sur l'effet des hydrocarbures sur les propriétés physiques et chimiques du sol, tels que les travaux de Lamiri et Nezlioui (2017), Saad et Dendani (2017) dans la station-service de Fréha, Aumar et Sediri (2018) dans les deux stations-services Fréha et Idjeur, Chikhaoui et Hettak (2019) et Khimeche et Oudai (2019) dans les stations-services Ouadhia et Yakourene.

L'objectif de notre étude consiste à une évaluation de l'effet des hydrocarbures sur quelques propriétés physico-chimiques du sol selon un gradient de pollution au niveau de la station-service de la wilaya de Tizi-Ouzou localisée à Bouzeguène.

## Introduction

Le présent mémoire est structuré comme suit :

- Un premier chapitre qui comprend des rappels bibliographiques sur la thématique abordée.
- Un deuxième chapitre sera consacré au matériel et aux méthodes qui décrivent le mode d'échantillonnage, la présentation de l'ensemble des protocoles expérimentaux, et la méthodologie suivie pour la caractérisation des sols.
- Dans le dernier chapitre, les résultats obtenus sont représentés en formats graphiques et analysés statistiquement, interprétés et enfin discutés.

Nous terminons ce travail par une conclusion et quelques perspectives.

*Synthèse*  
*Bibliographique*

## I-Généralités sur le sol

### 1-Définition

Le sol est une ressource naturelle ; définie en sciences du sol comme la couche supérieure de la croûte terrestre transformée par des processus climatiques, physicochimiques et biologique, composée de particules minérales, de matière organique, d'eau, d'air et d'organismes vivants organisés en horizons de sol génétique (ISO., 2015).

### 2- Rôle du sol

Selon Gobat et *al* (2010), le sol est considéré comme.

- Un soutien biologique et un réservoir organique et minéral.
- Régulateur des échanges et des flux dans l'écosystème où la matière organique est transformée et stockée.
- Un système de décontamination des substances toxiques.

### 3- Constituants du sol

- **Une fraction solide** : composée des constituants minéraux (argile, sable ect.), et des constituants organiques
- **Une fraction liquide** : composé d'eau dans laquelle sont dissoutes des substances solubles provenant à la fois des précipitations et des ruissellements.
- **Une fraction gazeuse** : composée des mêmes gaz que l'air, en plus des gaz provenant de la décomposition des matières organiques (Gobat et *al.*, 2010).

### 4- Propriétés du sol

#### 4-1- Propriétés physiques

Les propriétés physiques du sol ont un impact profond sur la façon dont le sol affecte la qualité et la productivité du sol (Schoeneberger et *al.*, 2012).

##### 4-1-1- Texture

La texture du sol dépend de la quantité de sable, de limon et d'argile dans l'échantillon de sol. Leurs pourcentages aident à classer les sols en différentes catégories (Schoonover et *al.*, 2015).

# Généralités sur le sol et les hydrocarbures.

## 4-1-2- Structure

La structure du sol est une description de la façon dont les particules de sol sont disposées en agrégats et reflètent l'altération physique et chimique. Elle est affectée par de nombreux facteurs (Schoonover et *al.*, 2015).

## 4-1-4- Porosité

Les pores du sol sont représentés par des cavités de différentes tailles et formes, déterminées par la disposition des particules solides et constituent la fraction volumétrique du sol occupée par l'air et la solution (Hiel et *al.*, 2016).

## 4-1-5- Perméabilité

Elle rend compte de la vitesse d'écoulement de l'eau dans les vides les plus grands du sol sous l'influence de la gravité, il varie selon les horizons (Charnet., 2018).

## 4-1-7-Température du sol

La température du sol est souvent un facteur important, en particulier dans les champs d'élimination des déchets agricoles et organiques. De plus, la température du sol influence les processus physiques, chimiques et microbiens qui contrôlent la localisation et la migration des contaminants dans l'environnement souterrain (Pepper et *al.*, 2019).

## 4-2- Propriétés chimiques

La chimie du sol joue un rôle clé dans la productivité des plantes et la composition des espèces, elle est déterminée par l'altération et le type de roche, la capacité d'échange cationique du sol, des acides de respiration microbienne et des stratégies de gestion du sol (Schoonover et *al.*, 2015).

### 4-2-1- pH

Il rend compte de la concentration en ions d'hydrogène  $H^+$  d'une suspension de terre dans l'eau. Il est aussi relié à beaucoup d'autres propriétés du sol (Charnet, 2018).

## Généralités sur le sol et les hydrocarbures.

### 4-2-2- Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique (CEC), qui est la somme des cations échangeables qu'un sol peut adsorber. Elle varie selon le type de sol, d'argile et de la quantité de matière organique présente (Schoonver *et al.*, 2015).

### 4-2-4- Matière organique

La matière organique est constituée de l'ensemble des molécules carbonées du sol provenant des organismes vivants ou en cours de décomposition. C'est la base de la fertilité des sols. Elle est essentielle au bon fonctionnement de ses propriétés et apporte les bénéfices physiques, chimiques et biologiques (Parent, 2010).

### 4-2-5-Calcaire total

Le calcaire est une source majeure d'alcalinité et de dureté. La dissolution du calcaire dans la nature dépend fortement de la concentration de CO<sub>2</sub> dissous dans l'eau (Boyd et al; 2016). Il est principalement composé de calcite, mais il contient souvent des impuretés variables qui influencent fortement sa composition physique et chimique (Sdiri et al; 2014).

### 4-2-6- Conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) est la capacité d'une substance à conduire un courant électrique. Elle est liée à diverses propriétés du sol et principalement au K<sup>+</sup> échangeable (Rayne et al., 2020).

## 5- Pollution du sol

On entend par "pollution du sol" la présence des substances chimiques ou non chimiques dans le sol à une concentration supérieure à la normale qui a des effets néfastes sur tout organisme non ciblé (Swartjes, 2011).

## 6-Effet de la pollution sur le sol

Sur la base des preuves scientifiques, la pollution des sols peut gravement dégrader les principaux services écosystémiques fournis par le sol et réduire la sécurité alimentaire.

# Généralités sur le sol et les hydrocarbures.

De nombreux contaminants sont transportés du sol vers les eaux de surface et les eaux souterraines, causant ainsi de grands problèmes directs de santé humaine dus à la pollution de l'eau potable. Les polluants nuisent aussi directement aux micro-organismes du sol ce qui affecte la biodiversité du sol et les services fournis par les organismes concernés (Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2018). Il existe plusieurs types des polluants du sol telle que les métaux lourds, les polluants organiques et inorganiques et principalement les hydrocarbures.

## II- Généralités sur les hydrocarbures

### 1-Définition

Les hydrocarbures constituent un groupe de produits chimiques organiques de structure très variée, ils sont constitués uniquement de carbone (C) et d'hydrogène (H). Ce sont les molécules organiques les plus simples et constituent la base des autres composés organiques (Picot *et al.*, 2013).

### 2-Origine des hydrocarbures

Les hydrocarbures pétroliers (PH), également connus sous le nom de combustibles fossiles, proviennent de sources minérales qui sont présents à l'état naturel (Hung *et al.*, 2020). Ils sont aussi liés aux matières organiques d'anciens organismes vivants qui ont subi une dégradation anaérobie (Ahmed et Fakhrudin, 2018).

Il existe des exemples d'origines anthropiques, les PH provenant des sources ponctuelles étendues affectées par une combustion incomplète (Devatha *et al.*, 2019), des sources ponctuelles plus petites comprennent des sources dispersées (Ossai *et al.*, 2019), les fuites d'huiles pétrolières, les boues d'épuration et les déchets goudronneux ou créosotés (Shahzad, 2015 ; Singh *et al.*, 2019).

### 3-Composition des hydrocarbures

D'un point de vue chimique, le terme pétrole brut est strictement attribué à un mélange complexe de composés organiques comprenant majoritairement des atomes d'hydrogène et de carbone (Koshlaf et Ball, 2017). Les composants non-hydrocarbures sont constitués de composés soufrés, des composés azotés et des composés oxygénés. Certains métaux peuvent

## Généralités sur le sol et les hydrocarbures.

également être trouvés, et ces hétérocomposés sont principalement contenus dans le composants non volatils des hydrocarbures pétroliers (Ossaiet *al.*, 2020).

### 4-Classification des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont classés en prenant compte les deux critères :

Le premier est le nombre d'atomes de carbone qui forment le squelette moléculaire, et le deuxième est la structure de la chaîne hydrocarbonée, qui peut être plus ou moins saturée (Picot et *al.*, 2013).

#### 4-1- Hydrocarbures aliphatiques

Les hydrocarbures aliphatiques sont les principaux constituants du pétrole brut et des produits pétroliers, ils sont des dérivés du méthane contenant des structures à chaîne ouverte, linéaires ou ramifiées, saturées ou insaturées. Ils sont couramment utilisés comme agents de dégraissage et solutions de nettoyage industriel (Su et *al.*, 2013 ; Rajajayavel et Ghoshal, 2015).

#### 4-2-Hydrocarbures cycliques

Les hydrocarbures cycliques peuvent être mono- ou polycycliques, saturés ou insaturés. Pour former un cycle, les molécules doivent perdre deux atomes d'hydrogène comme lors de la formation d'une double liaison. La nomenclature fait alors apparaître le préfix « cyclo » (Picot et *al.*, 2013).

#### 4-3- Hydrocarbures aromatiques

Ce sont des composés organiques classés par la présence de deux à six cycles aromatiques avec ou sans substituant alkyles, disposés en arrangement linéaires, groupés ou angulaires dans leur structure. Ces composés sont des produits finaux du traitement du pétrole brut, ils représentent en moyenne environ 26 à 30 % des constituants du pétrole (Koshlaf et *al.*, 2017).

#### 4-4-Essence

L'essence est un terme générique utilisé pour décrire les carburants pétroliers volatils, inflammables principalement utilisés dans les moteurs à combustion interne pour propulser

## Généralités sur le sol et les hydrocarbures.

les différents types de véhicules. Dans la composition de l'essence, les aromatiques représentent environ 50 % de la teneur totale en hydrocarbures, les iso-alcanes représentent environ 35 % d'alcanes, les alcènes et les cycloalcanes sont présents en petites quantités (Ahmed et Fakhruddin, 2018).

### 4-5- Diesel

Le diesel est un composé complexe d'alcanes et d'hydrocarbures aromatiques. La composition moléculaire des hydrocarbures dans le diesel est divisée en trois classes différentes qui sont les saturés, les insaturés et les aromatiques (Speight, 2015; Ahmed et Fakhruddin, 2018).

## 5-Propriétés physiques des hydrocarbures

Plusieurs propriétés physiques et chimiques sont utilisées pour caractériser et différencier les hydrocarbures pétroliers, qui jouent un rôle clé dans leur comportement dans l'environnement. Ces propriétés sont brièvement décrites.

### 5-1- Viscosité et le point d'écoulement

La viscosité peut être définie comme la résistance d'un liquide à s'écouler. Elle affecte le processus d'évaporation et d'émulsification des hydrocarbures déterminée principalement par le rapport des composés léger et lourd (Fingas, 2011).

Le point d'écoulement est la température à laquelle le produit commence à s'écouler à l'intérieur. Cette propriété est étroitement liée à la viscosité (Itopf, 2012).

### 5-2- Densité

La densité des hydrocarbures correspond à la masse par unité de volume. Cette propriété est utilisée par l'industrie pétrolière pour différencier les hydrocarbures légers des hydrocarbures lourds (Radovic et *al.*, 2012).

### 5-3- Solubilité

La solubilité est la capacité d'une substance à se dissoudre dans l'eau. Plus la proportion d'hydrocarbures légers sera importante, plus la solubilité du produit pétrolier dans l'eau sera significative. (Fingas, 2013).

## 5-4- Point d'éclair

Le point d'éclair ou point d'inflammabilité est la température au-dessus, de laquelle le produit libère suffisamment de vapeur pour former un mélange inflammable au contact de l'air (Fingas, 2013).

## 6- Origine des hydrocarbures dans le sol

Les principales sources de contamination des sols et des eaux souterraines par les hydrocarbures sont les fuites de pétrole et de gaz, les sites de production de gaz manufacturé et les stations-services (Brassington et *al.*, 2010 ; Albanese et Breward, 2011).

Le suintement des gisements de pétrole naturel provenant d'explorations intérieures et marines profondes sont l'une des principales voies par lesquelles les hydrocarbures pétroliers pénètrent dans le sol ; ce dernier constituant le plus grand réservoir et le récepteur ultime des polluants (Ron et Rosenberg, 2014 ; Varjani, 2017).

## 7- Comportement et devenir des hydrocarbures dans le sol

Lorsque les hydrocarbures pétroliers pénètrent dans l'environnement, les composants subissent un certain nombre de processus connus sous le nom d'altération (Abdel-Shafy et Mansour, 2016). Le taux de dégradation des hydrocarbures dépend de leur structure chimique et de leur concentration (Khan et *al.*, 2015 ; Stogiannidis et Laane, 2015).

### 7-1-Transformation abiotique

D'après Guermouche (2014), les pertes abiotiques d'hydrocarbures sont entièrement dues à des phénomènes physiques et chimiques et n'impliquent pas l'action des organismes vivants

#### 7-1-1-Evaporation

Au fur et à mesure que le pétrole se répand dans le paysage, les parties les plus légères s'évaporent dans l'atmosphère. Différents hydrocarbures pétroliers peuvent se comporter de différentes manières (Zhang et *al.*, 2010).

L'évaporation est le processus qui provoque la plus grande perte de masse d'hydrocarbures légers (Fingas, 2013).

# Généralités sur le sol et les hydrocarbures.

## 7-1-2- Dissolution

Lorsque la longueur de la chaîne ou le nombre de cycles aromatiques de l'hydrocarbure, augmente sa solubilité dans l'eau diminue. La concentration dissoute des hydrocarbures pétroliers dans l'eau dépend de la composition du pétrole (Ahmed et *al.*, 2018).

## 7-1-3-Sorption et désorption

De nombreuses fractions d'hydrocarbures hydrophobes peuvent être adsorbées sur les particules du sol via plusieurs processus. La structure et la composition du sol peuvent fortement influencer les cinétiques de sorption et de désorption. (Ahmed et *al.*, 2018).

## 7-2- Transformation biotique

Elle consiste en une série d'étapes impliquant la transformation chimique et la minéralisation des contaminants par l'activité métabolique et enzymatique (Maletic et *al.*, 2013).

### 7-2-1- Biodégradation

La biodégradation des hydrocarbures pétroliers dans l'environnement finalement est l'un des plus importants mécanismes naturels par lesquels ces polluants organiques peuvent être minéralisés et/ou transformés en sous-produits inoffensifs (Ite et *al.*, 2019).

Les hydrocarbures pétroliers sont principalement dégradés par des mécanismes de biodégradation enzymatique spécifiques impliquant des mécanismes aérobie ou anaérobie, l'attachement et la liaison des cellules microbiennes aux substrats avec la production de biosynthèse, de biosurfactants et d'émulsifiants (Varjani et Upasani, 2017).

## 8- Toxicité des hydrocarbures

Bien que le développement social et économique dépende en grande partie des hydrocarbures pétroliers en tant que source d'énergie majeure, il a causé une énorme zone de contamination et des effets négatifs. La contamination par les hydrocarbures pétroliers se propage du sol, de l'eau à la santé humaine (Ahmed et *al.*, 2018).

## 8-1- Effets sur les propriétés du sol

Dans le sol, les hydrocarbures pétroliers affectent les propriétés physiques du sol, telles que la texture du sol, le compactage, l'état structural, la résistance à la perméabilité, la conductivité hydraulique saturée, et les propriétés chimiques telles que la concentration et la teneur en minéraux et en métaux lourds (Hreniuc et *al.*, 2015).

Les principales modifications des propriétés du sol, associées à l'exposition aux composés dérivés du pétrole, sont le manque d'oxygène et d'eau, ainsi que les éléments nutritifs essentiels comme le phosphore et l'azote (Dutta et *al.*, 2017 ; Ahmed et Fakhruddin, 2018). Il est important de noter que les PH ont des effets néfastes sur les enzymes du sol et sur l'abondance microbienne (Oguntimehin et *al.*, 2010 ; Jajoo, 2017).

## 8-2- Effets sur la biologie du sol et sur le végétal

Les plantes cultivées dans des sols contaminés par des PH ont montré diverses anomalies dans leur croissance et leurs indices agronomiques du métabolisme (Khan et *al.*, 2014 ; Odukoya et *al.*, 2019).

Les déversements d'hydrocarbures affectent les plantes en créant des conditions qui empêchent d'obtenir des nutriments essentiels pour la croissance des plantes. Il a également des effets inhibiteurs sur la croissance des plantes ce qui entraîne une dégradation des processus métaboliques des plantes, une carence en chlorophylle et en nutriments, une diminution de la résistance aux parasites et aux maladies présentes (Shan et *al.*, 2014 ; Rusin et *al.*, 2015).

## 8-3- Effets sur la santé humaine

Les sols affectent la santé humaine directement par l'ingestion, l'inhalation et l'absorption du sol ou de ses composants et indirectement par la quantité et la qualité des aliments issus de l'agriculture. Certains de ces effets peuvent être nocifs pour la santé si des substances toxiques ou des organismes pathogènes pénètrent dans la chaîne alimentaire et se propagent à l'homme (Brevik, 2009 ; Brevik et Burgess, 2013). De nombreux rapports à travers le monde ont montré les effets néfastes des hydrocarbures pétroliers disponibles dans le sol sur la santé des personnes, tels que des problèmes psychologiques, une irritation des voies respiratoires, des problèmes cutanés et rénaux et des perturbations des groupes sanguins (Jeevanantham et *al.*, 2019 ; da Silva et Maranhão, 2019).

# *Matériels et méthodes*

L'objectif de notre étude consiste à évaluer les effets des hydrocarbures sur les paramètres physiques et chimiques des sols de la station-service de Bouzeguène. Pour cela des analyses ont été effectuées au niveau des laboratoires de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

## 1-Présentation de la zone d'étude

### 1-1- Situation géographique de la région

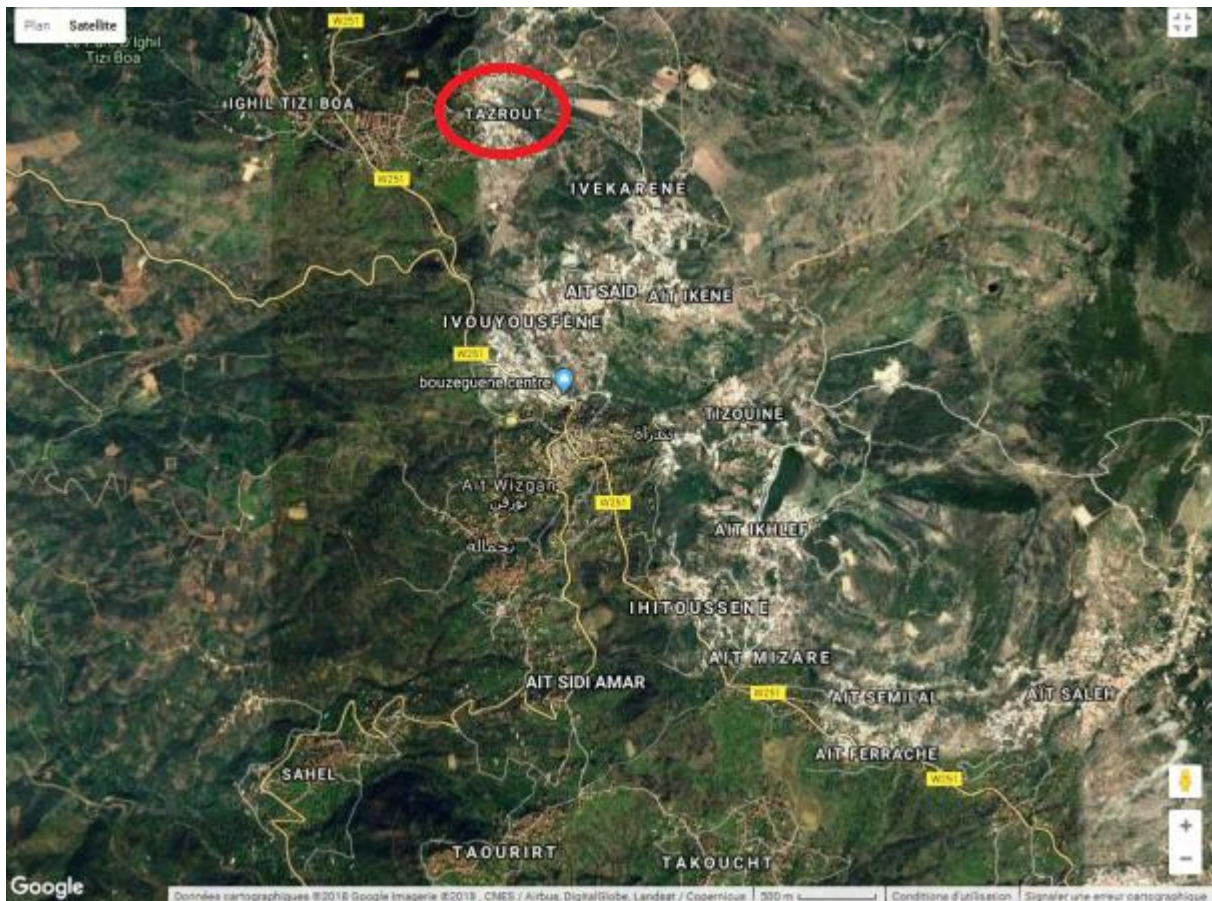
Bouzeguène est une commune de la wilaya de Tizi-Ouzou, dans la région de Grande Kabylie en Algérie. Elle se situe à 27 km à l'est d'Azazga et à 38 km au nord d'Akbou. Elle s'étend sur une superficie de 6.690 ha (Figure 1). Elle est limitée au Nord par la rivière Assif Oussardoune et la forêt de Yakourène, à l'Est et au Sud par la forêt de l'Akfadou et à l'Ouest par deux rivières celles d'Assif Boubhire et d'Assif Sahel.



**Figure 1 :** Situation géographique de la région d'étude : Bouzeguène sise dans la wilaya de Tizi-Ouzou (Google Earth, 2015).

## 1-2- Situation climatique

Bouzeguène possède un climat méditerranéen, caractérisé par un hiver froid et humide et un été chaud et sec selon la classification de Köppen-Geiger. Les températures varient d'une saison à une autre ; elles sont généralement élevées de juin à septembre. Les précipitations sont importantes, elles atteignent environ plus 800 mm d'eau par an. Mais elles sont caractérisées par une très forte irrégularité inter et intra-annuelle. Elles sont généralement abondantes en hiver et en automne.



**Figure 2** : Position géographique des villages de la commune de Bouzeguène (Google Earth; 2018).

## 1-3- Facteurs écologiques

Selon Dajoz (1979), tout organisme est soumis dans le milieu où il vit aux actions climatiques ou biotiques très variées. Nous appelons facteurs écologiques tout élément du milieu susceptible d'agir directement sur les êtres vivants au moins durant une phase de leur cycle de développement.

### **1-3-1-Facteurs abiotiques**

Les facteurs abiotiques sont des facteurs indépendants de la densité, ils agissent donc sur les organismes avec une intensité qui ne dépend pas de leur abondance (Dajoz, 2006). Ils peuvent être représentés par le relief, l'hydrographie, les types du sol et les facteurs climatiques :

#### **1-3-1-1-Relief**

Les reliefs de la région d'étude surplombent les vallées de l'Oued Boubhir et de l'Oued Sahel. L'altitude monte graduellement depuis la vallée de Boubhir de 250 à 400 m jusqu'à 1400 m correspondant à la limite inférieure de la partie Sud-Est de la forêt de Yakouren et du flanc méridional de la forêt de l'Akfadou. Dès 1400 m d'altitude, apparaît une véritable montagne fortement escarpée aux crêtes rocheuses et aux versants boisés (C.R.E.A.D.1987). La forêt de Yakouren occupe une part notable de la région d'étude.

#### **1-3-1-2-Hydrographie**

Le climat et le relief de versant Sud-Est de la chaîne côtière allant jusqu'au massif du Djurdjura offrent une très grande richesse en eau. Les débits des torrents et des cours d'eau qui descendent des flancs montagneux sont élevés durant la période pluvieuse. Les eaux sont drainées au Sud vers les vallées d'Assif Sahel et d'Assif Boubhir et à l'Est vers celle d'Assif Ousserdoune. Il arrive quelque fois que les oueds Boubhir et Sahel connaissent des crues. Par ailleurs, les rivières Ighezer n'Itelata et Ighezer Ibouissefen s'alimentent à partir des sources naturelles.

#### **1-3-1-3-Types de sols**

L'aspect pédologique influe sur la répartition de la microfaune dans les différents types du sol. Khidas (1997) signale que, le long de la zone côtière jusqu'à l'extrémité orientale de la grande Kabylie est formé principalement d'argiles schisteuses dans laquelle s'intercalent surtout des grès quartziteux ou quartzites. Dans la partie orientale de la Kabylie du Djurdjura les marnes et les calcaires dominent (Flandrin, et Thiebaut 1952, cités par Khidas 1997). Dans la montagne de Bouzeguène, les sols sont tantôt argileux, tantôt marneux et quelques fois caillouteux.

### 1-3-1-4- Facteurs climatiques

Parmi les facteurs climatiques les plus importants sont les températures et la pluviométrie. Cependant, compte tenu des particularités d'altitude et de topographie de la région d'étude, d'autres facteurs climatiques sont pris en considération.

#### 1-3-1-4-1- Température

La température est le facteur climatique le plus important. Selon Seltzer (1946), la température minimale et maximale diminuent respectivement de 0,4 et 0,7 pour chaque augmentation de 100 m d'altitude. La température est le facteur climatique le plus important. Elle influe sur la répartition géographique des espèces et contrôle l'ensemble de la réaction métabolique. En effet, chaque espèce ne peut vivre que dans un certain intervalle de températures qui lui est favorable (Dreux, 1980).

La différence d'altitude entre la région de Bouzeguène (Tazrout 900 m) et celle de la station météorologique de Tizi-ouzou (188m) s'élève à 712 m. On applique des corrections pour adapter les données climatiques de station météorologique de Boukhalfa à la région de Bouzeguène. Les températures moyennes maximales et minimales de la période d'étude sont regroupées dans le **tableau 1**.

**Tableau 1** : Températures maximales et minimales de la région de Bouzeguène durant la période (2012-2021) après extrapolation.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>M (°C)</b>	10,98	11,78	14,13	17,44	21,36	26,89	31,34	31,31	26,83	22,49	15,2	12,07
<b>m (°C)</b>	4,51	4,63	4,46	8,72	11,19	15,5	18,67	19,48	16,87	12,84	8,94	5,64
<b>(M+m)/2 (°C)</b>	7,74	8,2	10,29	13,08	16,27	21,19	25,00	25,39	21,85	17,63	12,07	8,85

M : moyenne des températures maximales en (°C).

m : moyenne des températures minimales en (°C).

M+m/2 : moyenne des températures mensuelles en (°C).

$M (°C) = T \text{ de Tizi Ouzou} - (712 \cdot 0,7) / 100.$

$m (°C) = T \text{ de Tizi Ozou} - (712 \cdot 0,4) / 100.$

## Matériel et méthodes.

Le tableau ci-dessus montre, que pour la région de Bouzeguène, le mois d’Août est le plus chaud avec une moyenne de 25.39°C et le mois de Janvier est le plus froid avec une moyenne de 7,74°C.

### 1-3-1-4-2- Pluviométrie

La pluviométrie constitue un facteur écologique d’importance fondamentale. C’est la hauteur annuelle des précipitations en un lieu, exprimée en centimètres ou en millimètres. Selon Emberger (1952), dans les pays méditerranéens, la presque totalité des pluies tombent pendant la période de végétation de l’automne au printemps, l’été est sec. Selon Seltzer (1946), les pluies en Algérie sont d’origine orographique et torrentielle, elles augmentent avec l’altitude.

Les précipitations constituent un facteur écologique fondamental dans l’alternance de la saison des pluies et de la saison sèche qui joue un rôle régulateur des activités écologiques (Seltzer, 1946). Afin de déterminer la pluviométrie d’une station située à haute altitude par rapport à celle d’une station sise à faible altitude, des corrections sont effectuées.

Selon Seltzer (1946), les précipitations augmentent de 40mm chaque 100m en altitude. Le tableau suivant représente les précipitations de Bouzeguène de 2012-2021.

**Tableau 2** : Précipitations moyennes mensuelles de région de Bouzeguène durant la période (2012-2021) après extrapolation.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>P (mm)</b>	143,2	110,4	128	79,07	27,72	19,31	2,12	5,71	42,88	80,22	198,6	130

$P$  annuelle de Bouzeguène (mm) =  $P$  annuelle de Tizi Ouzou +  $(712 * 40 / 100)$ .

$P$  mensuelle de Bouzeguène (mm) =  $(P$  annuelle de Bouzeguène /  $P$  annuelle de Tizi Ouzou) \*  $P$  mensuelle de Tizi Ouzou.

Le tableau ci-dessus montre que, pour la région Bouzeguène, le mois le plus pluvieux est celui de Novembre avec 198,6 mm, alors que les mois de Juillet et Août sont les moins pluvieux avec respectivement 2,12 mm et 5,71mm.

### 1-3-2- Facteurs biotiques

Ces facteurs représentent l'ensemble des êtres vivants, aussi bien végétaux qu'animaux, pouvant, par leur prestance ou leur action, modifier ou entretenir les conditions du milieu (Faurie *et al.*, 2003).

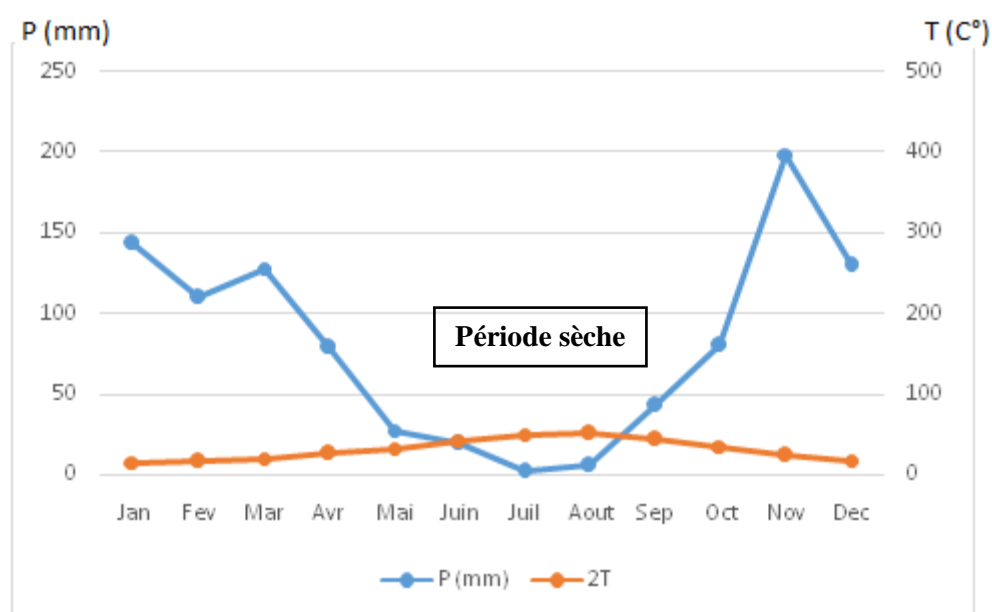
## 2-Synthèse bioclimatique et étage bioclimatique

### 2-1-Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Le diagramme ombro-thermique a été conçu principalement pour les milieux méditerranéens et représente les variations mensuelles sur une année des températures et des précipitations selon des graduations standardisées.

La représentation de ce diagramme consiste à porter sur le même graphique les variations des températures moyennes et les précipitations. Elles sont portées sur deux axes parallèles en fonction du temps, dont une graduation de l'échelle des précipitation correspond à deux graduations de l'échelle des températures ( $P=2T$ ).

D'après ce diagramme (figure 3), la période sèche s'étale, pour la région de Bouzeguène, sur trois mois, de début du mois juin à la fin du mois d'Aout. La période humide s'étale de fin Aout jusqu'au mois de Mai.



**Figure3** : Diagramme ombrothermique de Bouzeguène (2012-2021).

## 2-2 Détermination du bioclimat des régions d'étude

Le climagramme d'Emberger permet le classement de différents types de climats. Il permet de définir un quotient pluviométrique qui permet de distinguer entre les différentes nuances du climat méditerranéen (Dajoz, 2000). Il est réalisé dans le but de définir l'étage bioclimatique auquel appartient une région donnée (Tableau 3). Le quotient est calculé par la formule de Stewart (1969) comme suit :

$$Q_2 = 3.43 (P / (M - m))$$

Q<sub>2</sub> : est le quotient pluviométrique d'Emberger.

P : est la moyenne des précipitations des années prises en considération exprimées en mm.

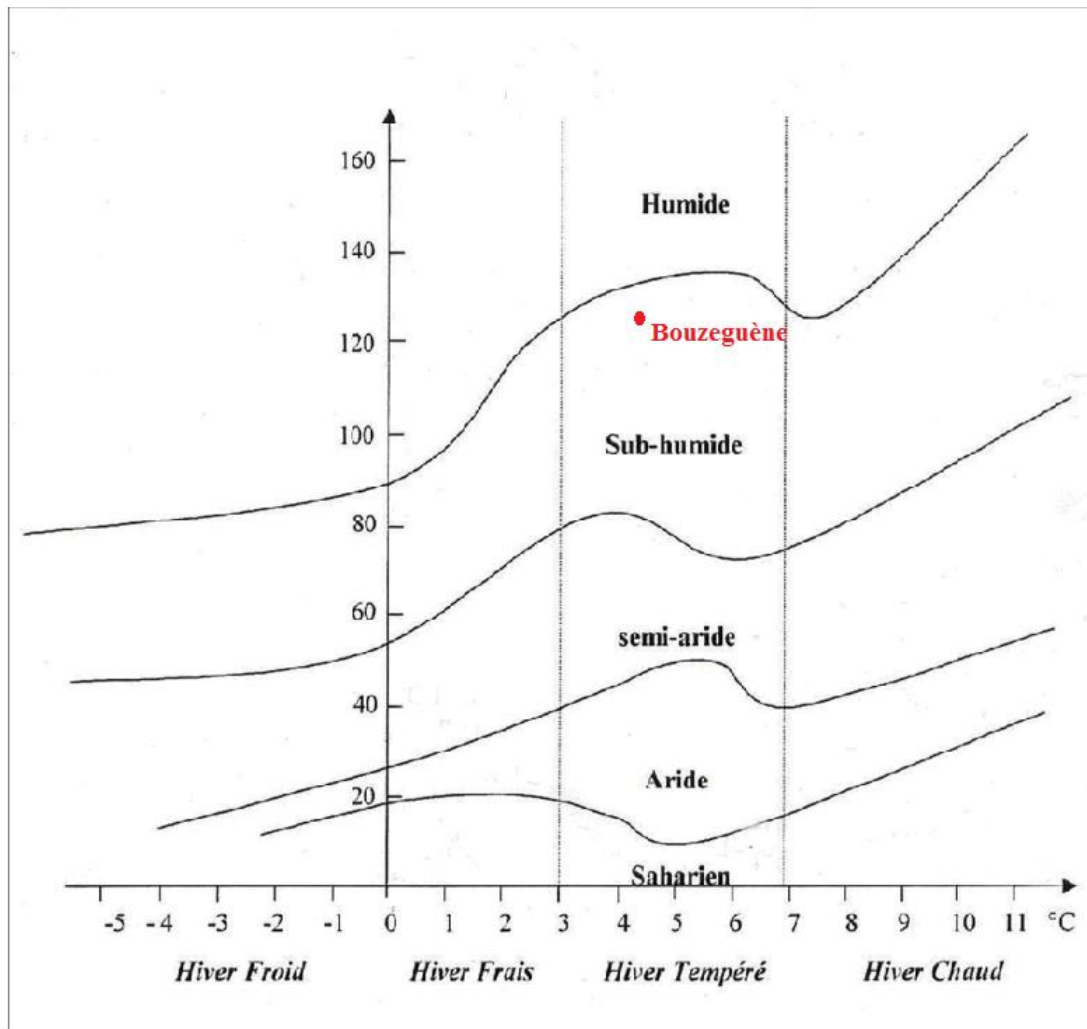
M : est la moyenne des températures maxima du mois le plus chaud exprimée en degrés Celsius.

m : est la moyenne des températures minima du mois le plus froid exprimée en degrés Celsius.

**Tableau 3:** Q<sub>2</sub> d'Emberger calculé pour la région d'étude Bouzeguène.

P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q <sub>2</sub>
967,23	31,34	4,46	123,42

La région de Bouzeguène se situe dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver tempéré sur le climagramme d'Emberger (Figure 4).



**Figure 4:** Position de la région d'étude sur le climagramme d'Emberger.

### 3- Matériel

**3-1-Sol :** L'étude expérimentale a été réalisée sur des échantillons de sol provenant de la station-service de Bouzeguène. C'est un sol contaminé accidentellement par le rejet des hydrocarbures utilisés cette station (essence et gasoil). Parmi les principales causes de cette pollution du sol:

- La corrosion des cuves de stockage
- Les accidents de dépotage
- Ilots de pompes
- Séparation d'hydrocarbures
- Points de remplissage
- Canalisation entre les citernes et les ilots de pompes.

### 3-2-Méthode d'échantillonnage

L'échantillonnage a été effectué en une seule journée au mois de janvier, ce qui garantit l'homogénéité environnementale de prélèvement qui peut avoir un effet sur les résultats d'analyse tels que la température, le rayonnement, le vent et l'humidité.

La méthode choisie est l'échantillonnage systématique.

Nous avons entamé notre travail expérimental par le choix de 3 points d'échantillonnage qui diffèrent par le degré de pollution. Les échantillons ont été extraits à une profondeur de 15 cm de la surface car les hydrocarbures et les métaux lourds se trouvent au niveau de la surface du sol de 0 à 20 cm de profondeur.

Le premier point correspond à un sol pollué (sol 1) qui se trouve à côté des fuites, Le deuxième point est un sol peu pollué (sol 2) à 10 m de la source de pollution. Le troisième point loin du milieu de pollution (sol 3).

Les échantillons de sol ont été acheminés au laboratoire dans le but de les préparer pour nos analyses.

### 3-3-Préparation du sol

Les échantillons récoltés sur le terrain sont mis à sécher à température ambiante pendant 7 jours. Ils sont, ensuite, effrités manuellement et tamisés à l'aide d'un tamis à mailles de 5 mm, ensuite à l'aide d'un tamis à mailles de 2 mm Ils sont, par la suite, étiquetés et stockés dans un endroit sec. La terre fine obtenue de chaque échantillon constitue la partie du sol sur laquelle est basée la série d'analyses physico chimiques (Figure 5).



Figure 5 : Préparation du sol

## 4- Analyses effectuées

### 4-1-Granulométrie

La texture d'un sol se définit par ses proportions relatives en particules de dimensions variables et c'est de la texture que va dépendre notamment la quantité et la vitesse de circulation de l'eau et de l'air dans le sol.

Le principe de la méthode est de dissocier au maximum les constituants de la fraction solide de l'échantillon du sol. Dans un premier temps, l'action conjointe de l'eau et l'agitation va séparer les constituants, dans un second temps, au repos, la sédimentation va les regrouper selon leur masse.

Prélever 20g du sol dans une éprouvette en verre de 100 ml, puis ajouter 100 ml d'eau distillée, fermer l'éprouvette et agiter pendant quelques minutes et laisser sédimenter quelques heures. Enfin, noter les taux des limons, des argiles et de sables et appliquer la règle de trois pour calculer les pourcentages de chacune des classes granulométriques (Figure 6).



**Figure 6** : Etapes suivies pour la détermination de la granulométrie des trois sols de Bouzeguène.

## 4-2-Humidité hygroscopique

Lors de la préparation du sol pour diverses analyses, il est séché à l'air pendant quelques jours. Cependant, il contient encore une certaine quantité d'eau car il peut absorber la vapeur d'eau de l'air et la retenir à la surface de ses particules.

Pour mesurer cette humidité, peser 5 g du sol en capsules, ces capsules sont mises à l'étuve à 105°C pendant 24 heures (temps ou bout duquel le sol perd son humidité hygroscopique). Ressortir les capsules et les placer dans un dessiccateur avant de les repeser (Figure 7).

$$H = a \times 100 / b.$$

**a** : Masse d'eau évaporée en (g). **b** : Masse du sol sec (à l'étuve).

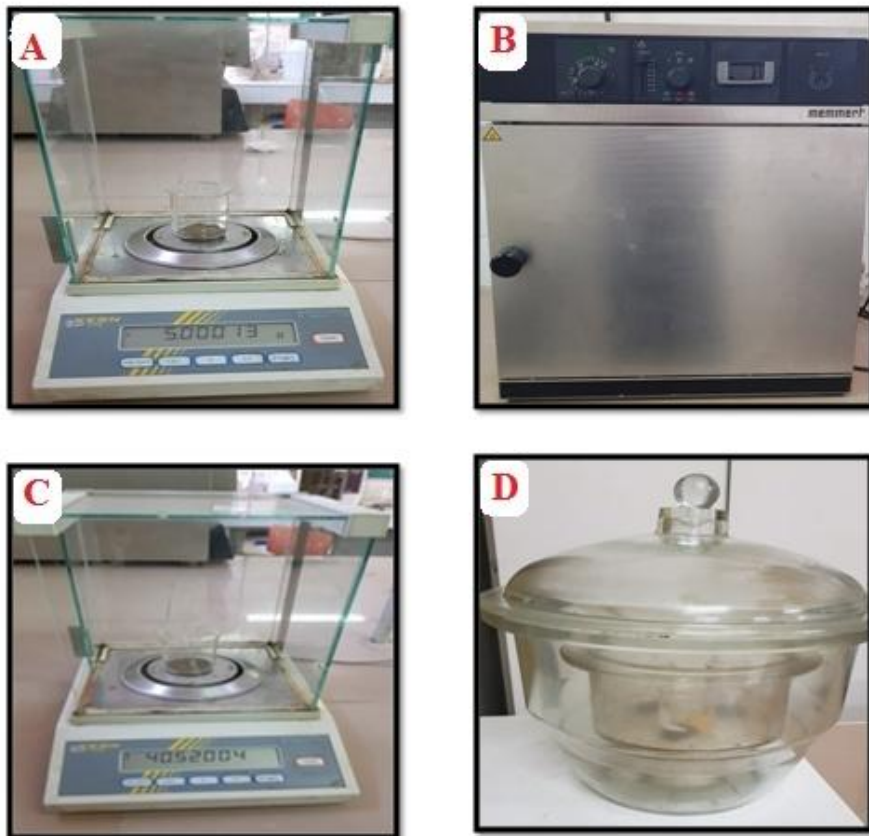


Figure 7 : Etapes suivies pour la détermination d'humidité des trois sols de Bouzeguène.

### 4-3-pH

La détermination de pH du sol se fait sur une suspension aqueuse, où le rapport sol/eau est de 1/2,5 (m/v).

Peser d'abord 20 g de sol sec dans un bécher de 100 ml, ajouter 50 ml d'eau distillée puis remuer la suspension quelques minutes (2 à 3) avec un agitateur mécanique, et la laisser reposer pendant 15 minutes puis agiter à nouveau.

Ensuite, plonger l'électrode du pH-mètre dans le liquide pour prendre la valeur du pH, après la stabilisation de l'aiguille de l'appareil. Enfin rincer l'électrode à l'eau distillée et l'essuyer (Figure 8).



A : Agitation de la solution

B : Mesure de la valeur de pH.

**Figure 8 :** Etapes suivies pour la détermination du pH.

### 4-4- Conductivité électrique

La conductivité électrique de la solution du sol est un indicateur de la teneur en sel soluble dans ce sol. Elle dépend de sa concentration en électrolyte.

Pour estimer la CE, peser 20 g de sol sec dans un bécher de 250 ml, ajouter 100 ml d'eau distillée au rapport 2/5 (m/v), puis agiter pendant 2 minutes avec un agitateur magnétique et laissez le mélange au repos pour une durée de 30 minutes.

Puis filtrer et refiltrer pour obtenir un filtrant clair, ajouter 2 gouttes d'hexamétaphosphate de Sodium ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> à 0,1 % pour éviter la précipitation de  $\text{CaCO}_3$ .

Introduire l'électrode du conductimètre dans le liquide, lire la conductivité après la stabilisation de l'aiguille (Figure 9).



**Figure 9 :** Etapes suivies pour la détermination de la conductivité électrique.

### 4-5-Calcaire total

Il existe deux méthodes de dosage de calcaire total :

- ❖ La méthode gazométrique dans laquelle on mesure du  $\text{CO}_2$  dégagé.
- ❖ La méthode volumétrique par dosage du défaut d'acidité.

Dans notre étude, la méthode utilisée c'est la méthode volumétrique.

Peser 1 g de terre fine dans un bécher de 250 ml, ajouter 20 ml d'acide chlorhydrique (HCl) à N, et 100 ml d'eau distillée.

Porter le bécher sur bain de sable à  $60^\circ\text{C}$  pendant 45 minutes (agiter de temps à autre), et laisser bouillir pendant quelques minutes.

Décantier sur un papier filtre dans une fiole de 250 ml après refroidissement. Prélever 100 ml du filtrat dans un bécher de 400 ml et ajouter quelques gouttes de phénolphtaléine  $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$  à 2 % et titrer le reste d'acide chlorhydrique par de la soude à N, jusqu'au virage vers le rouge violacé (Figure 10).



**Figure 10** : Etapes suivies pour la détermination du calcaire total.

A : Ebullition sur bain de sable, B : Filtration, C : Titration.

#### 4-6- Carbone organique

C'est une mesure de la qualité des résidus en décomposition, exprimée en pourcentage (%). Le taux de carbone organique est déterminé par la méthode ANNE. Une quantité de 2g de terre fine, suivant sa teneur présumée en matière organique, est pesée et introduite dans un bécher de 250ml avec 10ml de la solution aqueuse de bichromate de potassium à 8% et 15ml d'acide sulfurique concentré. Le bécher est porté à ébullition douce sur une plaque chauffante pendant 5 minutes. A partir de la première goutte condensée, le bécher est retiré et laissé refroidir.

Le contenu est, ensuite, transvasé dans une fiole de 200ml en ajustant avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. A l'aide d'une pipette, 25 ml sont prélevés auxquels sont ajoutés 100ml d'eau distillée. 1,5g de fluorure de sodium et 4 à 5 gouttes de diphénylamine sont ajoutés au mélange. L'excès de bichromate, non réduit par le carbone organique, est titré par une solution de sel de Mohr dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert (Figure11). Le taux de carbone est calculé selon la formule suivante :

$$C \% = (Vt - Ve) * 0.615 * 10 * 100/P$$

Vt : volume titré de la solution de sel de mohr de l'échantillon témoin

Ve : volume titré de la solution de sel de mohr de l'échantillon

P : Poids du sol en mg.



**Figure 11** : Etapes suivies pour la détermination du carbone organique.

#### **4-7-Matière organique**

La teneur du sol en matière organique est estimée en fonction du taux de carbone. Dans le cas général, le taux de la matière organique est approximativement obtenu par la formule suivante :

$$\% \text{ de la matière organique} = 100/58 * \%C = 1,72 * C\%$$

#### **4-8- Dosage des anions (les sels solubles)**

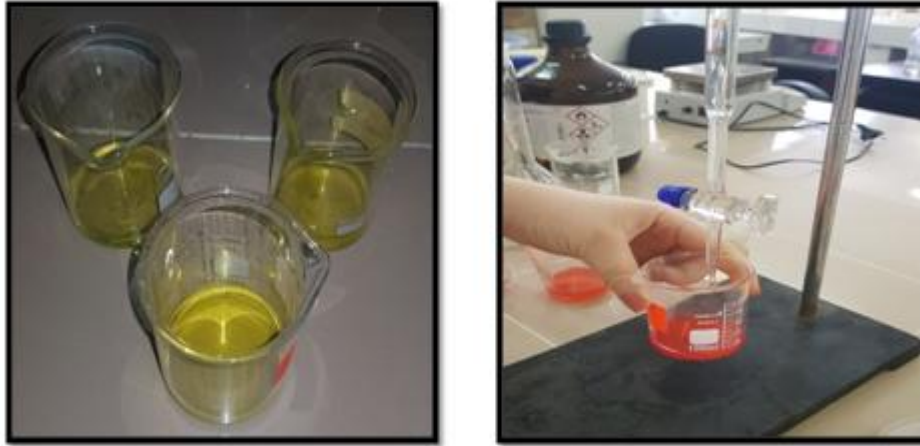
Le dosage est basé sur la neutralisation d'un volume de solution par l'acide minéral atténué en présence d'indicateurs colorés.

##### **❖ Carbonates**

Prélever 10 ml de l'extrait du sol, ajouter quelques gouttes de phénolphtaléine à 2%. Si une coloration rouge se développe, titrer doucement avec l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) à 0,1N, jusqu'à décoloration total. S'il n'y a pas de coloration après addition de phénolphtaléine, il n'y a pas de carbonates dans l'échantillon.

##### **❖ Bicarbonates**

Après le dosage des carbonates, on ajoute dans la même prise quelques gouttes de méthyle orange ( $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ ) et titrer par l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) jusqu'au virage du jaune au rouge (Figure 12).



**Figure 12** : Etapes suivies pour la détermination des bicarbonates.

### ❖ Chlorures

Les chlorures sont déterminés par argentimétrie suivant la méthode de Mohr : on précipite les chlorures par du nitrate d'argent, en présence du chromate de potassium.

Ajouter dans une prise d'essai 1 à 8 gouttes de chromates de potassium ( $K_2CrO_4$ ).

Titrer par les nitrates d'argent ( $AgNO_3$ ) en solution à 0,02N. Ce dernier prend une coloration rouge (Figure 13).



**Figure 13** : Etapes suivies pour la détermination des chlorures.

## 5-Analyses statistiques

Les résultats concernant les paramètres physico-chimiques du sol étudié ont été soumis à une analyse de la variance à un seul facteur lorsque la normalité est vérifiée, suivie par le test de Newman et Keuls qui permet de classer les sols en groupes homogènes lorsque

## Matériel et méthodes.

les différences sont significatives. Lorsque la normalité n'est pas vérifiée, on applique le test de Kruskal-Wallis.

La normalité des données a été vérifiée par le test de Shapiro-will ( $N < 50$ ). Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R. Une ACP a été aussi réalisée pour étudier la relation entre le gradient de pollution et les paramètres physiques et chimiques du sol.

# *Résultats et discussion*

## Résultats et discussion.

Dans le but de caractériser l'effet de la pollution du sol par les hydrocarbures sur certaines propriétés du sol, nous avons effectué des analyses physico-chimiques sur des prélèvements du sol d'une station-service au niveau de la commune de Bouzeguène.

### I-Résultats des analyses physiques et chimiques de sols

#### I-1-Paramètres physiques

##### I-1-1- Granulométrie

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent que pour le sol non pollué, les moyennes en argile (%A), limon (%L) et sable (%S) sont respectivement de 34%, 37 % et 48% En revanche pour le sol peu pollué, ils sont de 18%, 38%, 44%, et pour le sol pollué ces taux sont de 15%, 35%, 31%.

La projection de ces résultats sur le triangle textural de l'U.S.D.A 1986, qui consiste à reporter la valeur de chacun des trois pourcentages sur l'axe qui lui correspond et tracer une parallèle à l'axe précédent, la zone d'intersection des trois tracés indique la nature de l'échantillon testé. Cette méthode montre que la texture du sol pollué et du sol peu pollué est limoneuse, par contre celle du sol non pollué est limono-argileux donc les hydrocarbures ont un effet sur la texture du sol (Figure 14).

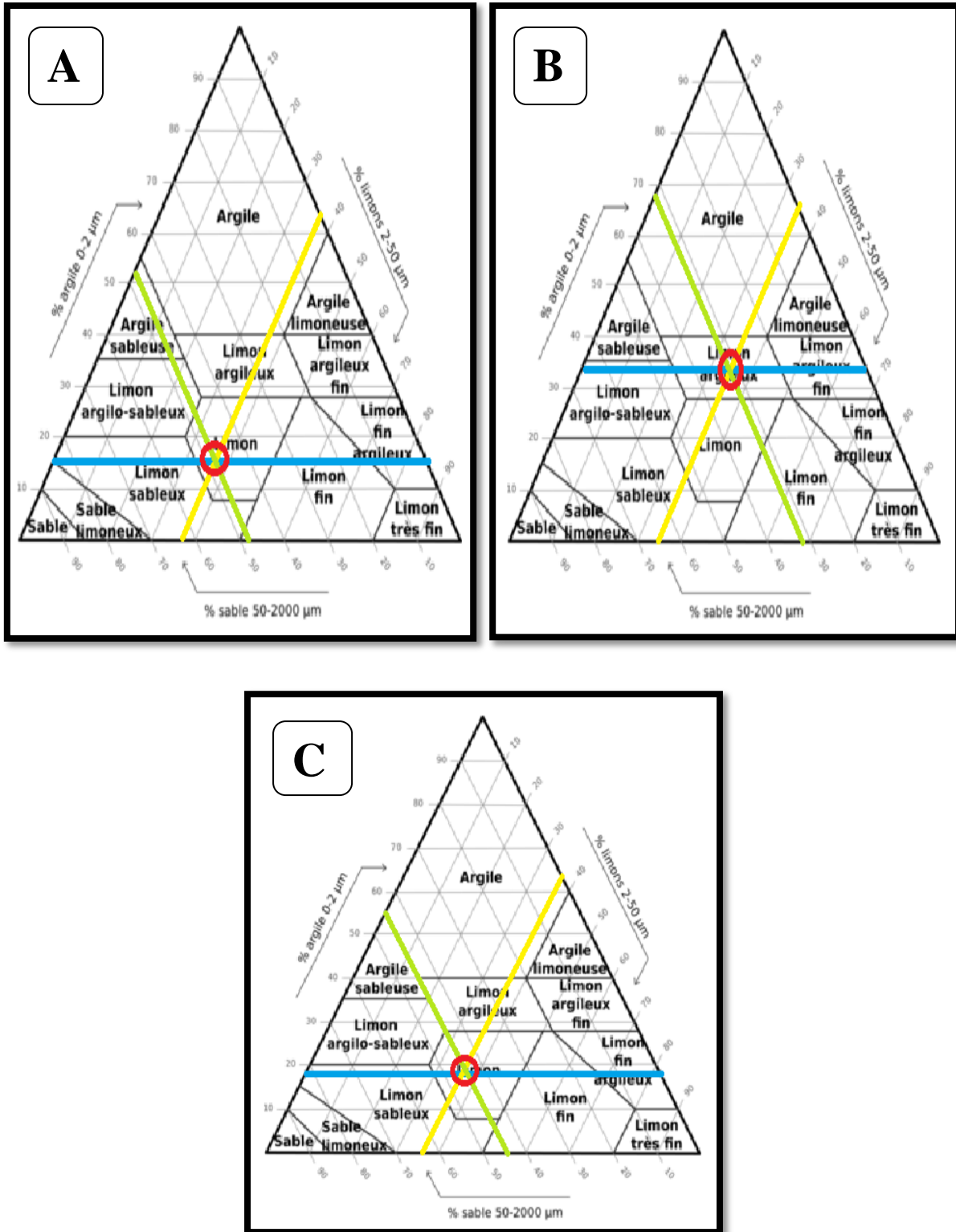


Figure 14 : Résultats de la projection des composants des trois sols étudiés.

A : Résultat du sol pollué ; B : Résultat du sol non pollué ; C : Résultat du sol peu pollué.

## Résultats et discussion.

Statistiquement, les résultats de la détermination du taux des argiles dans les sols obtenus ont révélé une différence significative entre les trois sols étudiés ce qui montre que les hydrocarbures influencent sur le taux des argiles (Tableau 4).

**Tableau 4:** Résultats d'anova pour la variable argile.

Source de variation	Ddl	SCE	CM	Fobs	Pvalue
Sol	2	657,06	328,53	8,6836	0,01693*
Résiduelle	6	227,00	37,83		

Le test de Newman et Keuls a classé le sol pollué et le sol peu pollué dans le groupe A, le sol non pollué dans le groupe B (Tableau 5).

**Tableau 5 :** Résultats du test de Newman et Kuels pour la variable argile.

Groupe	Sol	Moyenne
A	Peu pollué	44,66667
A	Pollué	48,33333
B	Non pollué	31,6667

Statistiquement, les résultats de la détermination des limons dans les sols montre que y a pas une différence significative entre les trois sols étudiés donc les hydrocarbures n'influencent pas sur le taux des limons (Tableau 6).

**Tableau 6 :** Résultats d'anova pour la variable limon.

Source de variation	Ddl	SCE	CM	Fobs	Pvalue
Sol	2	10,722	5,3611	0,3328	0,7294
Résiduelle	6	96,667	16,1111		

## Résultats et discussion.

Statistiquement, les résultats de la détermination du taux des sables dans les sols obtenus ont révélé une différence significative entre les trois sols étudiés ce qui montre que les hydrocarbures influencent sur le taux des sables (Tableau 7).

**Tableau 7:** Résultats d'anova pour la variable sable.

Source de variation	Ddl	SCE	CM	Fobs	Pvalue
Sol	2	460,22	230,11	11,09	0,009653*
Résiduelle	6	124,50	20,75		

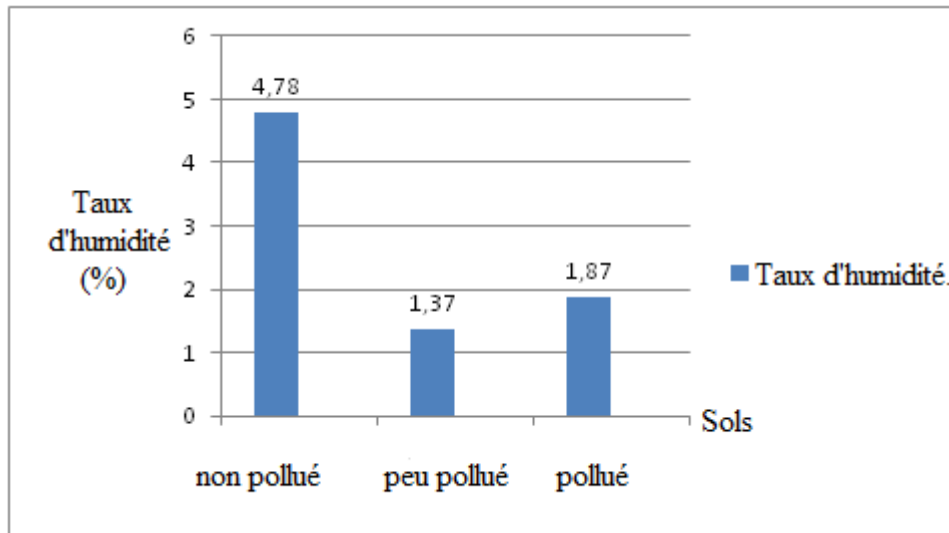
Le test de Newman et Keuls a classé le sol pollué et le sol peu pollué dans le groupe B, le sol non pollué dans le groupe A (Tableau 8).

**Tableau 8:** Résultats du test de Newman et Kuels pour la variable sable.

Groupe	Sol	Moyenne
B	Peu pollué	17,83333
B	Pollué	14,66667
A	Non pollué	34,16667

### I.1.2. L'humidité

D'après les résultats présentés dans la figure15, nous avons remarqué que le taux d'humidité est variable. Le sol non pollué présente le taux le plus élevé avec une valeur de 4,78% par rapport au sol peu pollué et au sol pollué qui présentent respectivement des taux de 1,37 % et 1,87 %.



**Figure 15 :** Variation de taux d'humidité des trois sols de Bouzeguène.

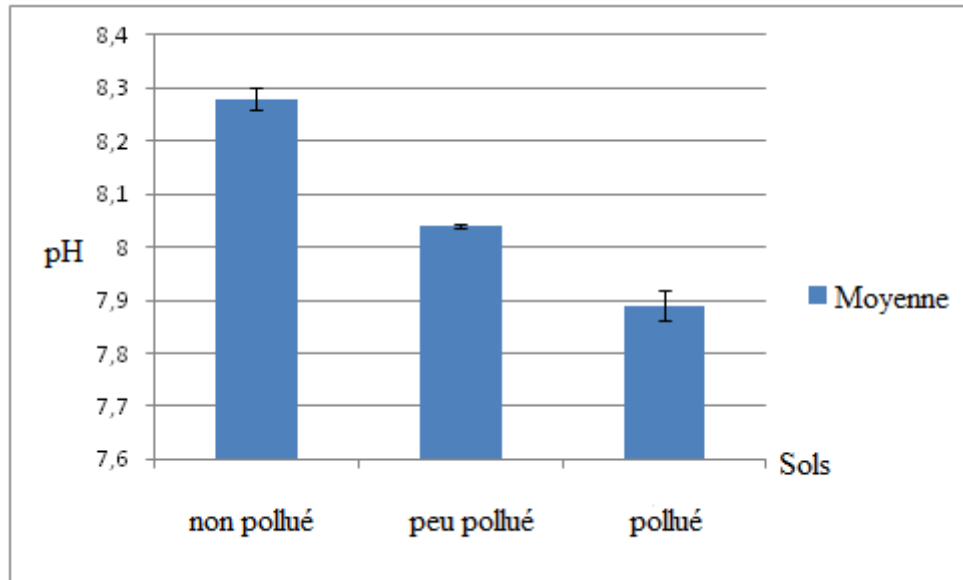
Pour le paramètre humidité en a pas effectué une analyse statistique car en a pas fait de répétitions.

## I-2-Paramètres chimiques

### I-2-1- Potentiel hydrogène (pH)

L'analyse des résultats obtenues figure 16, montre que le pH des sols diminue en suivant le gradient de la pollution. Le sol non pollué représente la valeur la plus importante avec une moyenne de 8,28, suivi par le sol peu pollué et le sol pollué avec des moyennes de 8,04 et 7,89 respectivement.

## Résultats et discussion.



**Figure 16 :** Variation du pH des trois sols de Bouzeguène.

Les résultats du test d'anova concernant le pH des sols étudiés ont montré qu'il y a une différence hautement significative entre ces trois sols; ce qui indique que les hydrocarbures ont un effet sur le pH du sol étudié (Tableau 9).

**Tableau 9:** Résultats d'anova pour la variable PH :

Source de variation	Ddl	SCE	CM	Fobs	Pvalue
Sol	2	0,23282	0.11641	73.27	0.0000609 ***
Résiduelle	6	0.00953	0.00159		

Le test de Newman et Kuels a classé les différents sols en 3 groupes homogènes dans le groupe A le sol non pollué, dans le groupe B le sol peu pollué alors que le sol pollué est classé dans le groupe C (Tableau 10).

**Tableau 10 :** Résultats du test de Newman Kuels pour la variable pH.

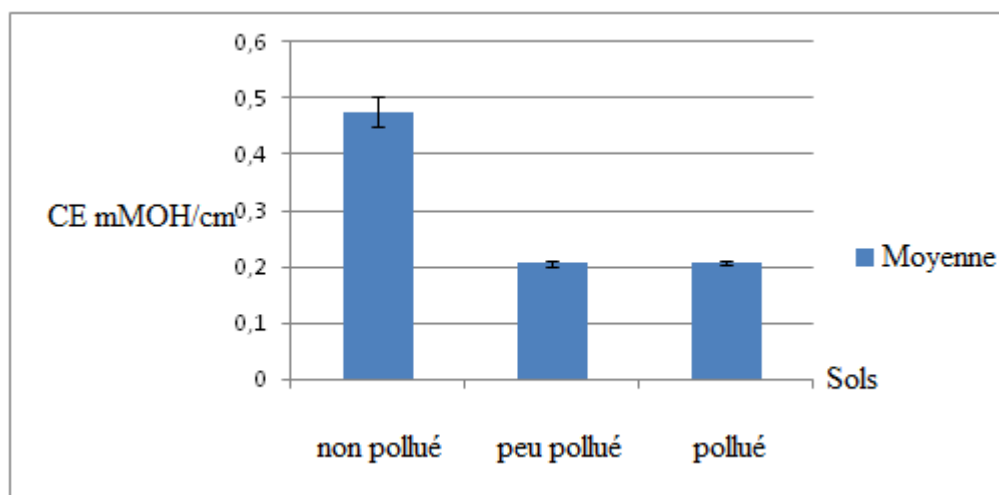
Groupe	Sol	Moyenne
A	Non pollué	8.283333

## Résultats et discussion.

B	Peu pollué	8.040000
C	Pollué	7.893333

### I-2-2- Conductivité électrique (CE)

Selon les résultats présentés dans la figure 17, nous remarquons une diminution de la conductivité électrique avec le gradient de pollution. Le sol non pollué représente la valeur la plus importante avec une moyenne de 0.417 mMohs/cm, puis elle diminue légèrement dans le sol peu pollué avec une valeur de 0.208 mMohs/cm alors que dans le sol pollué elle est très faible (0.206mMohs/cm).



**Figure 17** : Variation de la conductivité électrique pour les trois sols de Bouzeguène.

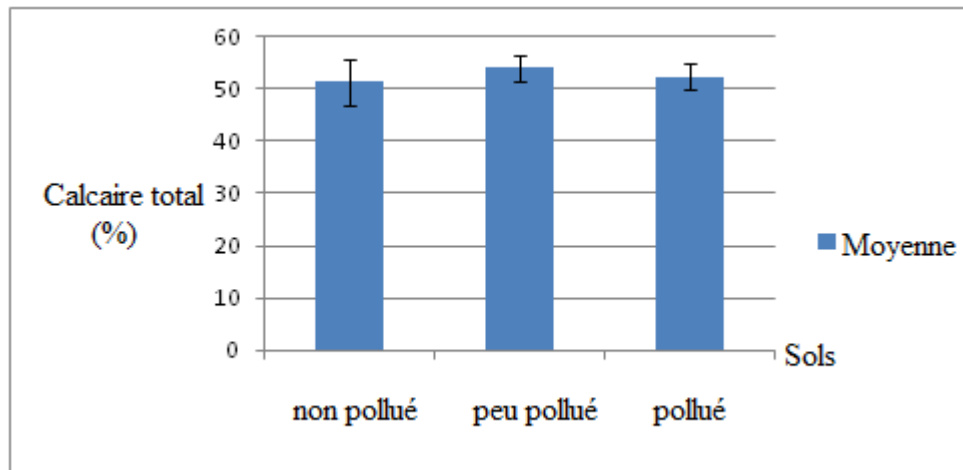
D'après le test de Kruskal-Wallis, il n'existe pas une différence significative entre les trois sols étudiés ( $P_{\text{value}}=0,06053$ ), ce qui explique que les hydrocarbures n'ont pas d'effet sur la conductivité électrique du sol.

### I-2-3- Calcaire total ( $\text{CaCO}_3$ )

Selon la figure 18, nous observons que le sol non pollué représente une moyenne de 51,33% suivi par les sols pollué et peu pollué avec des valeurs de 52,33% et 54%

## Résultats et discussion.

respectivement. Les résultats de l'analyse de la variance correspondant à la variable calcaire total des sols étudiés sont présentés dans le tableau 11.



**Figure 18 :** Variation du calcaire total des trois sols de Bouzeguène.

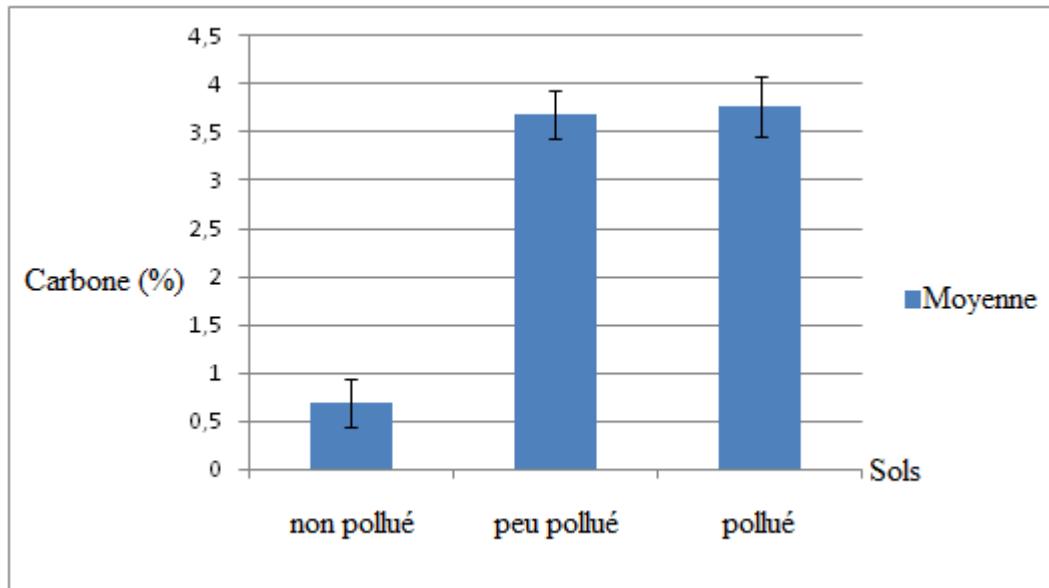
Statistiquement, les résultats de la détermination du taux de calcaire totale obtenus n'ont pas révélé une différence significative entre les trois sols étudiés ce qui montre que les hydrocarbures influencent pas sur le taux de calcaire totale.

**Tableau 11:** Résultats de test d'anova réalisés pour le calcaire total :

Source de variation	ddl	SCE	CM	F obs	P value
Sol	2	10,89	5,44	0,12	0,889
Résiduelle	6	273,33	45,56		

### I-2-4- Carbone organique

Les résultats obtenus (Figure 19), montrent que les valeurs du carbone sont plus élevées dans le sol pollué avec des taux de 3,772%. Le taux de carbone diminue dans les sols peu pollués pour atteindre une valeur moyenne de 3,69%. Pour le sol non pollué, nous enregistrons une valeur de 0,697%. Les résultats de l'analyse de la variance correspondant à la variable taux de carbone des sols étudiés sont présentés dans le tableau 13.



**Figure 19 :** Variation de carbone organique des sols de Bouzeguène.

Les résultats du tableau 12 de carbone organique obtenus ont révélés une différence très hautement significative entre les trois sols étudiés, ce qui confirme que les hydrocarbures influencent intensément sur ce paramètre.

**Tableau 12:** Résultats de test anova réalisé pour le taux de carbone :

Source de variation	Ddl	SCE	CM	Fobs	Pvalue
Sol	2	18,420	9,210	31,13	0,000679 ***
Résiduelle	6	1,775	0,296		

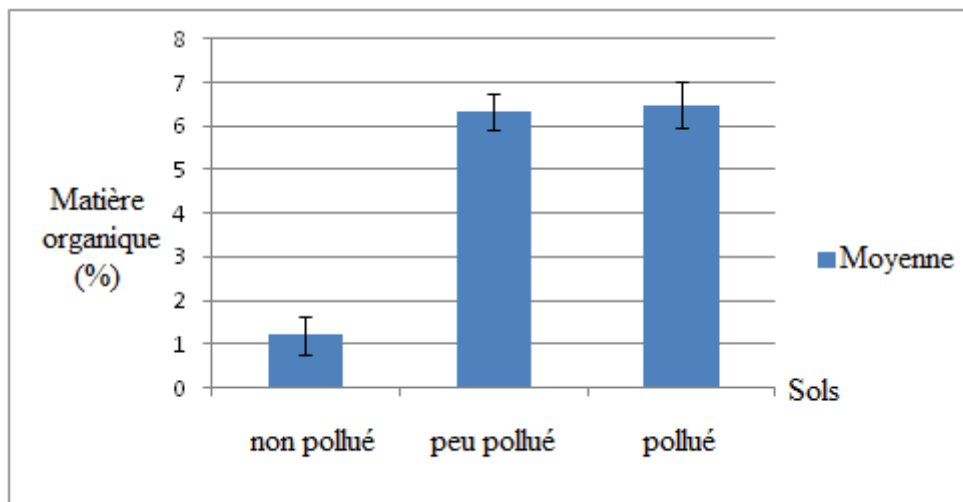
D'après le test de Newman et Keuls, le sol étudié est classé en 2 groupes homogènes, nous avons dans le groupe A le sol pollué et le sol peu pollué, le sol non pollué est classé dans le groupe B. (Tableau 13).

**Tableau 13:** Résultats du test Newman et Kuels pour la variable taux de carbone.

Groupe	Sol	Moyenne
A	Pollué	3,772
A	Peu pollué	3,690
B	Non pollué	0,697

### I-2-5- Taux de matière organique

Sur la base des données illustrées par la figure 20 , nous remarquons que les taux de matière organique augmentent en suivant le gradient de pollution. Elles présentent les mêmes fluctuations que le carbone. Les valeurs élevées sont enregistrées dans le sol très pollués de l'ordre de 6,487%, suivi par le sol peu pollué avec une moyenne de 6,346%. Enfin, nous enregistrons une moyenne de 1,198% dans le sol non pollué.



**Figure 20 :** Variation de matière organique des sols de Bouzeguène.

Statistiquement les résultats obtenus ont révélé une différence très hautement significative entre les trois sols étudiés ce qui indique que les hydrocarbures influencent intensément le taux de la matière organique dans le sol (Tableau 14).

**Tableau 14:** Résultats du test d'anova pour la variable matière organique.

Source de variation	Ddl	SCE	CM	Fobs	Pvalue
Sol	2	54,50	27,248	31,14	0,000679 ***
Résiduelle	6	5,25	0,875		

D'après le test de Newman et Keuls, le sol étudié est classé en 2 groupes homogènes, nous avons dans le groupe A le sol pollué et le sol peu pollué, le sol non pollué est classé dans le groupe B. (Tableau 15).

**Tableau 15:** Résultats du test Newman Kuels pour la variable matière organique.

Groupe	Sol	Moyenne
A	Pollué	6,487333
A	Peu pollué	6,346333
B	Non pollué	1,198333

### I-2-6- Sels solubles

#### ➤ Carbonate

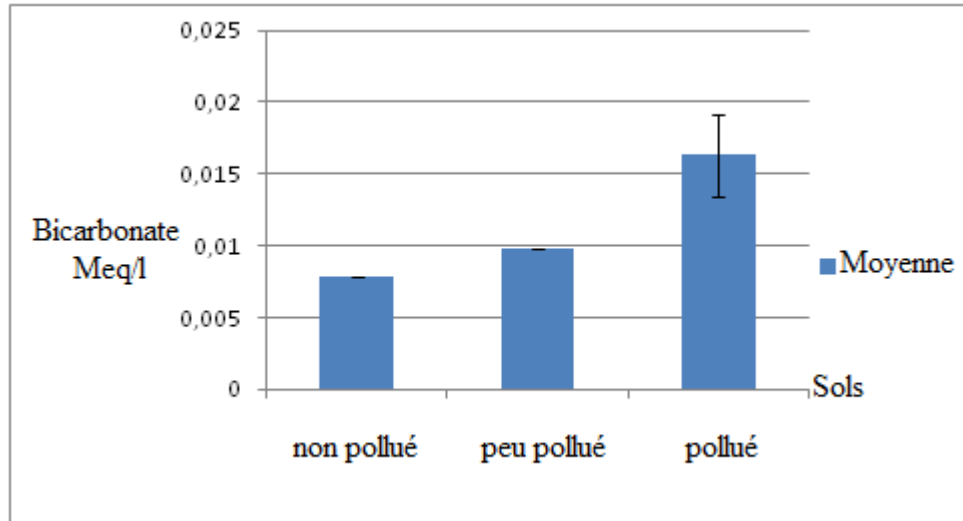
Les analyses effectuées sur les sols dans le but de terminer le taux de carbonates ont montré l'absence totale de ce type de sel dans le sol de la station-service de Bouzeguène.

#### ➤ Les bicarbonates

D'après les résultats illustrés dans la figure (21), le sol non pollué présente un taux de bicarbonate le plus faible qui est de 0,0078 Meq/l, puis une légère augmentation est observée dans le sol peu pollué avec une valeur de 0,0098 Meq/l et le taux le plus élevé est

## Résultats et discussion.

enregistré dans le sol pollué avec une valeur de 0,0163Meq/l. Nous pouvons conclure que le taux de bicarbonates augmente selon le gradient de pollution.



**Figure 21:** Variation de taux des bicarbonates des sols de Bouzeguène.

D'après les résultats du test de Kruskal-Wallis, il existe une différence significative entre les trois sols étudiés, ce qui explique que les hydrocarbures ont un effet sur les bicarbonates du sol.

**Tableau 16:** Résultats du test Newman Kuels pour la variable bicarbonate.

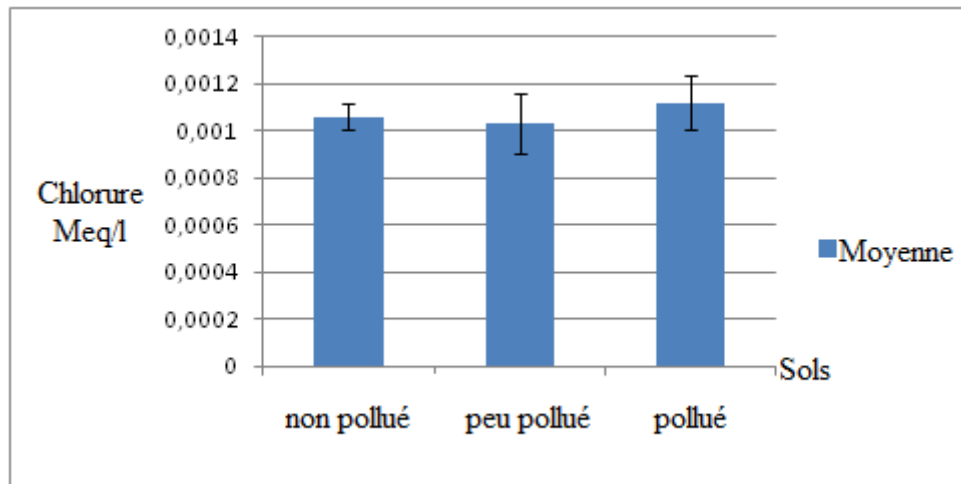
Groupe	Sol	Moyenne
A	Pollué	7,5
B	Peu pollué	5,5
C	Non pollué	2,0

Le test de Newman et Kuels a classé les différents sols en 3 groupes homogènes dans le groupe A le sol pollué, dans le groupe B le sol peu pollué alors que le sol non pollué est classé dans le groupe C

### ➤ Les chlorures

## Résultats et discussion.

D'après les résultats illustrés dans la figure 22, le sol non pollué présente le taux de chlorure le plus faible qui est de 0.00106 meq/l. Une légère augmentation est observée dans le sol peu pollué avec des valeurs de 0,00109 meq/l. Dans le sol très pollué une augmentation de la teneur en chlorure est observée avec 0,00208 meq/l (Figure 20).



**Figure 22** : Variation des chlorures des sols de Bouzeguène.

Les résultats de l'analyse de la variance correspondant à la variable les chlorures des sols étudiés sont présentés dans le tableau 17.

**Tableau 17:** Résultats du test d'anova pour la variable chlorure.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	Pvalue
Sol	2	1,5201 <sup>e-08</sup>	7,600 <sup>e-09</sup>	0,1773	0,8418
Résiduelle	6	2,5728 <sup>e-07</sup>	4,2879 <sup>e-08</sup>		

Les résultats de la détermination des chlorures dans les sols montre qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois sols étudiés donc les hydrocarbures n'influencent pas sur le taux de chlorures.

### Analyse en composantes principales

Cette analyse a pour objectif d'étudier la relation qui existe entre le gradient de la pollution et les paramètres physico-chimiques du sol de la station-service de Bouzeguène. Les résultats sont illustrés dans les figures 23 et 24.

### ❖ Projection des variables

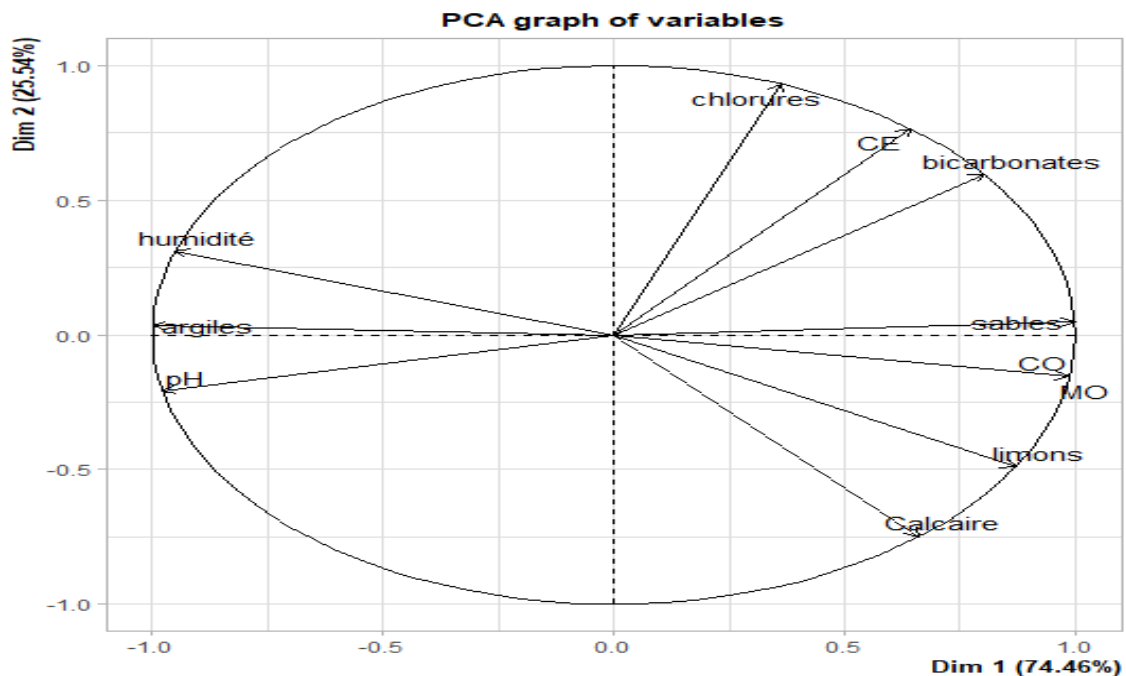
Une forte corrélation positive entre les chlorures, la conductivité électrique, les bicarbonates, les sables, le carbone organique, la matière organique, les limons et le calcaire est observée. De même une forte corrélation positive entre l'humidité, les argiles et le pH est remarquée.

L'humidité, les argiles et le pH ont une corrélation négative avec le taux de calcaire, les limons, la matière organique, le carbone organique, les sables, les bicarbonates et la conductivité électrique (Figure 23).

Par ailleurs, le sol non pollué présente les valeurs les plus élevées des paramètres : Humidité, argiles et pH.

Le sol peu pollué présente les valeurs les plus élevées des paramètres : CO, MO, calcaire, limons.

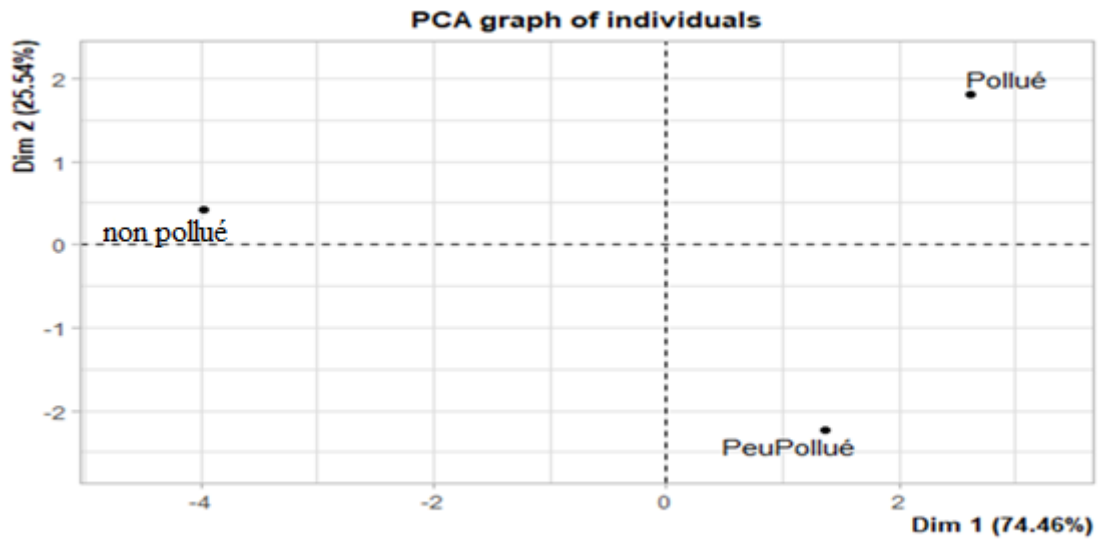
Le sol pollué représente les valeurs les plus élevées des paramètres : chlorures, CE, bicarbonates et sables (Figure 24).



**Figure 23** : ACP des variables pour les paramètres physico-chimiques-du

sol de la station-service de Bouzeguène.

## Résultats et discussion.



**Figure 24 :** ACP des individus pour les paramètres physico-chimiques du sol de la station-service de Bouzeguène.

### II- Discussion

L'analyse granulométrique effectuée a permis de constater que le sol non pollué de Bouzeguène est un sol limoneux tandis que le sol peu pollué et le sol pollué par les hydrocarbures est un sol limono-argileux, ces résultats affirment que les rejets pétrolière ont un effet sur la texture du sol. Ces résultats sont similaires avec ceux obtenues par Aumar et Sediri, 2018, et diffèrent de ceux de Dazy et al. (2009), qui ont conclu que les hydrocarbures n'ont pas d'impact sur la granulométrie du sol, cela peut-être dû au manque du matériels utilisés durant notre expérience.

Les sols échantillonnés dans la station de Bouzeguène sont classés en sols légèrement alcalins pour le sol pollué et peu pollué et moyennement alcalin pour le sol non pollué. D'après le classement des sols par le laboratoire agronomique de Normandie (Annexe1) et selon les normes de Baize (1989), cela serait dû à la pollution des sols par les hydrocarbures, qui engendrent une diminution minime du pH. Nos résultats sont similaires à ceux de Chaineau et al. (1996), Lamiri et Nezlioui (2017), Aumer et sediri (2018) et Chikaoui et Hettak (2019).

Nous distinguons une légère acidification dans le sol pollué qui est marquée par les taux de pH les plus faibles. Nos résultats corroborent avec ceux de Rhal et al ; (2010) qui ont rapporté que le pH des sols dans tous les sites étudiés est neutre avec des valeurs plus faible dans les sols pollués.

D'après Omafra (2011) in Lambot (2011), le niveau de pH peut baisser pour diverses raisons :

- Les plantes font disparaître les éléments nutritifs ;
- Le lessivage ou le déplacement de l'eau dans le sol fait disparaître les éléments nutritifs ;
- La décomposition de la matière organique.

Le taux d'humidité de nos sols diminue selon le gradient de pollution avec des valeurs différentes, ces résultats sont équivalent à ceux de Lamiri et Nezlioui (2017) et Chikhaoui et Hettak (2019), alors qu'ils diffèrent de résultats de Bergue (1996) qui a noté que le taux d'humidité augmente de 2% dans les sols pollués. Cependant, ce dernier note que les résultats de Degranges *et al.* (1977) diffèrent des siens car ils ont observé une augmentation du taux d'humidité dans le sol témoin..

## Résultats et discussion.

La salinité globale du sol peut être exprimée par la conductivité électrique (CE). D'après les résultats que nous avons obtenus, et selon les normes de Baize (2000) (Annex I), les échantillons de sol de la station-service de Bouzeguène ne sont pas salés, par conséquent la conductivité électrique n'a pas été influencée par les rejets de cette station-service. Alors que les résultats de Lamiri et Nezlioui (2017) ont montré que la conductivité électrique diminue selon le gradient de pollution dans la station-service de Fréha.

La valeur élevée de la conductivité électrique, enregistrée dans le sol non pollué révèle une forte force ionique. Cette valeur élevée indique une présence de sels solubles et un caractère minéral dans le sol.

Selon Pathak *et al.* (2011) ainsi que Onojake et Osuji (2012), la qualité physique et chimique du sol, comme l'état d'humidité, le pH, la CE et la capacité de rétention d'eau sont considérablement réduites par la contamination avec les hydrocarbures pétroliers.

Concernant le taux de calcaire, nous avons classé le sol de la station de Bouzeguène en sol très fortement calcaire selon les normes de Baize (1989) (Annex I). Cependant les résultats obtenus ont montré que la contamination par les hydrocarbures n'a pas d'effet sur le taux du calcaire dans le sol. Par contre les résultats de Khimeche et Oudai (2019) indiquent une diminution de taux de calcaire en allant de sol non pollué au sol pollué.

Les résultats des analyses du calcaire total n'ont révélé aucune tendance particulière entre les sols étudiés. A l'opposé des résultats obtenus par Nemer (2015), nos résultats montrent que le taux de calcaire n'est pas modifié par les rejets des stations-service.

Les résultats que nous avons obtenus affirment que le taux de carbone est plus élevé dans le sol pollué par rapport au sol non pollué, en raison de l'apport des hydrocarbures dans le sol par les rejets de la station-service. Godwin *et al.* (2013) attestent que le taux de carbone a augmenté dans le sol pollué comparé au sol témoin.

Par contre les résultats de Dendani et saad (2017), Aumar et Sediri (2018), et celui de Chikaoui et Hettak (2019), indiquent une diminution du taux de carbone organique dans les sols proches de la source de pollution.

Selon Jobson *et al.* (1974), l'augmentation du carbone organique dans les sols pollués aux hydrocarbures s'explique, éventuellement, par la richesse du polluant en carbone.

## Résultats et discussion.

Selon Devatha (2019), l'augmentation du carbone organique dans le sol en raison de la pollution, engendre une forte activité biologique puis une diminution des concentrations d'azote.

Les résultats obtenus dans notre étude concordent avec ceux de NEMER (2015), qui a constaté une teneur en matière organique très importante à la source de la pollution, à l'opposé des résultats obtenus par Aumar et Sediri (2018), qui ont montré une diminution selon le gradient de pollution.

Degranges (1977) a indiqué, dans son étude sur l'impact des hydrocarbures sur la composition chimique du sol, que la teneur en matière organique changeait dans le sol contaminé par les hydrocarbures, et que l'augmentation de la matière organique pouvait être due à l'apport des hydrocarbures dans le sol, car ces derniers sont composés majoritairement de carbone, ou à la toxicité des hydrocarbures sur les microorganismes dans le sol.

D'après Kaboré-Ouédreaogo et al (2010), la teneur en matière organique totale dans le sol est directement proportionnelle à l'augmentation des teneurs en hydrocarbures.

Bergue (1986) a noté que la matière organique fraîche se trouvait synthétisée à partir du carbone et de l'azote dans les sols contaminés par des hydrocarbures. Il a aussi enregistré des pertes de matière organique sous forme de gaz carbonique.

Le taux de carbone et de matière organique sont élevés au niveau des sols pollués. Ceci rejoint les résultats de Dib et Sadoudi Ali ahmed (2020), qui indiquent une augmentation de ces derniers selon le gradient de pollution.

Enfin, le dosage des anions a révélé une augmentation du taux de chlorures et de bicarbonates en se rapprochant de la source de pollution. Il a été signalé l'absence totale de carbonates dans les sols. Ces résultats sont similaires avec ceux obtenus par Lamiri et Nezlioui (2017) et Khimeche et Oudai (2019).

# *Conclusion*

## Conclusion

Notre travail a eu pour but d'estimer l'impact des apports des différents rejets de la station-service de Bouzeguène sur quelques paramètres physico-chimiques des sols.

Nos expériences ont ainsi permis de mettre en évidence les effets des hydrocarbures issus de cette station-service sur quelques paramètres du sol qui se traduisent par une modification remarquable des propriétés physico-chimiques du sol.

L'analyse pédologique a révélé une augmentation de certains paramètres tels que le carbone organique, la matière organique et les sels solubles (bicarbonate et chlorure), et une diminution d'autres paramètres tels que le potentiel d'hydrogène, l'humidité et la conductivité électrique suivant le gradient de pollution.

D'après notre étude nous pouvons conclure que les stations-service représentent une importante source de pollution ponctuelle des sols et les résultats ont clairement montré que leur effet est néfaste sur les propriétés pédologiques. Plusieurs études récentes soulignent clairement que la pollution par les hydrocarbures a un impact considérable sur les sols et les matrices environnementales associées. Il est donc urgent d'éliminer efficacement les hydrocarbures pétroliers de l'environnement par :

- Identification de l'origine de ces rejets et élimination des sources de pollution.
- Réalisation des essais sur terrain (in situ) avec des moyens de dépollution des sols contaminés par les hydrocarbures tels que: la bioremédiation, la phytoremédiation, la bioindication, etc.
- Optimisation des facteurs influençant la biodégradation des hydrocarbures.
- Installation des réseaux d'assainissement pour l'évacuation des rejets des stations-service.

Cette étude peut être utilisée comme référence pour des études ultérieures sur les effets des rejets des hydrocarbures des stations-services sur les propriétés du sol, tout en se basant sur d'autres propriétés physico-chimiques et même sur des propriétés biologiques, et faire une étude comparative avec des sols d'autre stations-services avoisinantes afin d'évaluer le degré d'impact des hydrocarbures au niveau de cette station étudiée.

*Références*  
*Bibliographiques*

## Référence bibliographique

### A

- Abdel-Shafy, H. I. and Mansour, M. S. M., 2016.** A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. Egypt. J. Pet. 25, 107–123p.
- Ahmed, F. and Fakhruddin, A. N. M., 2018.** A review on environmental contamination of petroleum hydrocarbons and its biodegradation. Int. J. Environ. Sci. Nat. Resour. 11, 1e7.
- Albanese, S. and Breward, N., 2011.** Sources of anthropogenic contaminants in the urban environment. in: Christopher, C.J., AlecosDemetriades, Juan Locutura, Ottesen, R.T. (Eds.). Mapping the Chemical Environment of Urban Areas. Wiley-Blackwell, Oxford, 116-127p.
- Aumar, N ; Sediri, D. 2018.** Etude des propriétés physico-chimiques des sols de deux stations- services Idjeur et Fréha . Mémoire de Master UMMTO, 53p

### B

- Bagnouls, F. and Gausson, H., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat. de Toulouse, 88: 193-240p.
- Baize, D., 1989.** Guide des analyses courantes en pédologie. INRA, Paris. 172 p.
- Baize, D., 2000.** Guide des analyses en pédologie. 2ème Ed. Techniques et pratiques INRA 6380 Edition. Paris. 412p.
- Bergue, J. M. I., 1986.** La pollution des sols par les hydrocarbures. Ed Bull, liaison Labo P. et Ch. Réf. 3141.62p.

### C

- Chaineau, C. H., Morel, J. L., et Oudot, J., 1996.** Land treatment of oil based drill cuttings in an agricultural soil, Journal of Environmental Quality n°25. 858-867p.
- Charnet, F., 2018.** Les sols forestiers , Edition IDF – CNPF , Paris , 160p.
- Chikhaoui, D ; Hettak, L . 2019.** Effets des hydrocarbures sur les propriétés physiques, chimique et microbiologiques du sol des stations-services. Mémoire de Master UMMTO. 38p
- C.R.E.A.D. 1987.** Monographie de la commune de Bouzeguène. Ed. Centre rech. Econ. Appl. Dév ; Tizi-Ouzou, 92p.

### D

- Dajoz, R., 1979.** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434 p.
- Dajoz, R., 2000.** Insects and forests. The role and diversity of insects in forest environment. Paris, Intercept Ltd/Edition Technique et Documentation. Lavoisier Publishing, 668p.
- Dajoz, R., 2006.** Précis d'écologie. Ed. Bordas. Paris. 630p.
- Da Silva, B. M. and Maranhão, L. T., 2019.** Petroleum-contaminated sites: Decision framework for selecting remediation technologies. J. Hazard. Mater. 378, 120722. Brassington, K.J., Pollard, S.J.T.
- Dazy, M., Béraud, E., Cotelle, S., Gréville, F., Féraud, J. F. and Masfaraud, J. F., 2009.** Changes in plant communities along soil pollution gradients: responses of leaf antioxidant enzyme activities and phytochelatin. Chemosphere: 376-383p.
- Degranges, P., Gugalski, T., Leleu M. et Greffard J., 1977.** Devenir des hydrocarbures dans le sol. 31p.
- Devatha, C. P., Vishal, A. V. et Rao, J. P., 2019.** Investigation of physical and chemical characteristics on soil due to crude oil contamination and its remediation. Applied Water Science n°89. pp.1-10
- Dib, D., et Sadoudi Ali ahmed D., 2020.** Changes in Plants and Invertebrate Animals Communities along Gradients of Petroleum Products Pollution. Environmental Research Engineering and Management (EREM) n°76. pp. 44-57.
- Dreux, P., 1980.** Précis d'écologie. Ed. Presses Univ. France, Paris, 231 p.
- Dutta, T., Kwon, E., Bhattacharya, S., Jeon, E., Deep, A., Uchimiya, M. and Kim, K., 2017.** Polycyclic aromatic hydrocarbons and volatile organic compounds in biochar and biochar-amended soil: a review. GCB Bioenergy 9, 990–1004.

### E

- Emberger, L., 1952.** Sur le quotient pluviométrique. C. R. Acad. Sc., 234: 2508-2510.
- Esbaugh, A. J., Mager, E. M., Stieglitz, J. D., Hoenig, R., Brown, T. L., French, B. L., Linbo, T. L., Lay, C., Forth, H., Scholz, N. L., John, P., Incardona, J. P., Morris, J. M., Benetti, D.D. and Grosell, M., 2016.** The effects of weathering and chemical dispersion on Deepwater Horizon crude oil toxicity to mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) early life stages. Science of the Total Environment 543, 644-651.

## Référence bibliographique

### F

**Faurie C., Ferra C., Medori P., Devaux J. and Hemptinne J. L., 2003.** Ecologie approche scientifique et pratique. Ed. Lavoisier, Paris, 407 p.

**Fingas, M. 2011.** Oil Spill Science and Technology, 1st Edition. Gulf Professional Publishing, États-Unis, 1192p.

**Fingas, M. 2013.** The Basics of Oil Spill Cleanup. CRC Press, États-Unis.

**Faccendini J. P., 1995.** Caractérisation d'une pollution des sols granulaires par des hydrocarbures issus de la pyrolyse de la houille .Thèse doctorat. Ecole nationale des ponts et chaussées. pp77-81.

### G

**Guermouche, A., 2014.** Caractérisation moléculaire des bactéries impliquées dans la biodégradation des hydrocarbures (doctoral dissertation, université de tlemcen).

**Gobat J. M., Aragno M., Matthey W., 2010.** Le sol vivant : bases de pédologie Biologie des sols (éd. 3e). Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. 820p.

**Godwin U., Akpan, Bassey T. and 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.

### H

**HEIDI, D ; SAIDI, D.2020.** Étude phytoécologique des groupements végétaux de la subéraie de Djebel saadia [ressource textuelle, sauf manuscrits]. Thèse Université de Chlef - Hassiba Benbouali.

**Hreniuc, M., Coman, M. and Cioruța, B., 2015.** Consideration regarding the soil pollution with oil products in Sacel-Maramures. International Conference of scientific paper AFASES. Brasov. pp. 28-30.

**Hiel, M., Chélin, M., Parvin, N., Barbieux, S., Degruene, F., Lemtiri, A., ... Garré, S., 2016.** Crop residue management in arable cropping systems under a temperate climate. Part 2: Soil physical properties and crop production: A review. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 20, 245-256. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.12986>

### I

**ISO, 2015.** Norme NF ISO 11074 - Qualité du sol - Vocabulaire

## Référence bibliographique

**ITOPF. 2012.** Aerial Observation of Marine Oil Spills – Technical Information Paper No.1. International Tanker Owners Pollution Federation Limited, Londres, Royaume-Uni.

### J

**Jobson, A., Mclaughlin, M., Cook, F. D. et Westlake D. W. S., 1974.** Effect of Amendments on the microbial utilization of oil applied to soil. *Applied Microbiology* n° 27. pp.166-171.

**Jajoo, A., Mekala, N. R., Tomar, R. S., Grieco, M., Tikkanen, M. and Aro, E. M., 2014.** Inhibitory effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on photosynthetic performance are not related to their aromaticity. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 137: 151–155.

**Jeevanantham, S., Saravanan A., Hemavathy, R. V., Senthil Kumar, P., Yaashikaa, P. R. and Yuvaraj, D., 2019.** Removal of toxic pollutants from water environment by phytoremediation: A

### K

**Kaboré-Ouédraogo, P. W., Savadogo, P. W., Ouattara C. A. T., Savadogo A., et Traoré A. S., 2010.** Etude de la Bio dépollution de sols contaminés par les Hydrocarbures au Burkina-Faso. Institut de l'environnement et de Recherche Agricoles(INRA) n°30. pp. 19-28.

**Khan, S.R., Nirmal Kumar, J.I., Nirmal Kumar, R., 2015.** Enzymatic evaluation during biodegradation of kerosene and diesel by locally isolated fungi from petroleum contaminated soils of Western India. *Soil Sediment Contam.: Int. J.* 24, 514-525.

**Khidas, K., 1997.** Distributions et normes de sélection de l'habitat chez les Mammifères terrestres de la Kabylie du Djurdjura. Thèse Doctorat Etat sci. natu ; Univ. Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 235 P.

**Khimeche, F ; Oudai, S. 2019.** Etude des caractéristiques physique et chimiques des sols pollué par les carburants cas des stations-services de Ouadhia et Yakourene. Mémoire de Mastère UMMTO. 46p.

**Koshlaf, E. and Ball, A. S., 2017.** Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments. *AIMS microbiology*, 3(1): 25.

### L

**Lamiri, F; Nezloui, H. 2017.** Etude de l'influence de la pollution aux hydrocarbures sur quelques propriétés physiques et chimiques du sol; cas de la station-service de Fréha. Mémoire de Master UMMTO.36p

## Référence bibliographique

**Lee, S. H., Kim, M. S., Kim, J. G., & Kim, S. O. (2020).** Use of soil enzymes as indicators for contaminated soil monitoring and sustainable management. *Sustainability*, 12(19), 8209.

### M

**Maletic, S. P., Dalmacija, B. D. and Roncevic, S. D., 2013.** Petroleum hydrocarbon biodegradability in soil –implications for bioremediation. INTECH, Hydrocarbon 3, 43-64. Mishra, A.K., Kumar, G.S., 2015. Weathering of oil spill: modeling and analysis. Aquatic Procedia, 4 : 435-442.

**Mutin, G., 1977.** La Mitidja, décolonisation et aspect géographique. Ed. Office Presse Universitaire, Alger, 606 p.

### N

**Nemmer, W., 2015.** Etudes pédologique et floristique de différents sols selon un gradient de pollution. Mémoire de magistère. UMMTO. 95p.

**Niño De Guzmán, G.T., Hapeman, C.J., Millner, P.D., Torrents, A., Jackson, D. and Kjellerup, B.V., 2018.** Presence of organohalide-respiring bacteria in and around a permeable reactive barrier at a trichloroethylene-contaminated Superfund site. Environ. Pollut. 243, 766-776.

### O

**Odukoya, J., Lambert, R. and Sakrabani, R., 2019.** Understanding the impacts of crude oil and its induced abiotic stresses on agrifood production: a review. Horticulturae 5 : 47. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5020047>.

**Omafra, 2011.** Gestion du sol – Propriétés chimiques du sol. 55p.

**Onojake, M.C. and Osuji, L. C., 2012.** Assessment of the Physico-chemical Properties of Hydrocarbon Contaminated Soil. Arch. Appl. Sci. Res. 4(1): 48-58.

**Oguntimehin, I., Eissa, F. and Sakugawa, H., 2010.** Negative effects of fluoranthene on the eco-physiology of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill). Chemosphere 78, 877–884.

**Ossai, I. C., Ahmed, A., Hassan, A. and Hamid, F. S., 2019.** Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: a review. Environ. Technol. Innov. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>.

## Référence bibliographique

**Ossai, I. C., Ahmed, A., Hassan, A. and Hamid, F. S., 2020.** Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 17 : 100526.

### P

**Parent, L. E. et Gagné, G., 2010.** Guide de référence en fertilisation, 2e édition. CRAAQ.

**Pathak, H., Bhatnagar, K. and Jaroli D. P., 2011.** Physico-chemical Properties of Petroleum Polluted Soil Collected from Transport Nagar (Jaipur). *IJ FALS* 1(3):84-89.

**Pepper, I. L. and Brusseau, M. L., 2019.** Physical-chemical characteristics of soils and the subsurface. *Environmental and pollution science*, 9-22

**Picot.A et Montandon, F., 2013.** Ecotoxicochimie appliqué aux hydrocarbures – 3<sup>ème</sup> Édition. Lavoisier, Paris. 568p.

**Pulgarin, A., 2012.** Méthodes pour la datation des hydrocarbures Déversés Dans l'environnement. Univ de SHERBROOK. Canada 7.

### R

**Radovic, J. R. C. Dominguez, K., Laffont, S. Diez, J. W., Readman, J., Albaiges et Bayona, J. M., 2012.** Compositional properties characterizing commonly transported oils and controlling their fate in the marine environment. *Journal of Environmental Monitoring*, 12 (14): 3220-3229.

**Rayne, N., and Aula, L. 2020.** Livestock manure and the impacts on soil health: A review. *Soil Systems*, 4(4): 64.

**Rajajayavel, S. R. C. and Ghoshal, S., 2015.** Enhanced reductive dechlorination of trichloroethylene by sulfidatednanoscalezerovalent iron. *Water Res.* 78, 144-153.

**Rhbal, H., Souabi, S., Safi M., Arad M. and Anouzla A., 2010.** Hydrocarbons diagnostic of polluted soils. *Chemistry & chemical engineering, biotechnology, food industry.* 449-458.

**Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. and Pennock, D., 2018.** *Soil pollution: a hidden reality.* FAO.

**Rusin, M., Gospodarek, J. and Nadgórska-Socha, A., 2015.** The Effect of Petroleum-Derived Substances on the Growth and Chemical Composition of *Vicia faba* L. *Pol. J. Environ. Stud.* 24(5), 2157-2166.

### S

- Saad, D. ; Dendani. T., 2017.** Les effets des hydrocarbures sur quelques propriétés chimiques et biologiques du sol ; cas de station-service de Fréha. Mémoire master. UMMTO. 44p.
- Sajna, K. V., Sukumaran, R. K., Gottumukkala, L. D. and Pandey, A., 2015.** Crudeoilbiodegradationaided by biosurfactants from Pseudozyma sp. NII 08165 or its culture broth. Bioresour. Technol. 191 : 133–139.
- Schoeneberger, P. J., Wysocki, E.C. Benham, and Soil Survey Staff., 2012.** Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Schoonover, J. E. and Crim, J. F., 2015.** An introduction to soil concepts and the role of soils in watershed management. Journal of Contemporary Water Research& Education, 154(1), 21-47.
- Sdiri, A. and Bouaziz, S., 2014.** Re-evaluation of severalheavymetalsremoval by naturallimestones. Frontiers of Chemical Science and Engineering, 8(4), 418-432.
- Seltzer, P., 1946.** Les climats de l'Algérie. Trav. Inst. Met. Phys. Algérie, hors. Serie.
- Shahzad, A., 2015.** Rhizoremediation of OilySludge Contaminated Sites within Potwar Plateau. Ph.D. Thesis. Department of Plant Sciences Quaid-i-Azam University Islamabad, Pakistan.
- Shan, B. Q, Zhang, Y. T. and Cao, Q. L., 2014.** Growth responses of six leguminous plants adaptable in Northern Shaanxi to petroleum-contaminated soil. Environmental Science, 35: 1125-1130.
- Singh, A., Kumar, A., Yadav, S. and Singh, I. K., 2019.** Reactive oxygen species-mediated signaling during abiotic stress. Plant Gene18 100173.
- Speight, J.G ; 2015.** Handbook of petroleum productanalysis: second edition. <https://doi.org/10.1002/9781118986370>
- Stogiannidis, E. and Laane, R., 2015.** Source characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons by using their molecular indices: An overview of possibilities. Rev. Environ. Contam. Toxicol. 234, 49.
- Su, Y., Cheng, Y., Shih, Y., 2013.** Removal of trichloroethylene by zerovalentiron/activated carbon derived from agricultural wastes. J. Environ. Manage. 129, 361-366.
- Swartjes, F.A., ed. 2011.** Dealing with Contaminated Sites. Dordrecht, Springer Netherlands. (alsoavailableat [http:// link.springer.com/10.1007/978-90-481-9757-6](http://link.springer.com/10.1007/978-90-481-9757-6)).

### V

**Varjani, S. J., Upasani, V. N., 2017.** A new look on factor affecting microbial degradation of petroleum hydrocarbon pollutants. *International Biodeterioration & Biodegradation* 120:71-83.

### Z

**Zhang, Z., Gai, L., Hou, Z., Yang, C., Ma, C., Wang, Z., Sun, B., He, X., Tang, H. and Xu, P., 2010.** Characterization and biotechnological potential of petroleum-degrading bacterial isolated from oil-contaminated soils. *Bioresour. Technol*, 101: 8452–8456.

**Zhou, Z., Ruan, W., Huang, H., Shen, C., Yuan, B. and Huang, C., 2016.** Fabrication and characterization of Fe/Ni nanoparticles supported by polystyreneresin for trichloroethylene degradation. *Chem. Eng. J.* 283, 730-739.

# *Annexes*

**Annexe I** : les normes d'interprétations :

**Tableau 01**: Interprétation des valeurs du pH (Baize, 1989)

Valeurs du pH	Qualification
<4 ,5	Extrêmement acide
4,6 à 5	Très fortement acide
5,1 à 5,5	Fortement acide
5,6 à 6,75	Faiblement acide
6,75 à 7,3	Neutre
7,4 à 7,8	Légèrement alcalin
7 ,9 à 8,4	Moyennement alcalin
8,5 à 9	Fortement alcalin
<9,1	Très fortement alcalin

**Tableau 02** : Interprétation des valeurs de CE (Baize, 2000)

Conductivité électrique mmhos/cm à 28°c	Désignation
<2,5	Non salé
2,5-5	Faiblement salé
5-10	Moyennement salé
10-15	Salé
15-20	Fortement salé
20-27,5	Très fortement salé
27,5-40	Excessivement salé
≤40	Hyper salé

**Tableau 03** : Interprétation des valeurs du calcaire total (Baize, 1989)

%de Caco3	Qualification
5 à 12,5	Faiblement calcaire
12,5 à 25	Modérément calcaire
25 à 37 ,5	Assez fortement calcaire
37,5 à 50	Fortement calcaire
Plus de 50	Très fortement calcaire

**Annexe II** : les résultats d'analyses.**Tableau 01** : Les résultats d'analyses du pH

	<b>Sol non pollué</b>	<b>sol peu pollué</b>	<b>sol pollué</b>
<b>R1</b>	8,24	8,04	7,84
<b>R2</b>	8,29	8,03	7,89
<b>R3</b>	8,32	8,05	7,95
<b>Moyenne</b>	8,28	8,04	7,89

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

	<b>Sol non pollué</b>	<b>Sol peu pollué</b>	<b>Sol pollué</b>
<b>Taux d'humidité(%)</b>	4,78	1,37	1,87

**Tableau 03** : Les résultats d'analyses de la Conductivité Electrique (mmhos/cm)

	<b>Sol non pollué</b>	<b>sol peu pollué</b>	<b>sol pollué</b>
<b>R1</b>	0.208	0.214	0.406
<b>R2</b>	0.214	0.191	0.474
<b>R3</b>	0.203	0.214	0.372
<b>Moyenne</b>	0.208	0.206	0.476

**Tableau 04** : Les résultats d'analyses du Calcaire total (%)

	<b>Sol non pollué</b>	<b>sol peu pollué</b>	<b>sol pollué</b>
<b>R1</b>	61	48	48
<b>R2</b>	43	56	58
<b>R3</b>	50	58	51
<b>Moyenne</b>	51.33	54	52.33

**Tableau 05:** Les résultats d'analyses des sels solubles :

## ❖ Les Bicarbonates (Meq/l)

	<b>Sol non pollué</b>	<b>sol peu pollué</b>	<b>sol pollué</b>
<b>R1</b>	0.0078	0.0098	0.0196
<b>R2</b>	0.0078	0.0098	0.0196
<b>R3</b>	0.0078	0.0098	0.0098
<b>Moyenne</b>	0.0078	0.0098	0.0163

## ❖ Les\_chlorures\_(Meq/l)

	<b>Sol non pollué</b>	<b>sol peu pollué</b>	<b>sol pollué</b>
<b>R1</b>	0.00098	0.000798	0.000998
<b>R2</b>	0.00119	0.00130	0.000998
<b>R3</b>	0.000998	0.000998	0.00139
<b>Moyenne</b>	0.00106	0.00103	0.00112

**Tableau 06:** Les résultats d'analyses du carbone organique :

	<b>Sol non pollué</b>	<b>sol peu pollué</b>	<b>sol pollué</b>
<b>R1</b>	0.615	4.182	3.075
<b>R2</b>	0.246	3.198	3.936
<b>R3</b>	1.23	3.69	4.305
<b>Moyenne</b>	0.697	3.69	3.772

**Tableau 07:** Les résultats d'analyses de la matière organique :

	<b>Sol non pollué</b>	<b>sol peu pollué</b>	<b>sol pollué</b>
<b>R1</b>	1.057	7.193	5.289
<b>R2</b>	0.423	5.500	6.769
<b>R3</b>	2.115	6.346	7.404
<b>Moyenne</b>	1.198	6.346	6.487

**Tableau 08** Les résultats d'analyses du granulométrie :

❖ Les argiles :

	<b>Sol non pollué</b>	<b>sol peu pollué</b>	<b>sol pollué</b>
<b>R1</b>	42.5	17	20
<b>R2</b>	35	21.5	14
<b>R3</b>	25	15	10
<b>Moyenne (%)</b>	34	18	15

❖ Les limons :

	<b>Sol non pollué</b>	<b>sol peu pollué</b>	<b>sol pollué</b>
<b>R1</b>	35	37	37
<b>R2</b>	30	37.5	39
<b>R3</b>	42.5	41	35
<b>Moyenne (%)</b>	35	38	37

❖ Les sables :

	<b>Sol non pollué</b>	<b>sol peu pollué</b>	<b>sol pollué</b>
<b>R1</b>	27.5	47	43
<b>R2</b>	35	41	47
<b>R3</b>	32.5	46	55
<b>Moyenne (%)</b>	31	44	48

**Annexe III:** Matériel utilisé sur le terrain :

Durant notre échantillonnage nous avons utilisés le matériel suivant :

- ❖ Pioche en fer pour creuser le sol ;
- ❖ Des sacs de plastiques pour transporter le sol au laboratoire ;
- ❖ Etiquettes ;
- ❖ Marqueur ;
- ❖ Une pelle ;
- ❖ Une règle.

### Annexe IV : Matériel utilisé au laboratoire

Afin de réaliser notre expérimentation, nous avons utilisé le matériel suivant :

- ❖ Becher pour la préparation des solutions du sol ;
- ❖ Pipette pour prélever les différentes doses des réactifs utilisés ;
- ❖ Fioles 250ml pour la préparation de solutions réactives ;
- ❖ Erlenmeyer 500ml utilisé pour la titration ;
- ❖ Etuve (105°,28°) ;
- ❖ Balance électrique pour peser le sol ;
- ❖ pH mètre et conductimètre pour faire la lecture du pH et de la conductivité électrique ;
- ❖ Tamis à 5mm et à 2mm ;
- ❖ Bain de sable ;
- ❖ Agitateur mécanique pour l'agitation des solutions des sols.

## **Résumé**

L'objectif de notre travail est d'étudier les caractéristiques physiques et chimiques d'un sol pollué par les hydrocarbures (cas des stations-service). Les échantillons ont été prélevés de la station-service située à Bouzeguène. Les paramètres étudiés sont la texture, le pH, l'humidité, le calcaire total, la conductivité électrique, les sels solubles (les carbonates, les bicarbonates et les chlorures), le carbone organique et la matière organique.

Les résultats obtenus ont montré que ces carburants ont un effet non négligeable et un rôle important dans la modification des paramètres du sol, qui est marquée par la diminution du pH, du calcaire total et de l'humidité hygroscopique et l'augmentation des anions, du taux de carbone organique et la matière organique.

A cet effet, nous concluons que les hydrocarbures ont un effet sur les propriétés physiques et chimiques du sol.

**Les mots clés :** sol, carburant, paramètres physiques et chimiques, pollution, station-service.

## **Abstract**

The objective of our work is to study the physical and chemical characteristics of a hydrocarbons-polluted soil (case of gas stations). The samples were taken from the gas stations located in Bouzeguène. The studied parameters are pH, moisture, total limestone, electrical conductivity, soluble salts (carbonates, bicarbonates and chlorides), organic carbon and organic matter.

The results obtained showed that these fuels have a non-negligible effect and an important role in the modification of soil parameters, which is marked by the decrease of pH, total limestone, and moisture and the increase of anions, organic carbon and organic matter.

To this end, we conclude that hydrocarbons have an effect on the physical and chemical properties of the soil.

**Key words:** soil, fuel, physical and chemical parameters, pollution, gas station.