

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**

**UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU**

**Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques**

**Département de Biologie**



**Mémoire**

En vue d'obtention du diplôme de

**Master**

En Ecologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Environnement

**Thème**

**Etude des propriétés physico-chimiques des sols  
de deux stations-services Idjeur et Fréha**

**Présenté par : M<sup>elle</sup> AUMAR Nadia**

M<sup>elle</sup> SEDIRI Dounia

**Devant le jury composé de :**

**Présidente : Mme LANDRI G.**

MAA

U.M.M.T.O

**Promotrice : Mme SADOUDI-ALI AHMED D.**

Professeur

U.M.M.T.O

**Co-promoteur : Mr DIB D.**

Doctorant

U.M.M.T.O

**Examinatrice : Mme LAMRI T.**

MAA

U.M.M.T.O

**Juillet 2018**

## Remerciements

La réalisation de ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention d'un grand nombre de personnes. Nous tenons à adresser nos plus sincères remerciements à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à son élaboration.

Nous remercions en particulier, notre promotrice Mme **SADOUDI-ALI AHMED Djamila** pour nous avoir proposé cette thématique et nous avoir encadré durant ce travail.

Nous avons appris énormément avec elle et nous avons bénéficiés de ses précieux conseils, de sa grande expérience scientifique et de ses remarques très pertinentes. Et nous la remercions infiniment pour le grand intérêt qu'elle a portée à notre travail et de manière générale le grand intérêt qu'elle porte à ses étudiants et aussi pour la confiance qu'elle a eu en nous.

Nous témoignons notre profonde gratitude à l'égard de Mr **DIB Djaffer**, notre Co-promoteur, pour son orientation, sa confiance et sa patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Nos vifs remerciements vont aussi aux membres du jury Mme **LANDRI Ghenima** et Mme **LAMRI Taous** pour l'intérêt qu'elles ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous souhaitons remercier chaleureusement l'ensemble du personnel du laboratoire de pédologie à l'institut national de la recherche forestière de Bainem pour leur accueil, leur aide ainsi que leurs bonnes explications.

Enfin, Nous adressons également nos remerciements à l'équipe du laboratoire de synthèse pétrochimique de la faculté des hydrocarbures et de la chimie, à l'université M'hamed



***A la meilleure maman de tous les temps***

***A mon cher papa***

***A mes grands-parents maternels***

***Aux plus formidables sœurs au monde Hassiba, Fairouz et Fadoua***

***A mon frère adoré Idir***

***A ma chère tante Soussa***

***A toute ma famille***

***A ma chère binôme et amie Nadia***

***A tous mes amis sans exception***

***Aux gens qui me redonnent espoir quand tout paraît perdu***

***Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...***

***Tous les mots ne sauraient vous exprimer ma gratitude, mon amour, ma reconnaissance et mon respect...***

***Aussi c'est tout simplement je vous dédie ce mémoire.***

***Dounia***



*A mes très chers parents,  
pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur soutien  
tout au long de mes études*

*A mon frère et mes sœurs*

*A mes grands-parents, tantes, oncles, cousines,  
cousins, et amis*

*A ma chère binôme DOUNIA*

*NADIA*



## Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 01	Structure moléculaire de base des principaux hydrocarbures pétroliers (Colombano <i>et al</i> , 2008 in CEAEQ, 2015).	7
Figure 02	Processus influent sur le comportement et la migration des polluants au niveau du sol (Sims <i>et al</i> , 1984 in Lemièrè <i>et al</i> , 2001)	9
Figure 03	Configuration générale d'une station-service (station-service d'aire d'autoroute) (INERIS, 2002)	10
Figure 04	Localisation géographique des deux communes (Idjeur et Fréha) sur la carte de Tizi Ouzou (Dib et Leham, 2012)	14
Figure 05	Localisation du site d'étude au niveau de la station-service d'Idjeur (Google earth, 2017)	16
Figure 06	Localisation des sites d'études 1 et 2 au niveau de la station-service de Fréha (Google earth, 2017)	18
Figure 07	Schéma de la méthode d'échantillonnage effectuée (Original, 2018)	20
Figure 8	Stratégie d'échantillonnage (OFEFP, 2003)	21
Figure 9	Triangle des textures (United States Departement of Agriculture)	21
Figure 10	Composition granulométrique du sol de la station d'Idjeur selon le gradient de pollution.	25
Figure 11	Composition granulométrique du sol de la station de Fréha I selon le gradient de pollution	26
Figure 12	Composition granulométrique du sol de la station de Fréha II selon le gradient de pollution	26
Figure 13	Le taux de pH des sols des trois stations Idjeur, Fréha I et Fréha II.	28
Figure 14	Le taux de la CE des sols des trois stations Idjeur, Fréha I et Fréha II	29
Figure 15	Le taux d'humidité des sols des trois stations Idjeur, Fréha I et Fréha II	30
Figure 16	Le taux de calcaire total des sols des trois stations Idjeur, Fréha I et Fréha II	30
Figure 17	Le taux de carbone des sols des trois stations Idjeur, Fréha I et Fréha II	31
Figure 18	Le taux de matière organique des sols des stations Idjeur, Fréha I et Fréha II.	32
Figure 19	La teneur en hydrocarbures totaux de la station 3 (Fréha II)	33
Figure 20	Graphe ACP (Variables) pour la THT et les paramètres physicochimiques du sol de la station 3 (Fréha II)	34
Figure 21	Graphe ACP (Individus) pour la THT et les paramètres physicochimiques du sol de la station 3 (Fréha II)	35

## Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 1	Les résultats des différentes analyses physico-chimiques des sols des trois stations (Idjeur, Fréha I et Fréha II)	24
Tableau 2	Classification des textures des différents sols selon le triangle des textures	27
Tableau 3	La Teneur en Hydrocarbures Totaux de la station 3 (Freha II)	33
Tableau 4	Matrice des corrélations pour la station 03	35

## Liste des abréviations

A : Argile

AE-DECL: Administration de l'environnement - Division des établissements classés de Luxembourg

BRGM : Bureau de recherches géologique et minières

C : Carbone total

CE : Conductivité électrique

CEAEQ : Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec

CT : Calcaire total

HR : Humidité résiduelle

L : Limon

MO : Matière organique

pH : potentiel d'Hydrogène

S : Sable

S1 : Station1

S2 : Station2

S3 : Station3

**Introduction générale.....1**

**Chapitre I : Synthèse bibliographique**

**1. Sol..... 3**

**1.1. Définitions..... 3**

**1.2. Constituants du sol ..... 3**

**1.2.1. Fraction organique..... 3**

**1.2.2. Fraction minérale..... 3**

**1.2.3. Solution du sol ..... 3**

**1.2.4. Atmosphère du sol..... 3**

**1.2.5. Organismes vivants ..... 3**

**1.2.6. Les pores du sol ..... 4**

**1.3. Propriétés du sol ..... 4**

**2.1. Définitions..... 6**

**2.2. Différents types de produits pétroliers et d'hydrocarbures..... 6**

**2.3. Principales propriétés physico-chimiques des hydrocarbures ..... 8**

**2.3.1. La solubilité ..... 8**

**2.3.2. La densité..... 8**

**2.3.3. La volatilité ..... 8**

**2.3.4. La viscosité..... 8**

**2.3.5. La tension superficielle ..... 8**

**2.4. Les produits pétroliers et l'environnement ..... 8**

**2.5. Comportement des hydrocarbures dans le sol..... 9**

**3. Stations-services ..... 10**

**3.1. Description d'une station-service ..... 10**

**3.2. Gestion des aspects environnementaux dans les stations-services ..... 10**

**3.3. Les rejets des stations-services ..... 11**

**3.3.1. Rejets dans l'atmosphère..... 11**

**3.3.2. Rejets dans l'eau ..... 11**

**4.3.3. Rejets dans le sol ..... 12**

**Chapitre II : Milieux d'étude**

**Présentation des régions d'étude ..... 14**

**1.Région d'Idjeur..... 14**

1.1. Situation géographique et administrative.....	14
1.2. Relief et pentes.....	15
1.3. Climat.....	15
1.4. Végétation.....	15
2. Région de Fréha.....	16
2.1. Situation géographique et administrative.....	16
2.2. Relief et pentes.....	16
2.3. Climat.....	17
2.4. Végétation.....	17
2.5. Description du site d'étude.....	17

### **Chapitre III : Matériel et méthodes**

Introduction.....	19
1. Etude préliminaire sur les sites d'étude.....	19
2. Méthode d'échantillonnage.....	19
2.1. Dispositif expérimental.....	19
2.2. Prélèvement et conditionnement des échantillons.....	20
3. Analyses physico-chimiques des échantillons.....	21
3.1. Granulométrie.....	21
3.2. pH.....	22
3.3. Conductivité électrique.....	22
3.4. Humidité.....	22
3.5. Calcaire total.....	22
3.7. Matière organique.....	23
3.8. Hydrocarbures.....	23
4. Analyses statistiques.....	23

### **Chapitre IV : Résultats et discussion**

1. Résultats.....	24
1.1 Propriétés physico-chimiques.....	24
1.1.1. Granulométrie.....	25
1.1.2. pH.....	28

## Sommaire

<b>1.1.3. Conductivité électrique.....</b>	<b>28</b>
<b>1.1.4. Humidité .....</b>	<b>29</b>
<b>1.1.5. Calcaire total .....</b>	<b>30</b>
<b>1.1.6. Carbone.....</b>	<b>31</b>
<b>1.1.7. Matière organique.....</b>	<b>31</b>
<b>1.2. Hydrocarbures .....</b>	<b>32</b>
<b>1.2.1. Analyse en composantes principales (ACP).....</b>	<b>34</b>
<b>1.2.2. Coefficient de corrélation de pearson (r) .....</b>	<b>35</b>
<b>2. Discussion .....</b>	<b>36</b>
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>39</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>40</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>44</b>



**Introduction général**

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

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

Dans de nombreuses régions du monde, l'homme s'est peu préoccupé de l'impact de ses activités sur la qualité des sols, que sur les eaux superficielles et souterraines ou sur l'atmosphère. Les activités humaines sont à l'origine de nombreuses contaminations localisées ou diffuses au niveau des sols ou sous-sols. En dehors des usages industriels, l'utilisation généralisée des hydrocarbures et des solvants chlorés, par les particuliers et des entreprises artisanales ou commerciales très dispersées, entraîne une présence fréquente de ce type de substances dans les anciens dépôts de déchets, qu'ils soient d'origine industrielle ou urbaine. Ces dépôts constituent une des sources de pollution localisée par ces composés (Colin, 2000).

Lorsque des hydrocarbures sont déversés dans l'environnement, leur devenir dans le milieu va dépendre de leurs caractéristiques physicochimiques et des différents processus de transport et d'altération liés aux conditions environnementales dans le milieu récepteur (température, vagues, vents) (CEAEQ, 2015).

Tout site pollué par des substances nuisibles représente une menace potentielle pour les écosystèmes telluriens, aquatiques et pour la santé humaine. Des pollutions ponctuelles ou diffuses, souvent toxiques pour les êtres vivants en cas d'inhalation ou d'ingestion, mettent en péril la qualité des sols, du sous-sol et à cause d'infiltrations éventuelles, également la qualité des eaux. L'ampleur de ces contaminations est directement liée aux propriétés physico-chimiques des polluants, aux quantités déversées et aux facteurs environnementaux (perméabilité du sol) (AE - DECL, 2014).

L'exploitation d'une station-service représente une source potentielle de nuisances (trafic, bruit, pollution atmosphérique, pollution du sol et des eaux) pour le voisinage direct mais aussi pour l'environnement en général (IBGE ,2003).

Notre étude s'intéresse aux sols pollués par les rejets des stations-service selon un gradient de pollution. L'objectif de ce travail est de déterminer l'impact des rejets générés par les stations-services sur les propriétés physico-chimiques du sol.

Le présent mémoire est scindé en quatre parties :

- La première partie présente un aperçu bibliographique sur les propriétés physico-chimiques des sols et des généralités sur les hydrocarbures ainsi que les stations-services.
- La seconde récapitule les caractéristiques générales des régions et des sites d'étude.
- La troisième partie aborde les différentes approches adoptées et les protocoles d'analyses utilisés.
- La quatrième partie est consacrée aux résultats des différentes analyses ainsi que leur discussion.
- Enfin nous clôtureront ce travail par une conclusion générale et quelques perspectives.



**Chapitre I : synthèse  
bibliographique**

## **1. Sol**

### **1.1. Définitions**

#### **1.1.1. Sol**

Le sol est une entité naturelle, superficielle et souvent meuble résultant de la transformation au contact de l'atmosphère et des êtres vivant (la biosphère) d'un matériau minéral (lithosphère) issue le plus souvent d'une roche sous-jacente, sous l'influence de processus physiques, chimiques et biologiques (Girard *et al.*, 2005).

#### **1.1.2. Sol pollué**

Un sol pollué est une zone non-saturée comprise entre la surface du sol et le niveau de la nappe phréatique qui, du fait de négligences, défaut de conception ou de maintenance, non-respect de la législation à la suite d'activités diverses, conduit à l'apparition de dommages et risques immédiats ou différés pour les usagers ou pour l'environnement (Ricour et Lallemand-Barrès, 1994).

### **1.2. Constitution du sol**

#### **1.2.1. Fraction organique**

De la litière à la matière organique humifiée : la mort des êtres vivant, leurs déchets et sécrétions apportent au sol sa matière organique, qualifiée de fraîche avant qu'elle ne se transforme en humus (Gobat *et al.*, 2010).

#### **1.2.2. Fraction minérale**

Les constituants minéraux du sol sont primaires, hérités directement de la roche mère, ou secondaire, issus de la transformation chimique des précédents et réunis alors dans le complexe d'altération. Celui-ci comporte des sels ou des silicates (Gobat *et al.*, 2010).

#### **1.2.3. Solution du sol**

Elle est constituée de l'eau du sol et des substances qui y sont dissoutes. Elle influence les êtres vivants de multiples manières comme la nutrition des plantes et sa teneur en ions et son pH qui régulent la présence des espèces (Gobat *et al.*, 2012).

#### **1.2.4. Atmosphère du sol**

L'air occupe les pores abandonnés par l'eau lors de son retrait, d'abord les plus grossiers, puis les plus fins. Sa composition présente des fluctuations saisonnières liées à l'activité biologique (Gobat *et al.*, 2012).

#### **1.2.5. Organismes vivants**

Les organismes vivants du sol sont des bactéries, des champignons, des algues, les parties souterraines des plantes ainsi que des animaux très variés, des protozoaires aux mammifères (Gobat *et al.*, 2012).

### **1.2.6. Les pores du sol**

Les pores du sol forment un réseau dans lequel circulent l'eau et les gaz. La taille des pores varie dans une très large gamme : de quelques nanomètres (10<sup>-9</sup>m) à quelques centimètres (Stengel *et al.*, 2009).

## **1.3. Propriétés du sol**

Les constituants du sol interagissent pour lui conférer ses propriétés. Leur proportion, leur variabilité spatio-temporelle, la vitesse des flux qui les relie influencent le fonctionnement du système (Gobat *et al.*, 2010).

### **1.3.1. Propriétés physiques**

#### **1.3.1.1. Texture**

La granulométrie, ou texture, correspond à la répartition des minéraux par catégories de grosseur, indépendamment de la nature et de la composition de ces minéraux (Duchaufour, 1998).

#### **1.3.1.2. Porosité**

Un des caractères essentiels du sol est d'être un milieu poreux, présentant des vides dans l'assemblage de ses constituants. Cette porosité résulte, en fait, de l'assemblage initial des constituants modifié par la différenciation pédologique ; dans l'évolution actuelle des sols, elle correspond aux voies de circulation et de stockage possible des fluides (Mathieu et Pieltain, 1998).

#### **1.3.1.3. Structure**

La structure d'un sol est l'arrangement spatial des particules minérales et leur éventuelle liaison par la matière organique, à un moment donné de la vie du sol (Mathieu et Pieltain, 1998).

#### **1.3.1.4. Perméabilité**

On appelle la perméabilité du sol, sa capacité à laisser passer l'eau vers les couches inférieures ; elle dépend de la texture et la structure (Koller, 2004).

### **1.3.2. Propriétés chimiques**

#### **1.3.2.1. pH**

L'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse peut s'exprimer par la concentration en H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>. L'acidité du sol est définie par la concentration en ions H<sup>+</sup>. Le pH du sol dépend également du complexe argilo-humique. La mesure du pH constitue ainsi le test le plus sensible des modifications survenant dans l'évolution d'un sol (Mathieu et Pieltain, 2003).

#### **1.3.2.2. Azote total**

Par la méthode Kjeldahl, l'azote ammoniacal et l'azote organique sont dosés simultanément. Ces deux formes d'azote sont présentes dans les détritiques organiques soumis aux

processus biologiques naturels. La présence d'azote organique dans les effluents industriels provient des abattoirs, de certaines usines chimiques utilisant de l'azote organique dérivé des protéines animales et de la décomposition de la matière organique (CEAEQ, 2014).

#### **1.3.2.3. Matière organique**

Les débris végétaux de toute nature, feuilles, rameaux morts qui tombent sur le sol, constituent la source essentielle de la matière organique : dès leur arrivée au sol, ils sont plus ou moins rapidement décomposés par l'activité biologique.

La matière organique est ainsi peu à peu transformée et cela donne naissance, d'une part, à des éléments solubles ou gazeux comme l'ammoniac, l'acide nitreux et le gaz carbonique, et d'autre part à des complexes humiques (l'humus) qui se décomposeront puis se minéraliseront très lentement et très progressivement (Mathieu et Pieltain, 2003).

#### **1.3.2.4. Conductivité électrique**

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs des sels solubles dans ce sol. Elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présents dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinité (Koller, 2004).

#### **1.3.2.5. Pouvoir absorbant**

Le sol retient certains éléments fertilisants, et cette propriété constitue son pouvoir absorbant. Ce sont les colloïdes du sol (argile et d'humus) qui possèdent le pouvoir absorbant le plus élevé, d'où le nom de complexe absorbant donné au complexe argilo-humique (Koller, 2004).

#### **1.3.2.6. Calcaire**

Le calcaire peut se trouver dans le sol à l'état de fragments de dimensions quelconques depuis les blocs et les graviers jusqu'à la taille des colloïdes argileux. Généralement, les fragments sont des parties de la roche mère qui ont subsisté, pour des raisons diverses et notamment grâce à une plus grande résistance, aux agents de l'altération (Mathieu et Pieltain, 2003).

## **2. Produits pétroliers et hydrocarbures**

### **2.1. Définitions**

#### **2.1.1. Produits pétroliers**

La production de produits pétroliers s'effectue par le biais de différentes étapes de séparation et de transformation du pétrole brut. On parle alors de raffinage du pétrole ; le pétrole est distillé pour séparer les différentes coupes en fonction de la température d'ébullition de chacune (BRGM, 2014).

#### **2.1.2. Hydrocarbures**

Les hydrocarbures sont composés principalement d'alcane saturés non cycliques et cycliques, de composés aromatiques monocycliques (BTEX : benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes), d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), de certains composés polaires (résines et asphaltènes) et de métaux. Leur proportion varie selon l'origine de l'hydrocarbure et le raffinage des pétroles bruts (CEAEQ, 2015).

### **2.2. Différents types de produits pétroliers et d'hydrocarbures**

#### **2.2.1. Produits pétroliers**

Les trois principales « coupes » pétrolières sont les légers (les composés gazeux, les essences dont la température d'ébullition se situe entre 40 et 210 °C), les moyens (kérosène, diesel et fuel domestique dont la température d'ébullition se situe entre 170 et 360 °C) et les lourds (fuel lourd ou résidus) (Colombano *et al*, 2014).

##### **2.2.1.1. Gaz de pétrole liquéfié (GPL)**

Le GPL est un gaz incolore et inodore, produit à partir du pétrole brut ou par purification du gaz naturel, il est utilisé, dans une moindre mesure, comme carburant pour les véhicules (Colombano *et al*, 2014).

##### **2.2.1.2. Essence**

Les essences contiennent généralement environ de 230 hydrocarbures différents dont le nombre d'atome de carbone se situe entre 4 et 10. La distillation des essences est effectuée à une température comprise entre 30-35°C et 180-200°C. Les essences ont une densité moyenne de 0.72-0.77 et un rapport H/C qui varie entre 1,7 et 1,9.

Les essences sont composées de 5 classes principales d'hydrocarbures : les n-alcane, les isoalcane, les cycloalcane, les alcène et les aromatique (Saada *et al*, 2005)

##### **2.2.1.3. Kérosène**

Le kérosène est un liquide blanc ou légèrement jaune qui présente une légère odeur de pétrole. Il est obtenu à partir de la distillation fractionnée du pétrole entre 150°et 275°C, résultant d'un mélange d'hydrocarbures de 12 à 15 atomes de carbone (Colombano *et al*, 2014).

### 2.2.1.4. Diesel

Appelé aussi gazole, c'est un liquide incolore ou légèrement jaune qui présente une odeur de pétrole. Les gazoles contiennent 2 000 à 4 000 hydrocarbures différents dont le nombre d'atomes de carbone varie entre 11 et 25. Le diesel est très largement utilisé comme carburant automobile dans les moteurs à allumage par compression (Colombano *et al*, 2014).

### 2.2.1.5. Lubrifiants

Les lubrifiants sont élaborés à partir d'huiles produites dans des raffineries. Ces huiles sont, ensuite, retraitées puis des additifs sont ajoutés afin d'en améliorer les propriétés. Ils sont utilisés pour réduire les frottements et ainsi limiter l'usure des pièces des moteurs et machines (Colombano *et al*, 2014).

## 2.2.2. Les différentes classes d'hydrocarbures

Les hydrocarbures pétroliers contiennent principalement des molécules composées d'atomes de carbone et d'hydrogène. Il s'agit d'alcanes non cycliques (ou paraffines), des cycloalcane (ou naphènes), d'alcènes (ou oléfines) et d'hydrocarbures aromatiques (Figure 01). D'autres constituants mineurs sont également présents dans les hydrocarbures pétroliers, comme des métaux et des composés polaires qui contiennent de l'azote, du soufre ou de l'oxygène. Les molécules polaires de faible masse moléculaire sont appelées des résines, les plus lourdes étant regroupées sous l'appellation d'asphaltènes (CEAEQ, 2015).

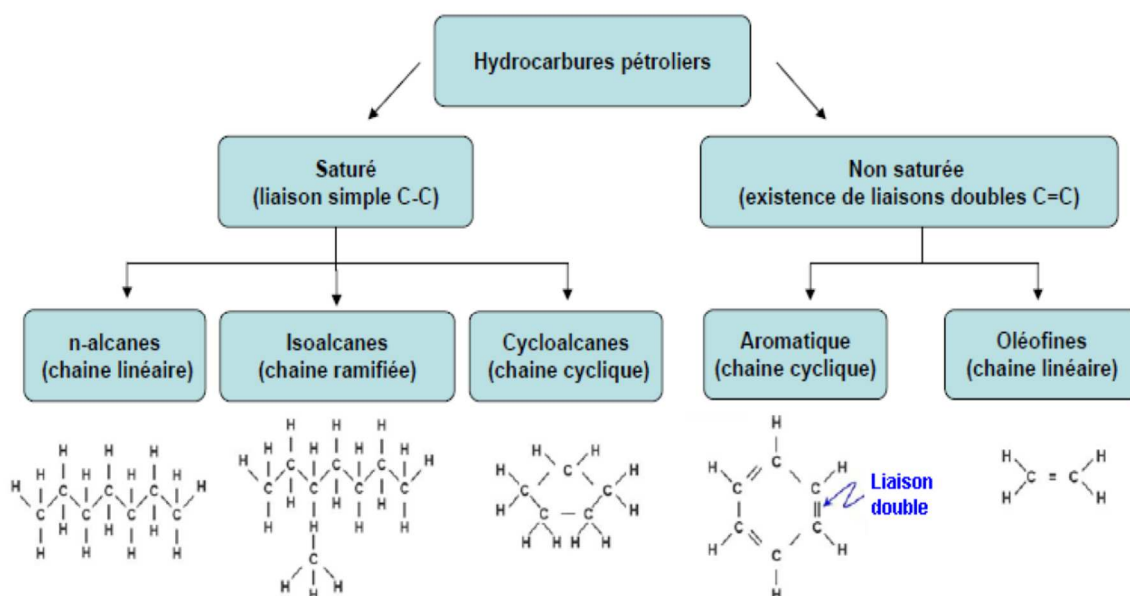


Figure 1. Structure moléculaire de base des principaux hydrocarbures pétroliers (Colombano *et al*, 2008 in CEAEQ, 2015).

### **2.3. Principales propriétés physico-chimiques des hydrocarbures**

Selon Lemière *et al.* (2008), les propriétés physico-chimiques des hydrocarbures varient avec le nombre d'atomes de carbone des molécules qui constituent la coupe d'hydrocarbures : une augmentation du nombre de carbone se traduit par :

- Une diminution de la solubilité, de la biodégradabilité, de la volatilité.
- Une augmentation de la densité, de l'hydrophobie (adsorption) et de la stabilité.

#### **2.3.1. La solubilité**

La plupart des hydrocarbures sont peu miscibles avec l'eau. Ils tendent à former des couches distinctes lorsqu'ils atteignent les nappes phréatiques (Lemière *et al.*, 2001).

#### **2.3.2. La densité**

La densité des hydrocarbures varie avec la longueur de chaînes carbonées. La plupart des hydrocarbures s'accumuleront sélectivement en surface de la nappe et les hydrocarbures les plus lourds s'accumuleront au plancher de celle-ci (Lemière *et al.*, 2008).

#### **2.3.3. La volatilité**

La plupart des hydrocarbures légers sont volatils, par contre les plus lourds sont volatils ou semi-volatils (Lemière *et al.*, 2001).

#### **2.3.4. La viscosité**

Les hydrocarbures légers ont une viscosité inférieure à 1. Les plus lourds ont une viscosité qui croit avec la masse de 1 à 6 (Lemière *et al.*, 2001).

#### **2.3.5. La tension superficielle**

Elle dépend de la température et permet de mieux appréhender la vitesse d'étalement des nappes d'hydrocarbures. Plus la température augmente, plus la tension superficielle diminue et plus la vitesse d'étalement est importante. Dans ce cas, de vastes surfaces sont touchées par l'étalement (Fattal, 2008).

### **2.4. Les produits pétroliers et l'environnement**

En cas de déversement ou de fuite de produits pétroliers dans le milieu naturel, les fractions les plus légères vont généralement s'évaporer et, selon les circonstances, les fractions non volatiles se disperseront dans l'environnement aquatique ou seront absorbées dans le sol créant éventuellement une pollution des nappes souterraines.

Les fractions volatiles sont dégradées dans l'air par des processus de photo-oxydation.

Dans l'eau, les carburants et combustibles ont tendance à flotter et à s'étendre à la surface à cause de la faible solubilité de certains de leurs constituants mais quelques fractions solubles s'y diluent. Ces derniers sont responsables de la toxicité pour les espèces vivantes.

La plupart des substances présentes dans les coupes pétrolières sont connues comme étant dégradées par des micro-organismes (Boust et Leberton, 2006).

### 2.5. Comportement des hydrocarbures dans le sol

Les hydrocarbures pétroliers libérés dans l'environnement sont sujets de nombreux procédés chimiques, physiques et biologiques qui vont changer leur composition (Figure 02). Tous les processus d'altération vont largement affecter la composition chimique des hydrocarbures déversés dans l'environnement. Le degré d'altération (légèrement, modérément ou sévèrement dégradé) et la vitesse de dégradation sont différents pour chaque déversement et sont contrôlés par des conditions diverses telle que la nature du produit déversé, les conditions environnementales du site et l'activité microbiologique du site (Colombano *et al.*, 2014).

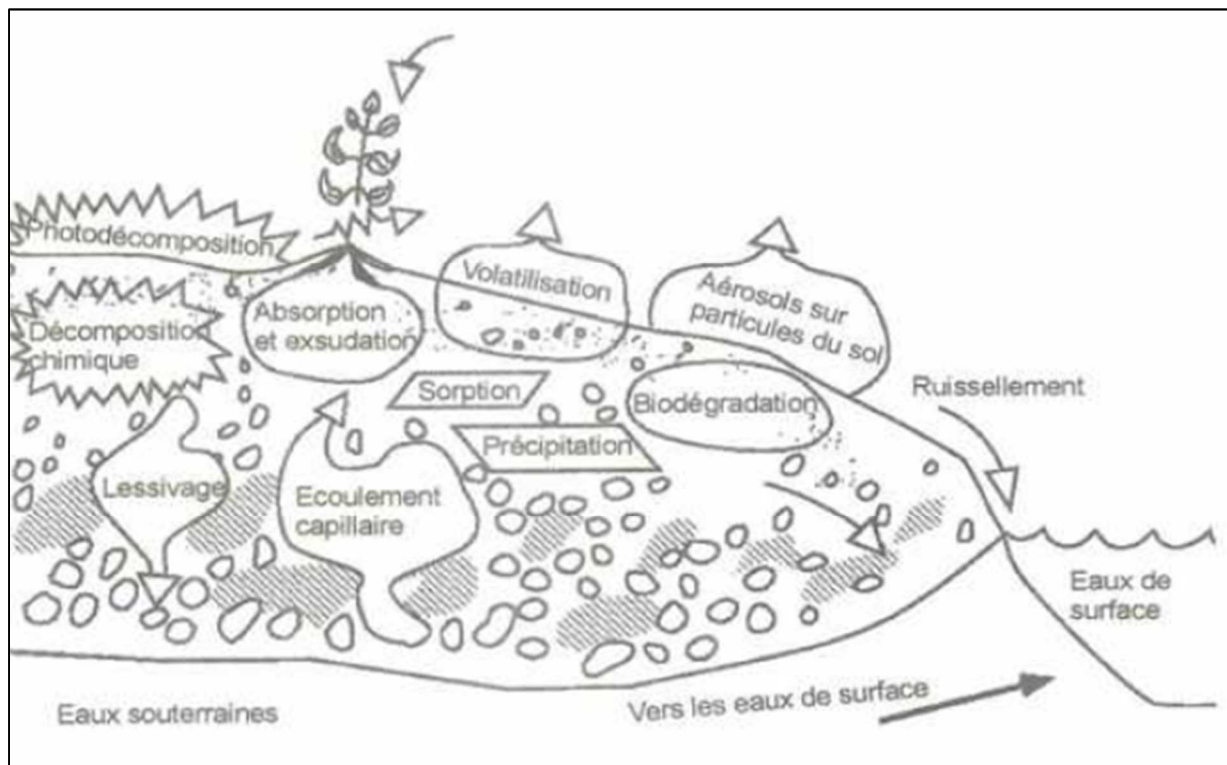


Figure 2. Processus influent sur le comportement et la migration des polluants au niveau du sol (Sims *et al.*, 1984 in Lemièrre *et al.*, 2001).

### 3. Stations-services

Les stations-services sont des installations offrant divers services (distribution de carburant, lavage et graissage de voitures, ventes de produits divers).

#### 3.1. Description d'une station-service

Patej *et al.* (2002) décrit une station-service comme une installation constituée de trois zones principales, la zone de distribution, la zone de dépotage et la zone de boutique et de caisse. Toutes ces zones sont situées en surface (Figure 03).

La zone de distribution correspond à une zone de roulage où les usagers viennent s'approvisionner en carburant et est composée de différentes bornes de distribution permettant le service de carburant en simultané.

La zone de dépotage, quant à elle, permet d'effectuer le remplissage des cuves de carburant par camion-citerne. Dans certains cas, cette zone de dépotage peut se retrouver confondue à la zone de distribution, c'est-à-dire que le dépotage de camions citerne se fait au même endroit que le remplissage du réservoir de l'utilisateur (par exemple, station-service en milieu urbain).

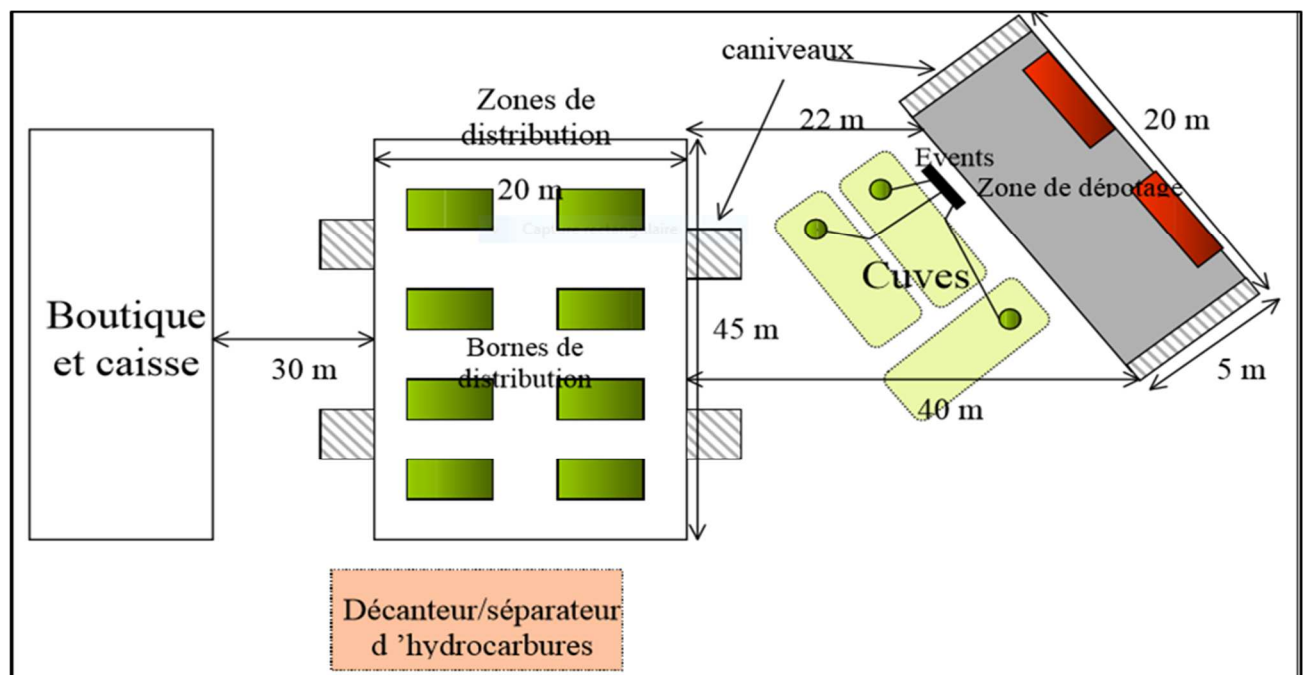


Figure 3. Configuration générale d'une station-service (station-service d'aire d'autoroute)

(Patej *et al* 2002).

#### 3.2. Gestion des aspects environnementaux dans les stations-services

Les zones de distribution et de dépotage sont soumises à une certaine pente et sont équipées de caniveaux récupérant tous les effluents (eaux de pluie et hydrocarbures en particulier). Les caniveaux sont reliés directement à un décanteur/séparateur d'hydrocarbure enterré et muni ou non d'une cuvette de rétention. Lorsque des effluents arrivent jusqu'au

décanteur/séparateur, les hydrocarbures et les matières en suspension sont séparées des eaux collectées, celles-ci repartant dans le réseau prévu à cet effet. Les hydrocarbures et autres matières sont conservés dans un réservoir de capacité limitée qui doit être vidangé régulièrement (Patej *et al* 2002).

Les cuves contenant le carburant sont, comme le décanteur, enterrées et reliées par des canalisations d'une part, aux postes de dépotage et d'autre part, aux différentes bornes de distribution. Chaque cuve (ou sous-réservoir) possède une évacuation sous forme d'évents situés à l'air libre et en partie haute. Par ailleurs, la plupart des cuves et des canalisations contenant le carburant sont équipées d'enveloppe double peau avec présence d'un produit anti-gel permettant de vérifier s'il y a présence ou non d'une fuite (Patej *et al* 2002).

Sur l'ensemble de la station : Afin d'éviter toute infiltration dans le sol, il est important de pouvoir garantir que les surfaces de roulement et de stationnement des véhicules soient imperméables à toutes les substances pouvant être utilisées ou manipulées dans ces endroits et potentiellement contenues dans les véhicules (AE-DECL, 2014).

### **3.3. Les rejets des stations-services**

Selon l'Administration de l'environnement - Division des établissements classés de Luxembourg, (2014), l'exploitation d'une station-service peut être à l'origine d'impacts environnementaux, telle la dégradation de la qualité de l'eau (par le déversement d'hydrocarbures), de l'atmosphère (par des émanations de composés organiques volatils) ou peuvent contribuer à la dégradation de la qualité de vie de l'entourage par l'émission d'odeurs (odeurs d'hydrocarbures, de produits de lavage) et des émissions de bruit (bruits des clients arrivant et partant, bruits des compresseurs, etc.).

#### **3.3.1. Rejets dans l'atmosphère**

L'énergie utilisée dans les entreprises est majoritairement produite à partir de combustibles fossiles. La combustion de ces derniers génère lors d'une combustion complète des polluants atmosphériques tels que le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote et le dioxyde de carbone. Lors d'une combustion incomplète (mal contrôlée) s'y ajoutent en plus le monoxyde de carbone et des particules de suie, etc (AE-DECL, 2014).

#### **3.3.2. Rejets dans l'eau**

**Le premier type d'eaux usées** sont les eaux résultant du lavage de voitures ou du nettoyage des surfaces de circulation, ainsi que les eaux de pluie lessivant des surfaces susceptibles d'être polluées. Ces eaux peuvent être chargées d'impuretés comme des particules solides ou les différents types de substances utilisées par les véhicules, comme les hydrocarbures (mazout, essence, huiles à moteur etc.) ou des détergents.

**Le deuxième type d'usage génère des eaux usées** de type eaux sanitaires ou domestiques.

Lors de déversements accidentels peuvent s'y ajouter d'autres liquides classés comme des substances dangereuses, couramment utilisés dans la station-service (p.ex. gasoil, essence, liquides de freins, liquides de refroidissement, acides de batteries ou solvants) et cela potentiellement en quantités importantes (fuites de réservoirs souterrains) (AE-DECL, 2014).

#### **4.3.3. Rejets dans le sol**

Les principales sources de pollution sont liées à des déversements accidentels (p.ex. égouttages lors du remplissage des réservoirs et du ravitaillement des voitures, fuites des tuyauteries, fuites des réservoirs, accidents ou incendies de véhicules, manipulation de produits, d'évacuation de déchets, etc.) de produits nuisibles pour l'environnement (carburants, huiles de moteur, liquides de frein, liquides de refroidissement, acides de batteries, etc.) (AE-DECL, 2014).



**Chapitre II : Milieux  
d'étude**

## 1. Présentation des régions d'étude

Les trois sites d'étude sont localisés au niveau de la région de Tizi-Ouzou (Figure 4). Un site est localisé au niveau de la commune d'Idjeur à proximité d'une station-service et deux autres sites au niveau de la commune de Fréha à proximité d'une autre station-service.

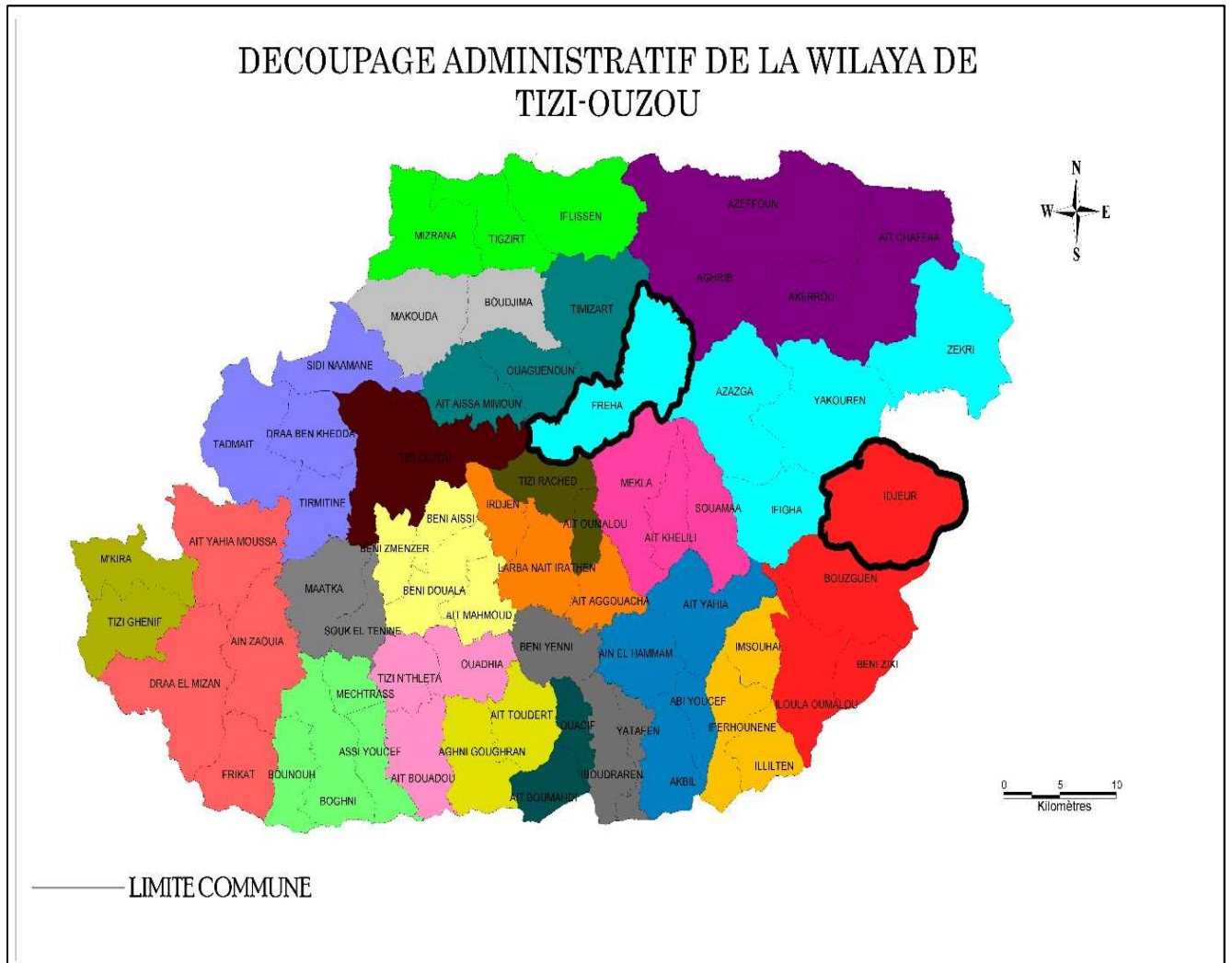


Figure 4. Localisation géographique des deux communes (Idjeur et Fréha) sur la carte de Tizi Ouzou (Dib et Leham, 2012).

### 1.1. Région d'Idjeur

La description de la commune s'appuie sur le rapport du PDAU de la commune d'Idjeur de l'année 2012.

#### 1.1.1. Situation géographique et administrative

La commune d'Idjeur est située à 70 km à l'Est du chef-lieu de la wilaya de Tizi Ouzou. Elle est accessible, d'une part, par le Sud-Ouest à partir du CW 251 qui traverse la commune de Bouzeguene et par l'Ouest à partir du Chemin communal passant par le chef-lieu de la

commune d'Ifigha (à travers le village Moknéa). D'autre part, par la RN 34 à partir du col de Tagma (RN 12). D'une superficie de 72.06 km<sup>2</sup>, la commune d'Idjeur compte 10301 habitants (RGPH 2008) répartis sur le chef-lieu de la commune et ses 7 villages.

### **1.1.2. Relief et pentes**

Le réseau hydrographique de Idjeur est nettement représenté par des cours d'eau (oued et talwegs). Les plus importants suivent un sens d'écoulement général d'Est en Ouest, tels Assif Ouserdoune, Assif Ait Handich, Ighzer Abd El Ali.

Cette région est caractérisée par des pentes relativement moyennes et l'étude relative à la délimitation et caractérisation des zones de montagne et le massif montagneux du Djurdjura classe la commune d'Idjeur dans la zone de moyenne montagne (étage supérieur).

### **1.1.3. Climat**

La commune d'Idjeur est caractérisée par un climat rude et contrasté, à la fois méditerranéen et montagnard, avec une période hivernale pluvieuse et neigeuse. Les températures descendent en dessous de 0°. Quant à la période estivale ; elle est chaude et sèche, tempérée en hauteur par l'effet de l'altitude.

### **1.1.4. Végétation**

Le patrimoine naturel de la commune est constitué essentiellement de la forêt dense à l'orée du massif d'Akfadou qui occupe 66.80% de la commune dont les altitudes varient de 1000 à 1550 m. La forêt est dominée par le chêne zeen, le chêne Afare, et le chêne liège. A noter qu'il existe au niveau du village Mehaga une entreprise des travaux forestiers "Rabhi" pour l'exploitation forestière en plus de l'extraction du bois de chauffage.

### **1.1.5. Description du site d'étude**

La station-service d'Idjeur est située au niveau de la commune d'Idjeur. Le site d'étude au niveau de la station d'Idjeur présente une pente d'environ 40 % et se situe à une altitude de 470 mètres. La station-service est entourée d'une dense forêt et se situe près d'un cours d'eau qui diverse dans Assif Ouserdoune (Figure 5).

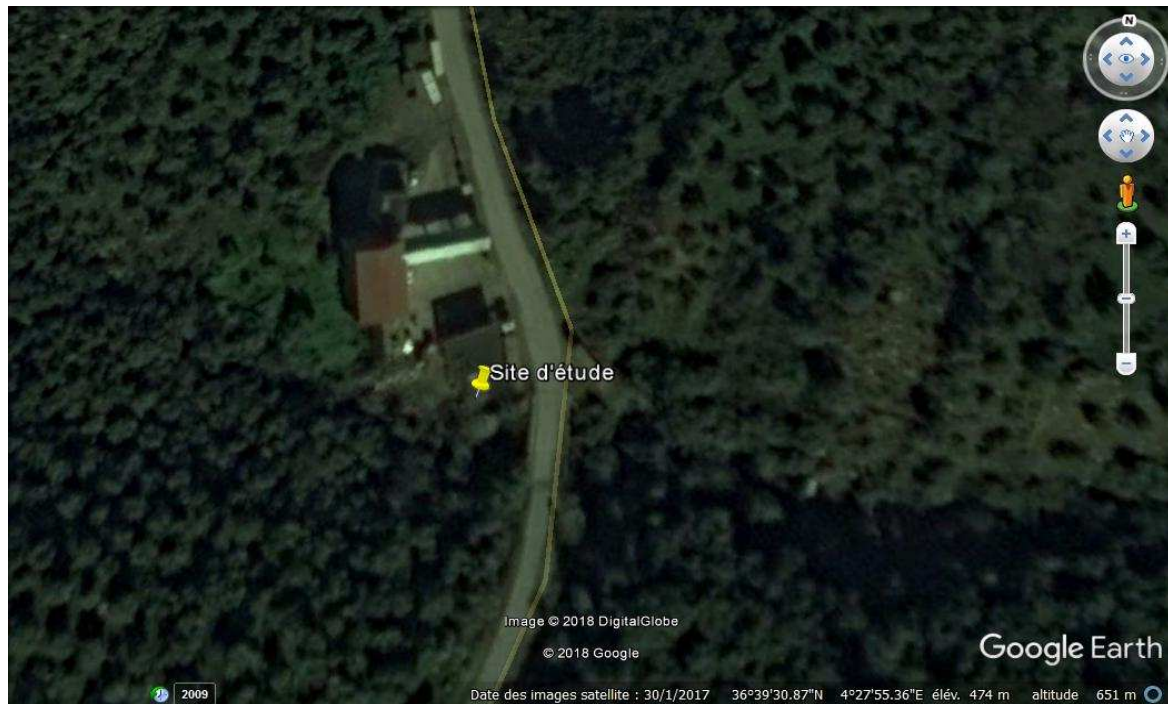


Figure 5. Localisation du site d'étude au niveau de la station-service d'Idjeur (Google earth, 2017).

## 1.2. Région de Fréha

La description de la commune s'appuie sur le rapport du PDAU de la commune de Fréha de l'année 2011.

### 1.2.1. Situation géographique et administrative

La commune de Fréha est située à 30 km de Tizi-ouzou et à 130 km d'Alger. Elle est distante de 11 km d'Azazga. Elle est accessible à partir des routes nationales n°12 et n°73. C'est une commune située à proximité de la bande côtière à 20 km de la mer (commune d'Azeffoun). Le territoire de la commune de Fréha s'étend sur une superficie de 68,55 km<sup>2</sup>. Il est situé en partie, sur le bassin versant Sud de la chaîne côtière. L'altitude moyenne de la commune est de 350 m.

### 1.2.2. Relief et pentes

Le territoire de la commune présente une géographie à double aspect à savoir :

- Les plaines : Elles représentent 73% du territoire de la commune, situées sur la vallée de l'oued Sebaou. Elles sont réputées être des terres agricoles à haut rendement ; c'est en considération de cet aspect dont le but est de promouvoir l'agriculture que le territoire a été érigé en commune à vocation essentiellement agricole.

- Les montagnes (Collines) : Elles représentent 27% du territoire de la commune ; sur lesquelles la plupart des villages sont implantés.

La topographie de la commune alterne entre un relief de colline avec une altitude moyenne de 350 mètres et une topographie de plaines le long de l'Oued Sebaou et de l'Oued Diss.

La commune de Fréha compte sur son territoire des oueds et cours d'eaux dont les principaux sont :

- L'Oued Sebaou : Il constitue la limite Sud de la commune.
- L'Oued Diss : C'est un cours d'eau de moindre importance qui couvre l'agglomération de Fréha et se déverse sur l'Oued Sebaou dont il constitue un affluent notable.

### **1.2.3. Climat**

Le climat de la commune est méditerranéen de type continental avec des hivers très froids et des étés très chauds.

- Température en hiver : inférieure à 10°
- Température en été : supérieure à 35°

La pluviométrie est concentrée généralement sur la période hivernale. Les précipitations au niveau de la commune sont de l'ordre de 850 mm / an, ce qui est proche de la moyenne de la Wilaya.

### **1.2.4. Végétation**

Fréha est principalement une région agricole caractérisée par des formations herbacées dominées par les graminées mais aussi par les cultures fruitières tel que le figuier, le poirier, l'oranger et la vigne, des cultures maraichères tel que la pomme de terre, le haricot vert et la pastèque ainsi que des cultures céréalières et fourragères (Nemer, 2014).

### **1.2.5. Description du site d'étude**

La station-service de Fréha est située au niveau de la commune de Fréha. Elle se situe à une altitude de 124 mètres. Les sites d'étude au niveau de la station de Fréha présentent une pente d'environ 5 %. La station-service se situe à proximité de champs agricoles (culture fourragère et agrumes notamment) (Figure 6).



Figure 6. Localisation des sites d'études 1 et 2 au niveau de la station-service de Fréha

(Google earth, 2017).



**Chapitre III : Matériel et  
Méthodes**

## **Introduction**

A travers cette étude, nous essayerons de faire ressortir les variations potentielles des propriétés physico-chimiques des sols selon un gradient de pollution généré par les rejets de stations-service. Ces rejets sont pollués par des produits pétroliers (gasoil et essence notamment).

### **1. Etude préliminaire sur les sites d'étude**

Des enquêtes préalables au niveau de plusieurs stations-services ont été effectuées. Ces enquêtes ont eu pour but de sélectionner les sites d'étude en prenant en compte plusieurs critères :

- Existence d'un milieu naturel non bétonné et suffisamment grand pour servir de site d'étude, près de la station-service ;
- Existence de rejets pollués par des produits pétroliers qui se déversent vers ce milieu naturel ;
- Existence d'un gradient de pollution par les produits pétroliers.

## **2. Méthode d'échantillonnage**

### **2.1. Dispositif expérimental**

La méthode d'échantillonnage choisie pour mener l'étude est l'échantillonnage par transect. Grâce à ces transects, il est possible d'étudier les changements dans les propriétés du sol à travers le gradient de pollution.

Des échantillons représentatifs d'un transect doivent être prélevés lorsque les hypothèses de travail indiquent un fort gradient de pollution (le long d'une route). Le transect de prélèvement est choisi perpendiculaire au gradient attendu, avec des échantillons simples et régulièrement espacés. La longueur et la forme d'un transect dépendent des hypothèses faites au sujet de la pollution (Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP Berne, 2003).

Les échantillons ont été prélevés dans sept strates (de D1 à D7) pour chaque station à distance homogène en partant du point de rejet (figure 7)

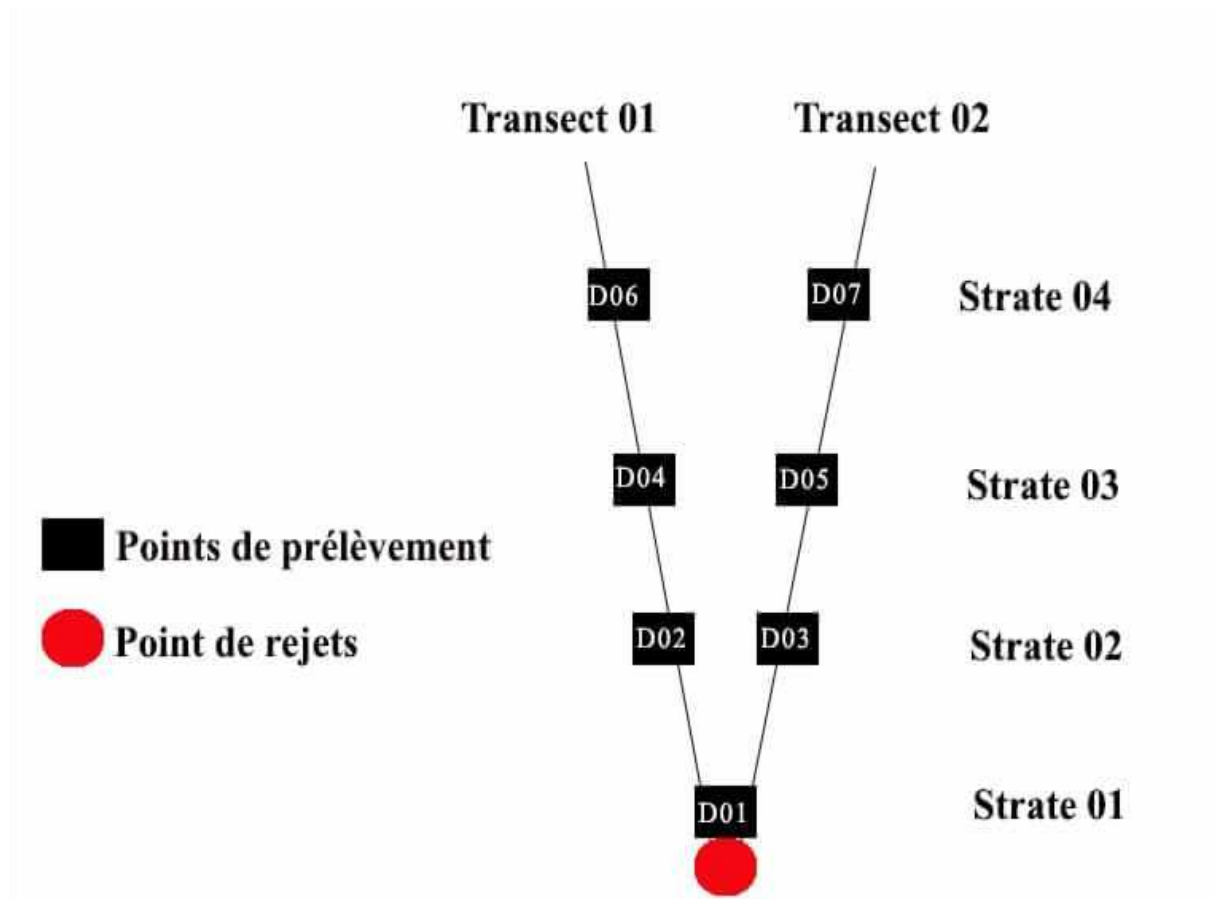


Figure 7. Schéma de la méthode d'échantillonnage effectuée (Original, 2018).

## 2.2. Prélèvement et conditionnement des échantillons

Deux transects sont retenus pour chaque site d'études, et quatre prélèvements de sol sont faits le long de chaque transect. Le premier prélèvement est commun aux deux transects et se situe au niveau du point de rejet.

La distance moyenne entre chaque prélèvement est de deux mètres. Les prélèvements se font au niveau d'une surface de 30 X 30 cm<sup>2</sup>, à une profondeur de 20 cm qui correspond à un prélèvement dans la couche supérieure du sol.

Les échantillons d'un transect sont des échantillons composés d'échantillons simples de la couche supérieure du sol prélevés sur une ligne (Hammann *et al*, 2003).

Pour les échantillons de surface, l'EPA préconise une surface minimale d'échantillonnage d'environ 30 x 30 cm<sup>2</sup> (Pellet et Laville-Timsit, 1993).

Pour chaque prélèvement, 500 g de terre sont prélevés et sont mis dans un sac hermétique avant d'être placé dans un réfrigérateur à une température de 4° C en attendant d'être soumis aux différentes analyses .

### 3. Analyses physico-chimiques des échantillons

Les différentes analyses physicochimiques des échantillons du sol ont été réalisées au laboratoire de l'institut national de la recherche forestière (INRF) de Bainem.

#### 3.1. Granulométrie

Elle exprime la teneur en argile, limon fin, limon grossier, sable fin et sable grossier dans le sol. L'analyse granulométrique est réalisée par la méthode internationale qui procède par dispersion des argiles par l'hexamétaphosphate de sodium. Ensuite, les argiles et limons fins sont prélevés par la pipette de Robinson et les limons grossier et sables grossiers sont obtenus par tamisage. Ces éléments du sol ont pu être quantifiés en pourcentage, et la texture en fin de comptes, est obtenue grâce au triangle des textures (figure 9) dont les trois cotés correspondent respectivement aux pourcentages des éléments de sol calculés.

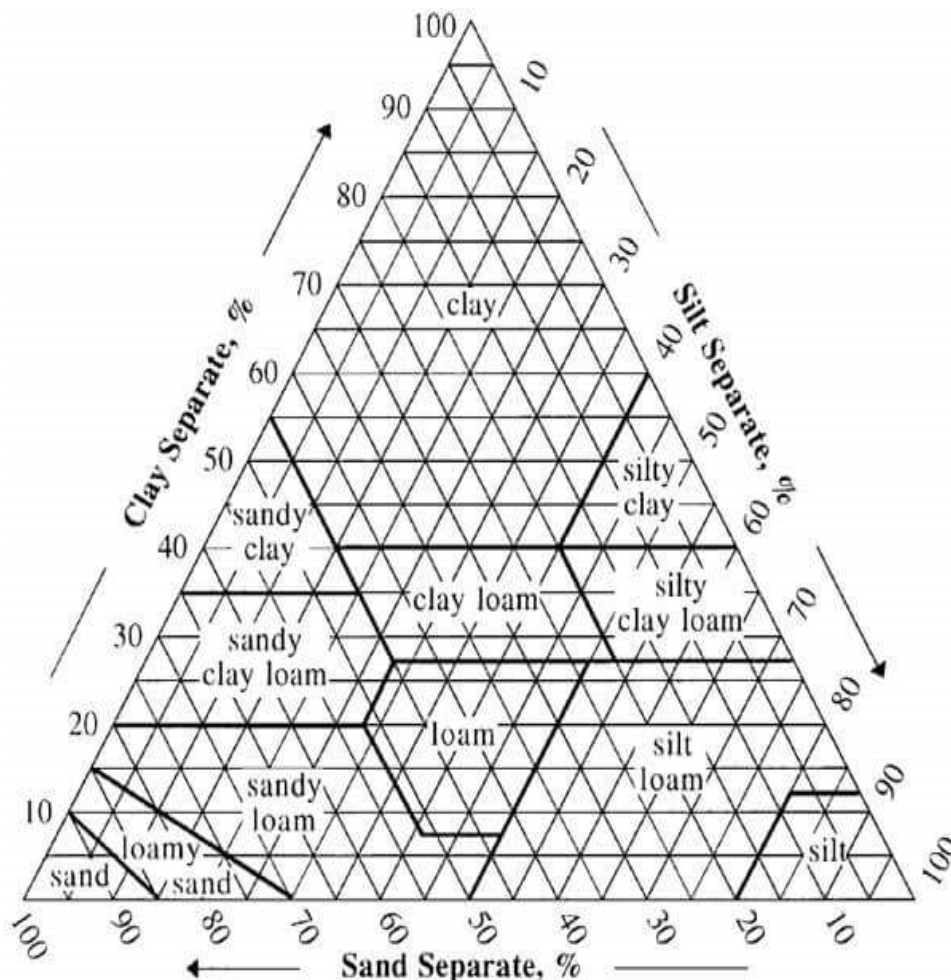


Figure 9. Triangle des textures (United States Department of Agriculture, 2018).

### 3.2. pH

La méthode plus exacte pour mesurer le pH d'un sol consiste à utiliser un pH mètre électrique qui donne directement la valeur du pH quand on plonge l'électrode en verre dans une solution obtenue en mélangeant l'échantillon du sol avec de l'eau distillée.

Le travail consiste à former une suspension de 20 g de sol dissous, à l'aide d'un agitateur pendant 30 mn dans 50 ml d'eau distillée. Après l'agitation on procède à la lecture du résultat après 5 mn de repos de la suspension.

### 3.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présent dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinité. La conductivité d'une solution est définie comme l'inverse de la résistance d'un volume de 1,0 cm<sup>3</sup> de solution.

Pour déterminer la CE d'un sol, on procède à la mise de 10 g de terre fine dans un bicher de 100 ml, on rajoute 50 ml d'eau distillée, et on met le bicher sous agitation pendant une demi-heure. Après repos de 5 mn on mesure la conductivité électrique à l'aide d'un conductimètre qui est exprimée en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 3.4. Humidité

La méthode qui détermine l'humidité du sol consiste à déterminer le poids humide et le poids sec d'un échantillon de terre. Le réglage est obtenu en mettant l'échantillon à l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant (généralement 24 h) ensuite le taux d'humidité est calculé par la formule suivante :

$$\text{Humidité \%} = \frac{P_1 - P_2}{P_2} * 100$$

P<sub>1</sub>= poids de l'échantillon de terre séché à l'air libre.

P<sub>2</sub>= poids de l'échantillon de terre séché à l'étuve.

### 3.5. Calcaire total

On décompose par un acide fort (acide chlorhydrique 5 ml) le carbonate de calcium contenu dans l'échantillon de terre (0.5 g) et on mesure le volume de gaz carbonique dégagé par la réaction à la température et à la pression atmosphérique. Le volume de gaz carbonique dégagé lors de la réaction est mesuré à l'aide d'une burette à gaz (le calcimètre de Bernard). Un poids connu de carbonate de calcium (0.3g) est traité de la même manière. En comparant les deux volumes, on détermine le taux de carbonates exprimé en carbonate de calcium dans l'échantillon de sol.

### 3.6. Carbone organique

Le carbone organique est déterminé par la méthode ANNE (méthode à chaud), qui consiste à oxyder le carbone par une solution de bichromate de potassium (10 ml) en milieu sulfurique (15 ml), et doser la quantité de bichromate non réagi par le sulfate ferreux (sel de mohr). Ce dosage en retour permet donc de calculer la quantité de bichromate qui a été neutralisé par le carbone organique.

### 3.7. Matière organique

Le dosage de la matière organique est réalisé à partir du dosage de l'un de ses constituants qui est le carbone organique. Le passage de la teneur en carbone organique total à la matière organique totale s'effectue en multipliant la teneur en carbone total par le coefficient 1.72. Le taux de carbone de la matière organique étant estimé à 58%.

D'où  $\% C \times 1.72 = \% MO$ .

### 3.8. Hydrocarbures

L'analyse de la Teneur en Hydrocarbures Totaux a été réalisée dans le laboratoire de synthèse pétrochimique de la faculté des hydrocarbures et de la chimie, à l'université M'hamed Bouguera à Boumerdes.

La méthode utilisée est la technique ASTM D 7678. Test standard pour le dosage des huiles total et graisses et les hydrocarbures pétroliers totaux avec extraction par un solvant en utilisant la spectroscopie IR (Mid-IR Laser Spectroscopy).

En raison de non disponibilité du matériel pour la réalisation de cette analyse d'hydrocarbures à l'université Mouloud Mammeri, nous n'avons réussi à effectuer les analyses que pour une seule station. Nous avons choisi la station de Freha II, car elle illustre le mieux le gradient de pollution (visuellement parlant).

## 4. Analyses statistiques

Les résultats concernant les paramètres physico-chimiques et la Teneur en Hydrocarbures Totaux des échantillons de sol des trois stations, ont fait l'objet d'analyses de la variance (ANOVA) et du test de Kruskal-Wallis lorsque la normalité est non vérifiée. La normalité des données a été vérifiée par le test de Shapiro-will, avec une P-value  $>0.05$  pour chaque paramètre étudié. Une ACP ainsi que le coefficient de Pearson ( $r$ ) ont aussi été réalisés pour la station 03. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Statistica



**Chapitre VI : Résultats et  
Discussion**

## 1. Résultats

### 1.1 Propriétés physico-chimiques

L'objectif de l'étude des propriétés physico-chimiques des sols des trois stations, suivant le gradient de pollution dans les différentes strates, est de déterminer les effets des rejets des stations-services sur les propriétés du sol. Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau 1. En raison de non disponibilité temporaire de l'appareil pour le dosage de l'azote total à l'INRF de Bainem, il nous a été impossible d'effectuer cette analyse.

Tableau 1. Les résultats des différentes analyses physico-chimiques des sols des trois stations (Idjeur, Fréha I et Fréha II).

Station	Strate	pH	A%	L%	S%	CT%	CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	C%	MO%	HR%
S1	D1	7,6	28,35	34,82	36,82	5,63	0,42	1,03	1,78	4,6
S1	D2	8,2	36,7	36,33	26,97	5,63	0,34	0,23	0,39	5,1
S1	D2	8,2	41,8	40,18	18,02	8,13	0,43	0,15	0,26	6,15
S1	D3	8,4	39	34,27	26,73	3,13	0,38	0,46	0,79	5,48
S1	D3	8,4	33,45	35,58	30,97	2,5	0,34	0,77	1,32	6,24
S1	D4	8,2	38,5	23,7	37,81	3,44	0,4	0,15	0,26	4,98
S1	D4	8,2	22,4	26,8	52,4	0	0,32	0,08	0,13	6,61
S2	D1	7,4	3,55	43,9	52,55	0	0,18	0,92	1,58	0,97
S2	D2	7,4	4,1	31,5	64,39	0	0,54	0,38	0,66	1,64
S2	D2	8,5	8,45	30,4	61,15	0,94	0,63	0,46	0,79	1,64
S2	D3	8,1	5,65	31,48	62,87	0,94	0,16	0,77	1,32	2,91
S2	D3	7,9	4,2	31,52	64,27	0,94	0,88	0,69	1,19	6,35
S2	D4	8	9,5	28,64	61,86	20,16	0,88	0,61	1,05	3,86
S2	D4	8	2,35	23,01	74,64	1,88	0,89	0,53	0,92	2,05
S3	D1	7,9	2,95	13,15	83,9	20,16	0,48	1,53	2,64	0,95
S3	D2	8,2	5,95	31,9	62,15	1,88	0,41	1,38	2,38	2,16
S3	D2	8	12,5	24,36	63,06	1,88	0,4	1,20	2,06	2,18
S3	D3	7,7	5,35	31,81	62,83	1,41	0,47	0,84	1,45	2,59
S3	D3	7,9	5	31,62	63,37	1,41	0,25	0,92	1,58	1,99
S3	D4	7,9	9,5	26,68	63,82	0,94	0,23	0,69	1,19	1,48
S3	D4	7,9	4,1	41,93	53,97	1,41	0,42	0,30	0,52	1,82

### 1.1.1. Granulométrie

Les résultats de l'analyse granulométrique des sols des différentes stations (tableau 1), nous ont permis de déterminer la texture de chaque échantillon de sol. D'une manière globale, nous remarquons que la granulométrie est assez homogène à l'intérieur de chaque station et que la station d'Idjeur diffère des deux stations de Fréha.

#### Station 01 (Idjeur)

Selon les résultats présentés dans la figure 10, nous remarquons des proportions assez équilibrées. La strate 4 présente le taux le plus élevé de sable (45,10%). Les strates 2 et 3 présentent des taux d'argile et de limon plus importants.

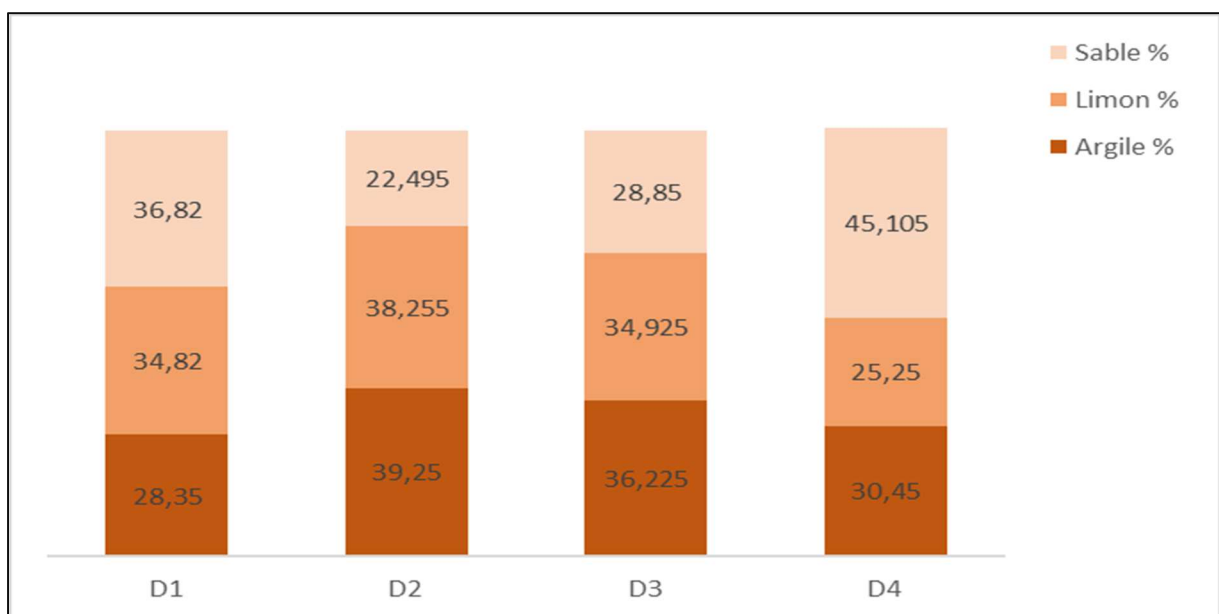


Figure 10. Composition granulométrique du sol de la station d'Idjeur selon le gradient de pollution.

#### Station 02 (Fréha I)

Dans cette station (figure 11), nous remarquons que le sable est l'élément le plus abondant avec plus ou moins 60%, suivis par le limon avec des valeurs avoisinant les 30%, l'argile vient en dernier avec des taux approchant les 5%.

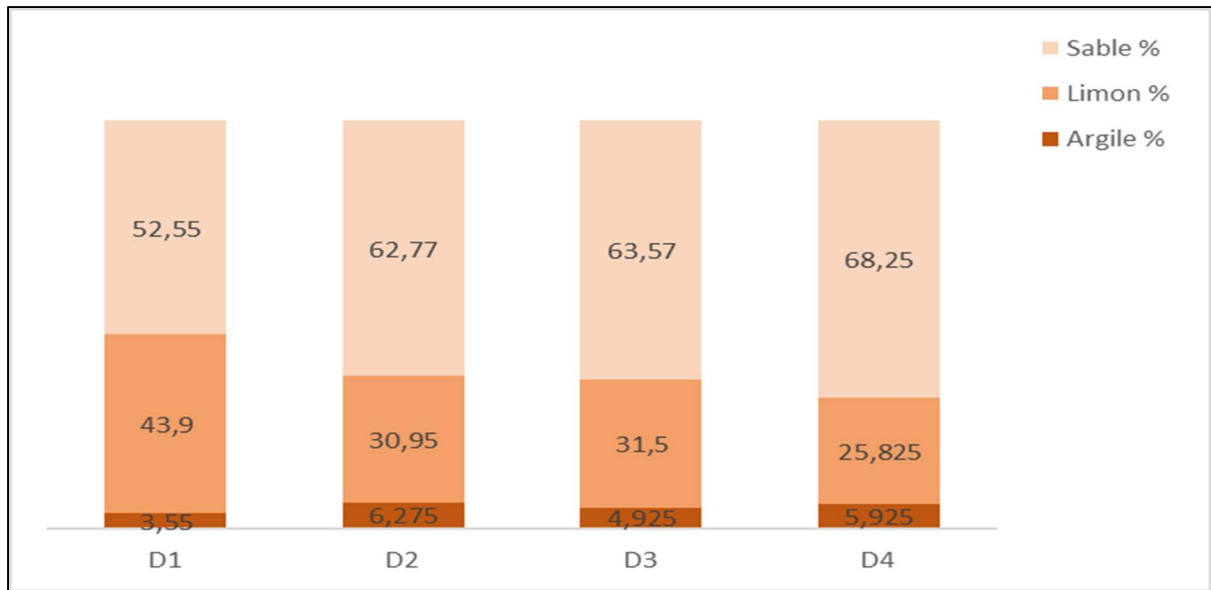


Figure 11. Composition granulométrique du sol de la station de Fréha I selon le gradient de pollution.

**Station 03 (Fréha II)**

D’après la figure 12, nous distinguons que les échantillons de toutes les strates renferment plus de sable. L’échantillon de la strate 01 présente la plus grande proportion en sable (83%) et la plus petite proportion en argile (2%). Quant aux trois autres strates (D2, D3 et D4), elles présentent des proportions approximatives de 60% de sable, 30% de limon et des valeurs approchant 5% pour l’argile.

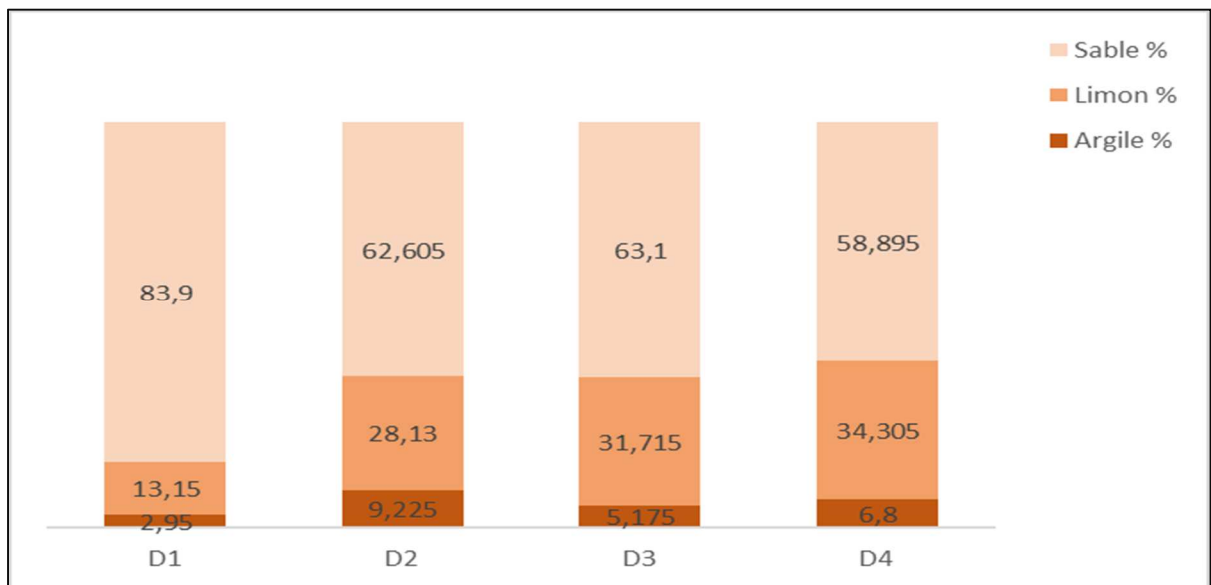


Figure 12. Composition granulométrique du sol de la station de Fréha II selon le gradient de pollution.

Pour déterminer les textures des différents échantillons (Tableau 2), nous avons utilisé le triangle de texture du département américain de l'agriculture (United States Department of Agriculture).

Tableau 2. Classification des textures des différents sols des trois stations.

<b>Station</b>	<b>Strate</b>	<b>Texture</b>
<b>Station 01</b>		
S1	D1	Limono-argileuse
S1	D2	Limon-argileuse
S1	D3	Argilo-limoneuse
S1	D4	Limono-argileuse
S1	D5	Limono-argileuse
S1	D6	Limono-argileuse
S1	D7	Limono-argilo-sableuse
<b>Station 02</b>		
S2	D1	Limono-sableuse
S2	D2	Limono-sableuse
S2	D3	Limono-sableuse
S2	D4	Limono-sableuse
S2	D5	Limono-sableuse
S2	D6	Limono-sableuse
S2	D7	Sablo-limoneuse
<b>Station 03</b>		
S3	D1	Sablo-limoneuse
S3	D2	Limono-sableuse
S3	D3	Limono-sableuse
S3	D4	Limono-sableuse
S3	D5	Limono-sableuse
S3	D6	Limono-sableuse
S3	D7	Limono-sableuse

Selon le tableau 2, les sols des stations 2 et 3 représentent des compositions granulométriques similaires (texture limono-sableuse) à l'opposé de la station 1 qui représente une texture limono-argileuse.

Aucune différence significative n'a été constatée pour l'argile l'ANOVA (Annexe 2). Par contre pour le limon, l'ANOVA montre des différences significatives pour les stations 01 et 02 et pas de différence significative pour la troisième station.

### 1.1.2. pH

Selon les résultats présentés dans la figure 13, le pH de la plupart des sols est proche de la neutralité. D'après le classement des sols par le laboratoire agronomique de Normandie (Annexe 1), nos échantillons sont classés soit en sol légèrement alcalin (de 7,4 à 7,8) ou moyennement alcalin (de 7,9 à 8,4). Il paraît que la pollution générée par ces stations-service n'a pas d'impact significatif sur le pH de ces sols vu les résultats du test de Kruskal-Wallis pour la station 1 et l'ANOVA pour les stations 2 et 3 (Annexe 2) qui confirment qu'il n'y pas de différence ( $p\text{-value} > 0.05$ ) entre les strates polluées et non polluées.

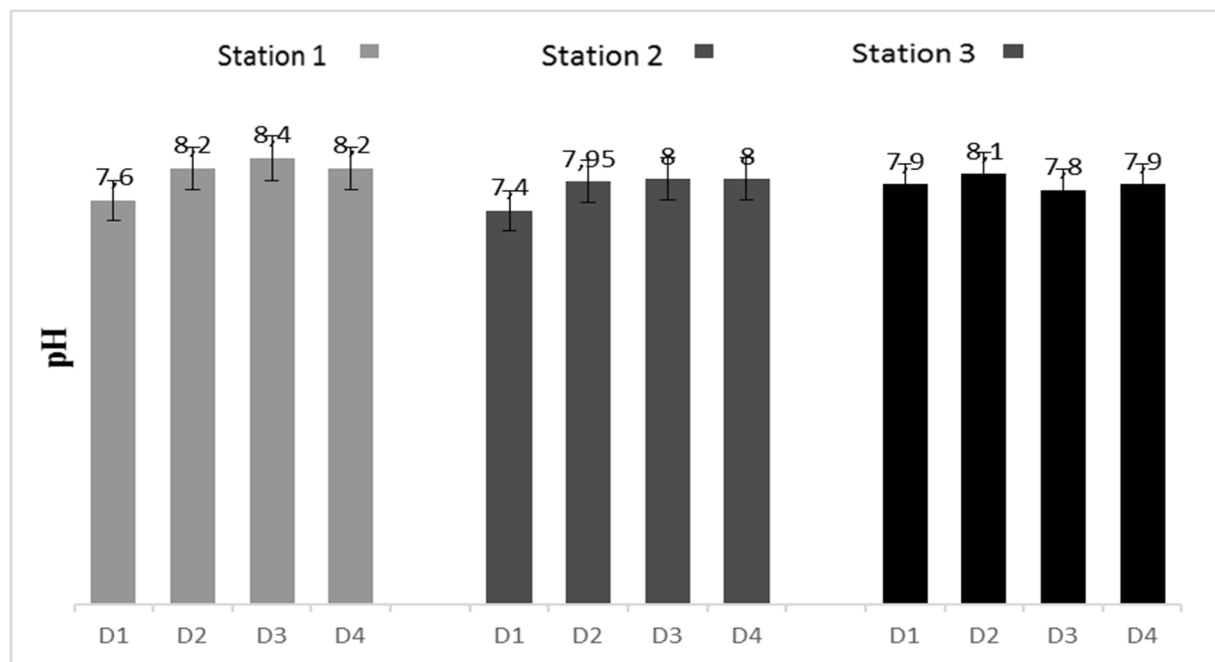


Figure 13. Le taux du pH des sols des trois stations Idjeur, Fréha I et Fréha II.

### 1.1.3. Conductivité électrique

Selon la figure 14, les valeurs de la conductivité ont tendance à décroître dans les stations 1 et 3 contrairement aux valeurs de la station 2 qui sont plutôt croissantes. Selon l'échelle de Durand (1983) (Annexe 1), nos échantillons de sol sont considérés non salés. La

valeur maximale a été enregistrée dans les échantillons de la strate 04 de la station 2 (0.88  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et la valeur minimale est de 0,18  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de la même station de la strate 01. D'après le test ANOVA (Annexe 2), nous remarquons que les rejets des stations-service n'ont pas d'effets significatifs ( $p\text{-value} > 0.05$ ) sur la conductivité électrique.

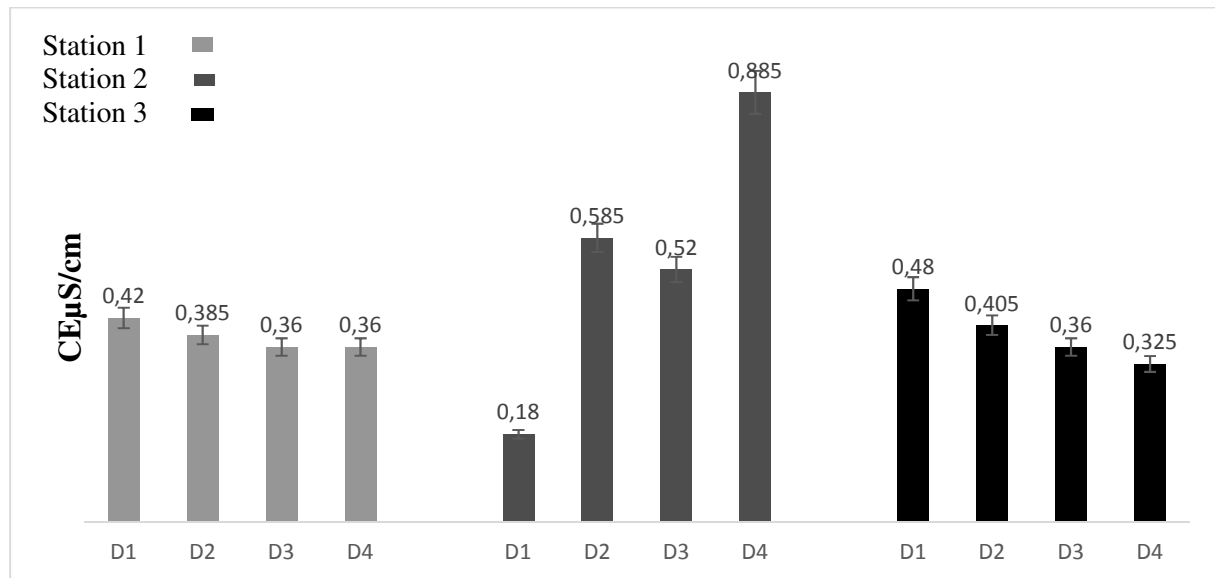


Figure14. Le taux de la CE des sols des trois stations Idjeur, Fréha I et Fréha II.

#### 1.1.4. Humidité

La figure 15 représente le taux d'humidité des sols dans les trois stations. Le taux d'humidité augmente dans toutes les stations. Nous remarquons que les valeurs se présentent avec de grands écarts dans la station 2, là où nous avons enregistré les valeurs maximale (7,95%) et minimale (0,97%), inversement aux stations 1 et 3 qui présentent des valeurs plutôt voisines. Le test de l'ANOVA (Annexe 2), montre que l'humidité du sol n'est pas significativement ( $p\text{-value} > 0.05$ ) influencée par les rejets engendrés par les stations-services.

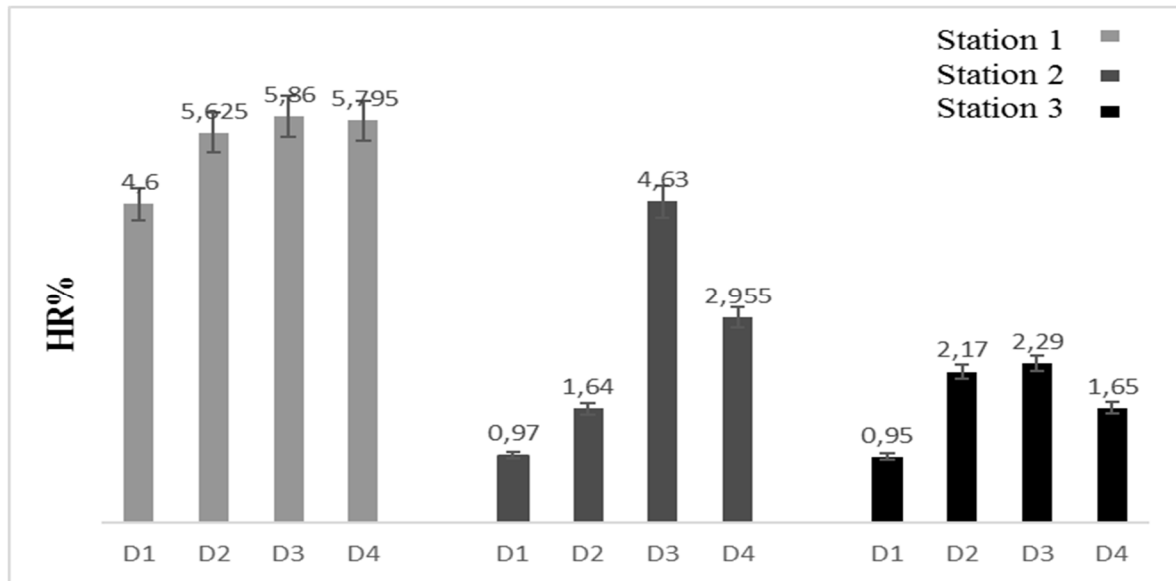


Figure 15. Le taux d'humidité des sols des trois stations Idjeur, Fréha I et Fréha II.

### 1.1.5. Calcaire total

Les résultats des analyses du calcaire total (figure 16) montrent que le taux de calcaire fluctue dans toutes les stations entre un sol faiblement calcaire et modérément calcaire selon GEPPA (1981) (Annexe 1). Nous ne pouvons pas distinguer une quelconque tendance entre les différentes strates. La valeur maximale (20,16%) a été enregistrée dans la strate 01 de la station 3 tandis que la valeur minimale qui est de 0% a été notée dans la strate 01 de la station 2. Le test de l'ANOVA pour la station 1 et de Kruskal-Wallis pour les stations 2 et 3 (Annexe 2) ont montré que les rejets des stations-service n'influent pas ( $p$ -value  $>0.05$ ) sur le taux de calcaire dans le sol.

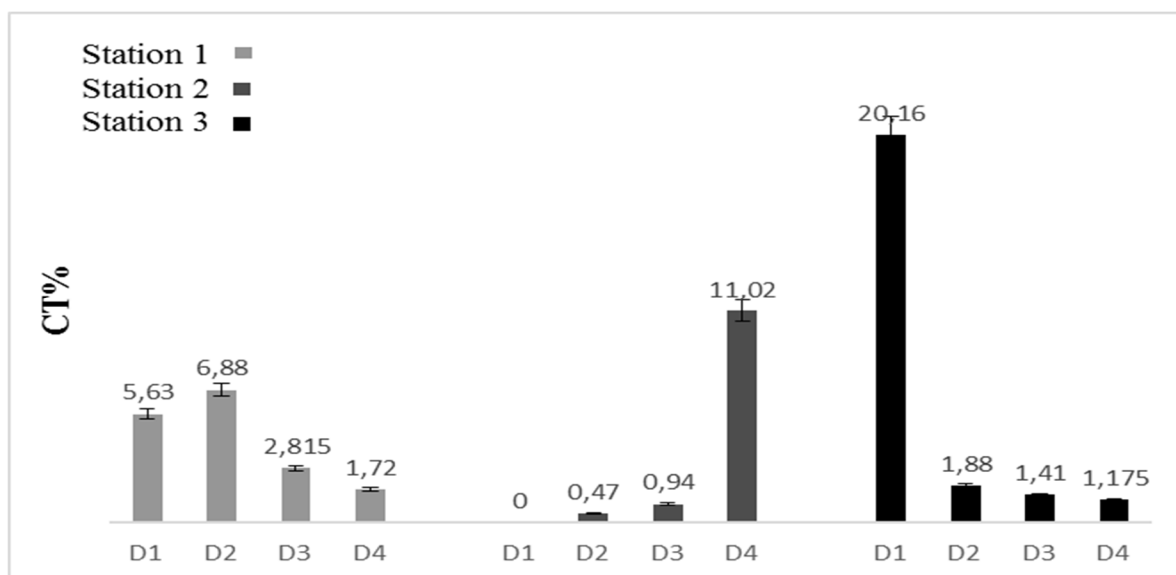


Figure 16. Le taux de calcaire total des sols des trois stations Idjeur, Fréha I et Fréha II.

### 1.1.6. Carbone

Comme la figure 17 le montre, les valeurs du carbone dans les trois stations sont plus élevées dans les premières strates avec des taux respectivement de 1,03, 0,92 et 1,53%. Le taux de carbone diminue dans les strates les moins polluées. La valeur maximale a été notée dans la strate 01 de la station 03. Quant à la valeur minimale, elle a été notée dans la strate 04 de la station 01. Le test de l'ANOVA (Annexe 2) a révélé une différence significative ( $p$ -value < 0.05) suggérant une influence des rejets des stations-services sur la teneur en carbone des sols.

Le test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5% (Annexe 2), fait apparaître deux groupes homogènes pour la station 1, dans le groupe 1 sont classées les strates D2, D3 et D4, dans le groupe 2 sont classées les strates D1 et D3. Pour la station 2 ce test classe toutes les strates dans un seul groupe homogène. Et pour la station 3, il fait apparaître deux groupes homogènes, dans le premier sont classées les strates D2, D3 et D4 et dans le deuxième sont classées les strates D1, D2 et D3. À propos de la comparaison entre les stations, le test de Newman-Keuls classe les stations 2 et 3 dans le groupe 1 et la station 1 dans le groupe 2.

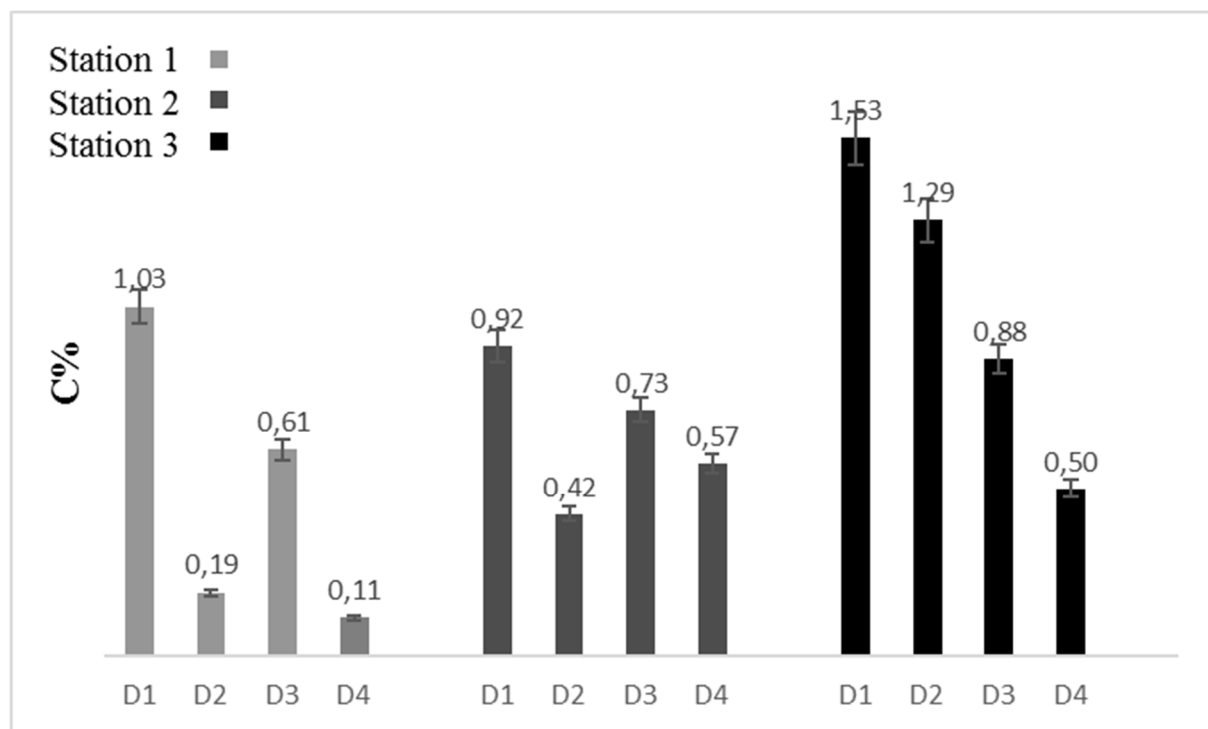


Figure 17. Le taux de carbone des sols des trois stations Idjeur, Fréha I et Fréha II.

### 1.1.7. Matière organique

La teneur en matière organique des échantillons des trois stations est comprise entre 0.19 et 2.64% (figure 18). Les taux les plus élevés sont enregistrés dans les strates les plus polluées (2.64%, dans la strate 01 de la station 3). Les teneurs les plus faibles ont été observées

dans les strates les moins polluées (0.19% dans la strate 04 de la station 01). Le test de l'ANOVA (Annexe 2), a révélé une différence significative ( $p$ -value < 0.05) suggérant une influence des rejets des stations-services sur la teneur en matière organique des sols.

En complément du test de l'ANOVA, le test de Newman-Keuls au seuil de 5% (Annexe 2), fait apparaître 2 groupes pour la station 1, dans le premier sont classées les strates D2, D3 et D4 et dans le deuxième sont classées les strates D1 et D3. Dans la station 2, il fait apparaître trois groupes homogènes, il classe les strates D4 et D2 dans le premier, les strates D4 et D3 dans le deuxième et les strates D1, D2 et D3 dans le dernier. Concernant la comparaison entre stations, ce test fait apparaître 2 groupes homogènes dans le premier groupe sont classés la station 1 et 2 et pour le deuxième groupe est classé la station 3.

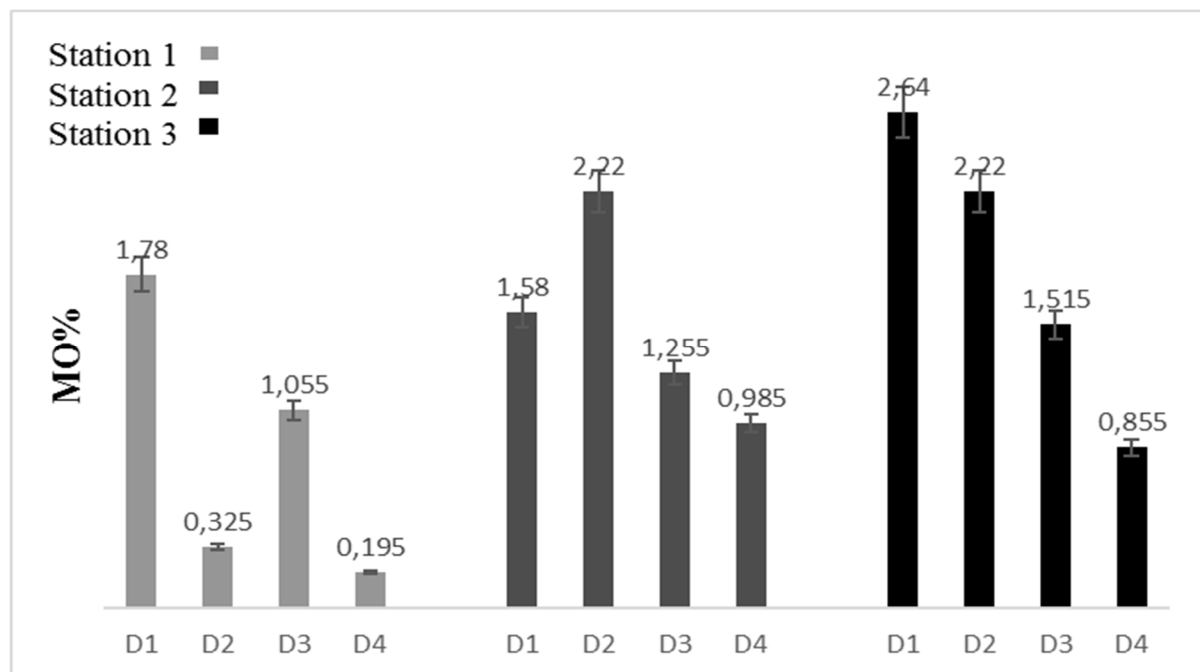


Figure 18. Le taux de matière organique des sols des stations Idjeur, Fréha I et Fréha II.

## 1.2. Hydrocarbures

Contrairement aux analyses effectuées par rapport aux autres paramètres, le dosage des hydrocarbures n'a concerné qu'une seule station d'étude.

En effet, vu le grand nombre d'échantillons à analyser (21 échantillons pour les 03 stations) et le coût élevé du dosage des hydrocarbures totaux, le nombre d'échantillon a finalement été limité à ceux de la station 03 (Où la pollution par les hydrocarbures fut la plus apparente visuellement). Les teneurs en hydrocarbures pour la station 03 sont présentées dans le tableau

03. Les valeurs sont présentées en Mg/Kg. Pour les deux échantillons de la strate 04, les résultats indiquent des valeurs au-delà de la limite de détection possible.

Tableau 3. Teneur en Hydrocarbures Totaux de la station 3 (Fréha II).

Strate	THT (mg/Kg)	Observations
D1	338,62	
D2	228,34	
D3	104,63	
D4	10,83	
D5	28,95	
D6	Traces	Au-delà de la limite de détection
D7	Traces	Au-delà de la limite de détection

D'après nos résultats (figure 19), nous remarquons que la teneur en hydrocarbures totaux dans les sols montre une décroissance en partant de la première strate, au point où elle n'atteint pas la limite de détection dans la strate 04. La valeur maximale (338 mg/Kg) est enregistrée dans la strate 01. Le test de l'ANOVA (Annexe 2) a révélé l'existence d'une différence significative (p-value <0.05).

Le test de Newman-Keuls (Annexe 2) au seuil de 5% fait apparaître 2 groupes homogènes dans le groupe 1 sont classées les strates D2, D3 et D4 et dans le groupe 2 sont classées les strates D1 et D2.

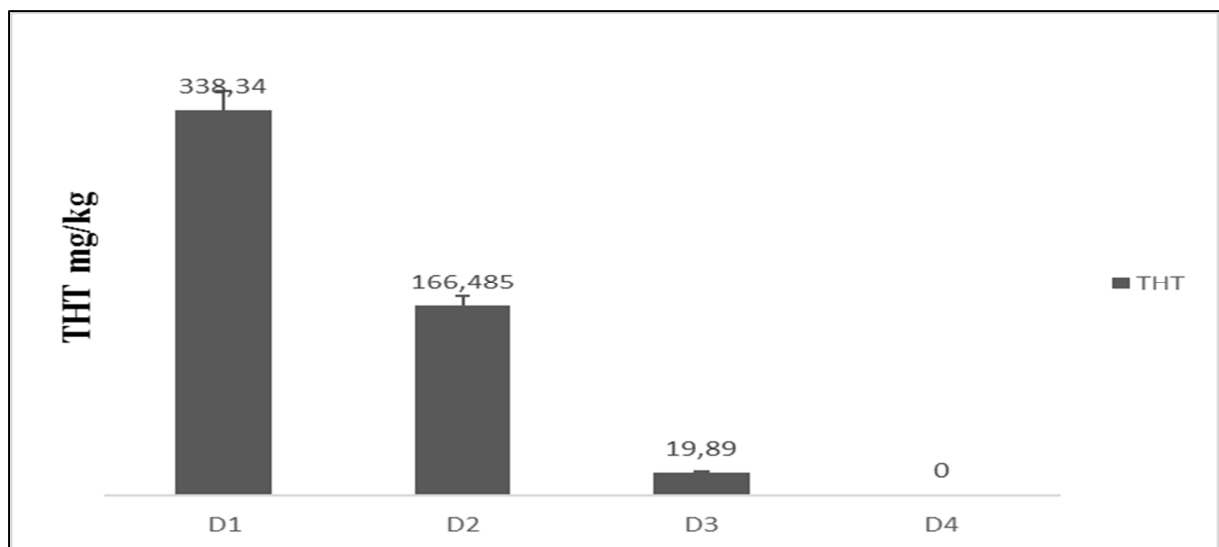


Figure 19. La teneur en hydrocarbures totaux du sol de la station 3 (Fréha II).

### 1.2.1. Analyse en composantes principales (ACP)

Cette analyse a pour objet d'étudier la relation qui existe entre la teneur en Hydrocarbures totaux et les paramètres physico-chimiques du sol de la station 3. Les résultats sont illustrés dans les figures 20 et 21.

- Les strates 02 et 03 représentent le mieux le pH.
- La strate 01 représente le mieux le calcaire total, le sable, la teneur en hydrocarbures et en carbone.
- L'axe 01 explique l'influence de la pollution par les hydrocarbures sur les différentes strates. D'une manière générale, la zone 01 (la plus polluée), se démarque de toutes les autres, les zones 02 et 03 (moyennement polluées) forment un groupe et enfin les zones 04, 05, 06 et 07 (zones peu polluées et non polluées) forment aussi un groupe.
- L'axe 02 pourrait être expliqué par les teneurs en argile et en pH (La zones 02 et 03 ayant les valeurs les plus grandes comparées aux autres zones).

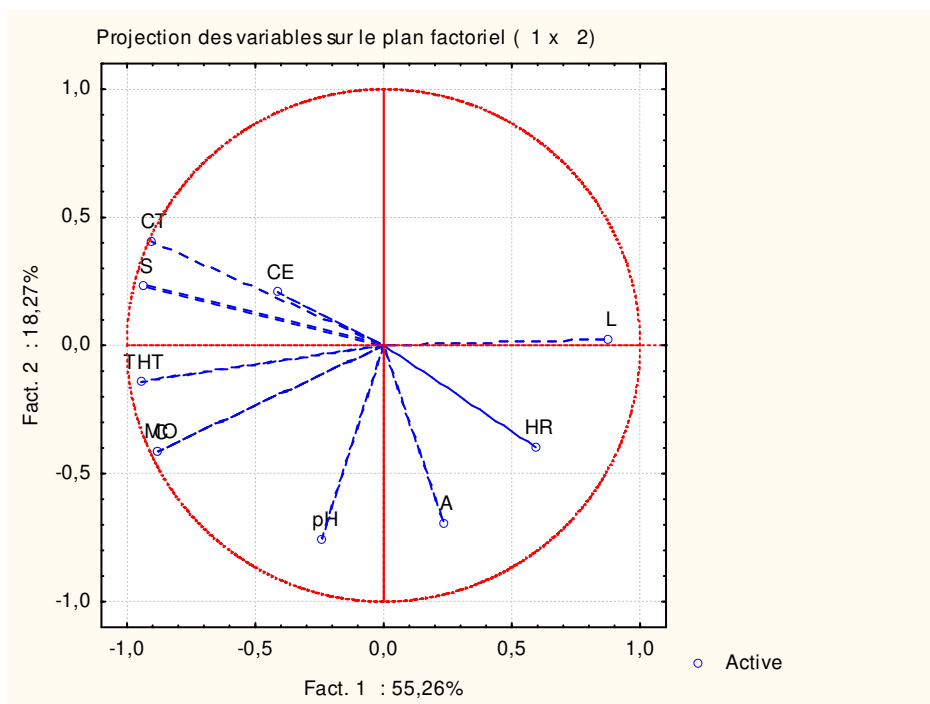


Figure 20. Graphe ACP (Variables) pour la THT et les paramètres physicochimiques du sol de la station 3 (Fréha II).

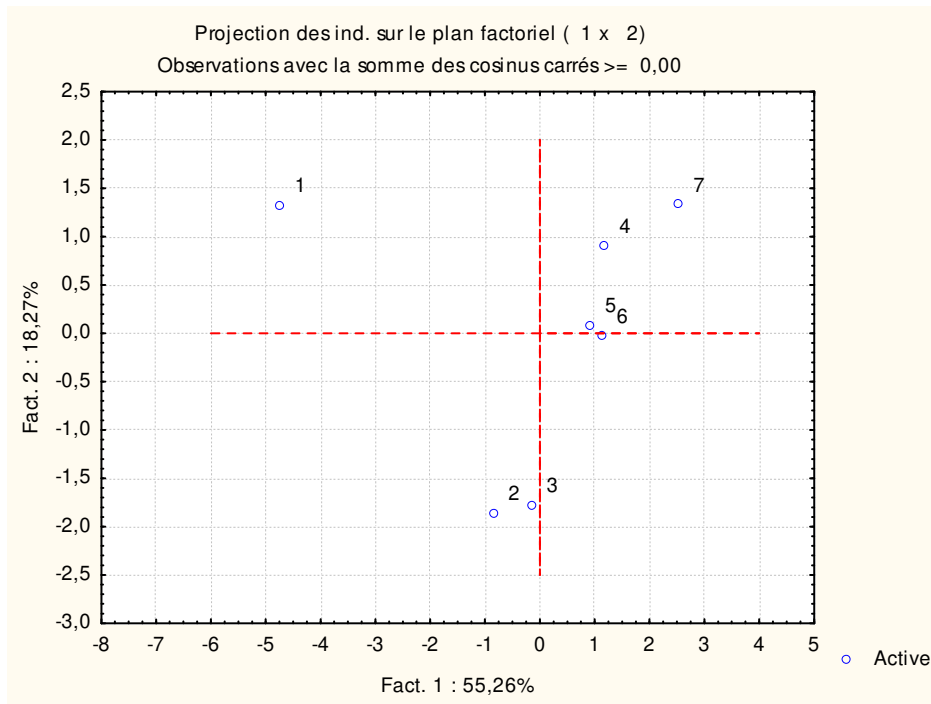


Figure 21. Graphe ACP (Individus) pour la THT et les paramètres physicochimiques du sol de la station 3 (Fréha II).

**1.2.2. Coefficient de corrélation de pearson (r)**

Les coefficients de Pearson ont été calculés pour la station 03. Les résultats sont indiqués dans le tableau 04.

Tableau 4. Matrice des corrélations pour la station 03.

Variables	THT	pH	A	L	S	CT	CE	C	MO	HR
<b>THT</b>	1,00	0,48	-0,27	-0,69	<b>0,77</b>	<b>0,80</b>	0,50	<b>0,88</b>	<b>0,88</b>	-0,49
<b>pH</b>	0,48	1,00	0,22	-0,01	-0,07	-0,06	-0,08	0,45	0,45	-0,06
<b>A</b>	-0,27	0,22	1,00	-0,10	-0,27	-0,46	-0,35	0,02	0,01	0,27
<b>L</b>	-0,69	-0,01	-0,10	1,00	<b>-0,93</b>	<b>-0,78</b>	-0,15	<b>-0,77</b>	<b>-0,77</b>	0,59
<b>S</b>	<b>0,77</b>	-0,07	-0,27	<b>-0,93</b>	1,00	<b>0,93</b>	0,28	0,74	0,74	-0,67
<b>CT</b>	<b>0,80</b>	-0,06	-0,46	<b>-0,78</b>	<b>0,93</b>	1,00	0,46	0,60	0,60	-0,75
<b>CE</b>	0,50	-0,08	-0,35	-0,15	0,28	0,46	1,00	0,33	0,33	0,09
<b>C</b>	<b>0,88</b>	0,45	0,02	<b>-0,77</b>	0,74	0,60	0,33	1,00	<b>1,00</b>	-0,21
<b>MO</b>	<b>0,88</b>	0,45	0,01	<b>-0,77</b>	0,74	0,60	0,33	<b>1,00</b>	1,00	-0,21
<b>HR</b>	-0,49	-0,06	0,27	0,59	-0,67	-0,75	0,09	-0,21	-0,21	1,00

Les valeurs surlignées en rouge indiquent des coefficients significatifs.

Les paramètres tel que l’humidité, la CE, l’argile et le pH ne présentent aucun coefficient significatif.

## 2. Discussion

Les résultats de l'analyse granulométrique des sols des trois stations nous ont révélé une texture limono-argileuse pour la première station et une texture limono-sableuse pour la deuxième et la troisième station. Ceci serait dû au fait que dans la station de Fréha, chaque année, la couche superficielle du sol est excavée pour être remplacé par du remblais, ce qui n'est pas le cas pour la station d'Idjeur. Ceci expliquerait probablement aussi la corrélation positive existante entre les THT et le sable.

Les tests statistiques ont démontré une différence significative pour le limon et une corrélation négative entre ce dernier et le carbone ainsi que la teneur en hydrocarbures. Nos résultats convergent avec ceux de Dazy *et al.* (2009) qui ont observé des différences pour le limon et pas de différence pour l'argile et le sable. Cela ne suppose pas une influence des hydrocarbures ou de la teneur en carbone sur la teneur en limon, puisque ce dernier présente une forte corrélation avec le sable.

Le pH des sols s'approche de la neutralité dans toutes les stations, cependant nous distinguons une légère acidification dans les premières strates qui sont marquées par les taux de pH les plus faibles. Nos résultats se confrontent à ceux de Rhbal *et al.* (2010) qui ont rapporté que le pH des sols dans tous les sites étudiés est neutre mais plus faible dans les sols pollués.

La salinité globale du sol peut être exprimée par la conductivité électrique (CE). D'après les résultats que nous avons obtenus, les échantillons de sol de toutes les stations ne sont pas salés, donc la conductivité électrique n'a pas été influencée par les rejets des stations-service.

Le taux d'humidité augmente dans toutes les stations avec des valeurs différentes contrairement aux 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. Les valeurs sont plus élevées dans la station 01 comparée aux deux autres stations et cela peut être expliqué par sa texture argilo-limoneuse qui retient plus l'eau que la structure sablo-limoneuse, les tests de l'ANOVA et de Newman-Keuls ont révélé d'ailleurs des différences significatives concernant l'argile, le sable et l'humidité entre la station 01 d'un côté et les stations 02 et 03 de l'autre.

Les résultats des analyses du calcaire total n'ont révélé aucune tendance particulière entre les strates ni-même entre les stations. A l'opposé des résultats obtenus par Nemer (2014), nos résultats montrent que le taux de calcaire n'est pas modifié par les rejets des stations-

service. Ce dernier auteur affirme qu'il existe des rejets de lavage de voitures, alors que dans nos stations, il n'y a pas de rejets de lavage dans nos sites d'études, ce qui pourrait expliquer la différence observée. Une forte corrélation existe entre le sable et le calcaire total. En effet, le sable contenu dans le remblai rajouté chaque année contient de la chaux qui pourrait être à l'origine d'une augmentation de la teneur en calcaire.

Godwin *et al.* (2013) attestent que le taux de carbone a augmenté dans le sol pollué comparé au sol témoin. Les résultats que nous avons obtenus affirment aussi que le taux de carbone est plus élevé dans les strates polluées par rapport aux strates non polluées. Cela est en raison de l'apport d'hydrocarbures dans le sol par les rejets des stations-service. Le test de l'ANOVA couplé au test de Newman-Keuls révèlent des différences significatives entre la station 01 et la station 03.

La teneur du sol en matière organique dans les strates polluées est supérieure à sa teneur dans les strates non polluées. Le taux de matière organique est déterminé à partir du taux de carbone associé à un coefficient. Ceci explique que les quantités de carbone déterminées au niveau des sols ne seraient pas d'origine, c'est à dire contenus dans la matière organique qui s'est formé sur place. Elles proviendraient en majeure partie du carbone apporté par les hydrocarbures.

L'analyse en composantes principales (ACP) suggère que le taux de carbone et de matière organique sont influencés par l'apport en hydrocarbures dans le sol.

Selon les résultats obtenus, la teneur en hydrocarbures totaux est plus élevée dans les premières strates et n'est même pas détectable dans la dernière strate, ce qui confirme l'existence d'un gradient de pollution. Ceci est expliqué par la présence des hydrocarbures dans les produits rejetés par les stations-service (Gasoil et essence notamment).

Les teneurs en hydrocarbures totaux obtenues au niveau de la station 03, hormis la strate 04, indiquent toutes des valeurs élevées qui peuvent avoir des effets phytotoxiques sur la végétation. Saadoun et Al-Ghazawi (2010) ont remarqué un déclin 57.7-76.9% dans la germination d'une espèce végétale à 100 mg/kg de diesel et Baek *et al.* (2004) ont remarqué des effets phytotoxiques de 10–1000 mg/kg en HAP.



## **Conclusion et Perspectives**

## Conclusion et Perspectives

Les stations-services sont l'une des causes les plus importantes de pollution des sols par les produits pétroliers dans la région étudiée. Ce fût donc naturel de choisir ces installations pour mener notre étude.

En débutant ce travail de recherche, notre objectif consistait à étudier les propriétés physico-chimiques des sols à proximité des stations-service, ceci dans le but de déterminer les effets des rejets de ces dernières sur le sol le long d'un gradient de pollution. Ceci a été mis en évidence par le biais de différentes analyses physico-chimiques et la quantification des hydrocarbures totaux suivant différentes strates à différentes distances du point de rejet.

Comme nous l'avons déjà présenté dans nos résultats, certaines propriétés des sols étudiés ont été influencées par les rejets générés par les stations-service, tandis que d'autres propriétés n'ont pas montrées de différences significatives.

Des valeurs très élevées de quelques paramètres ont été observées au niveau des strates polluées, qui diminuent progressivement en s'éloignant du point de rejet jusqu'à atteindre les strates non polluées. Il s'agit du taux de matière organique, le taux de carbone et la teneur en hydrocarbures totaux. Le limon montre par contre une tendance inverse (Du moins dans les stations 01 et 02).

Par contre nous avons remarqué que pour les autres paramètres tels que le pH, l'argile, le sable, la conductivité électrique, l'humidité et le calcaire total, les valeurs ne présentent aucune tendance particulière.

L'analyse en composantes principales (ACP), a révélé une corrélation positive entre la teneur en hydrocarbures totaux, le taux de carbone et de matière organique. Ainsi qu'une corrélation négative entre ces derniers et le limon.

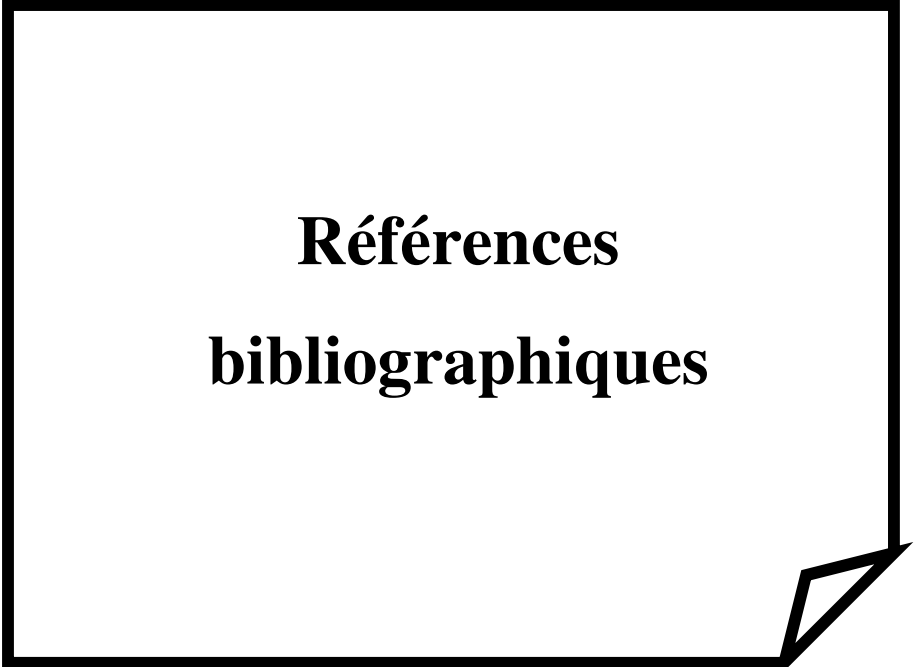
Les teneurs élevées en carbone sont probablement dus aux apports de cet élément par les hydrocarbures présents dans les rejets des stations-service. Cette modification peut avoir des effets négatifs sur les plantes. Quand les hydrocarbures contaminent le sol, la ration C/N est altérée. Le carbone ajouté, stimule le nombre de bactéries mais crée un déséquilibre de la ration C/N qui peut résulter par une immobilisation de l'azote du sol par la biomasse microbienne, devenant non disponible pour les plantes (Adam et Duncan, 2001).

Concernant les différences entre stations, certaines comme dans le cas de l'humidité peuvent être expliquées par des différences dans la nature du sol (composition granulométriques).

Ce travail, en plus d'avoir mis l'accent sur les effets des hydrocarbures sur le sol, est une ébauche pour un travail de surveillance de la qualité des sols dans la région. En effet, il serait plus que nécessaire d'entamer un programme de surveillance, pour disposer de données fiables et suffisantes sur l'état de la pollution des sols de la région par les produits pétroliers.

Même si des travaux ont déjà été effectués dans ce domaine, nous remarquons néanmoins que dans la plupart des cas la pollution en jeux n'est pas quantifiée. Ce qui est dû à la cherté des méthodes de quantification des hydrocarbures. Raison pour laquelle nous nous sommes limités à la quantification de la pollution dans une seule station.

De ce fait, il serait aussi très intéressant, d'introduire des méthodes de quantification des hydrocarbures moins onéreuses. Ces méthodes existent, et leur mise en place est très facile et permettent même de quantifier les teneurs en hydrocarbures sur le site même de l'étude. Nous pensons notamment aux méthodes proposées par la marque Petroflag.



**Références  
bibliographiques**

**Références bibliographiques**

1. (2018, 06 ,15). Récupéré sur Laboratoire agronomique de Normandie:  
[http://www.lano.asso.fr/web/potentiel\\_dhydrogene.html](http://www.lano.asso.fr/web/potentiel_dhydrogene.html)
2. (2018, 06 ,10). Récupéré sur United States Departement of Agriculture:  
[https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2\\_054167](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167)
3. Adam, G., Duncan, H. (2003). The effect of diesel fuel on common vetch (*Vicia Sativa* L.) plants. *Environmental geochemistry and health*, 123-130.
4. Baek, K.-H., Kim, H.-S., Oh, H.-M., Yoon, B.-D., Kim, J., & Lee, I.-S. (2004). Effects of crude oil, oil components, and bioremediation on plants growth. *Journal of environmental science and health*, 2465-2472.
5. Bergue, J.-M. (1986). La pollution des sols par les hydrocarbures. *Bull, liaison Labo P.et Ch. Réf 3141*, 57-66.
6. Bliefert., Perraud. (2008). *Chimie de l'environnement : Air, eau, sols, déchets* (éd. 2e). Paris : de boeck, 478p.
7. Bocard, C. (2006). *Marées noires et sols pollués par les hydrocarbures*. Paris : Technip, 292p.
8. Boust, C., Leberton, R. (2006). *Combustibles et carburants pétroliers*. IRNS, 7p.
9. Calvet, R. (2003). *Le sol propriétés et fonctions tome 1*. Paris : France agricole, 396p.

10. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. (2014). *Détermination de l'azote total Kjeldahl et du phosphore total*, 16p.
11. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. (2015). *Hydrocarbures pétroliers : caractéristiques, devenir et criminalistique environnementale*, 41p.
12. Colin, F. (2000). *Pollutions localisées des sols et sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés*. Paris : Tec&Doc, 417p.
13. Colombano, S., Saada, A., Victoire, E., Guerin, V., Zornig, C., Amalric, L., Blessing, M. (2014). *Nature des produits pétroliers et origine du vieillissement*. BRGM, 141p.
14. Dazy, M., Béraud, E., Cotelle, S., Grévilliot, F., Férard, J.-F., Masfaraud, J.-F. (2009). Changes in plant communities along soil pollution gradients : reponses of leaf antioxidant enzyme activities and phytochelatin. *Chemosphere*, 376-383.
15. Duchaufour, P. (1997). *Abrégé de pédologie : sol, végétation, environnement* (éd. 5e). Paris : Masson.
16. Durand , J. (1983). *Les sols irrigables, étude pédologique*. Paris: ACCT-PUF, 217p.
17. Girard, M. C., Walter, C., Rémy, J. C., Berthelin, J., Morel, J. L. (2005). *Sols et Environnement*. Paris : Dunod, 804p.
18. GEPPA. (1981). Synthèse des travaux de la commission de cartographie, 20p.
19. 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.
20. Godwin, U., Akpan, Bassey, T., & Udoh. (2013). Evaluation of some properties of soils affected by diesel oil pollution in uyo, Niger Delta area, Nigeria. *Journal of biology, agriculture and healthcare*, 33-43.

21. Hammann, M., Desaulles, A., Dahinden, R., Studer, K., Mailander, R., Schreier, R. (2003). *Prélèvement et préparation d'échantillons de sols pour l'analyse de substances polluantes*. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP Berne.
22. Jeannot, R., Lemièrre, B., Chiron, S., Augustin, F., Darmendrail, D. (2000). *Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués*. BRGM, 89p.
23. Koller, E. (2004). *Traitement des pollutions industrielles* (éd. 2e). Paris : Dunod, 569p.
24. Lemièrre, B., Seguin, J. J., Le Guern, C., Guyonnet, D., Baranger, P., Darmendrail, D., Conil, P. (2001). *Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes*. BRGM, 73p.
25. Lemièrre, B., Seguin, J., Le Guern, C., Guyonnet, D., Baranger, P., Saada, A., Colombano, S. (2008). *Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes*. BRGM, 103p.
26. Mathieu, C., Pieltain, F. (1998). *Analyse physique des sols*. Paris : Tec&Doc, 292p.
27. Mathieu, C., Pieltain, F. (2003). *Analyse chimique des sols*. Paris : Tec&Doc, 265p.
28. Misselyn, P., Squilbin, M. (2003). *Secteur industriel spécifique des stations-service*. IBGE, 10p.
29. Nemmer, W. (2015). Thèse magistère, *Etudes pédologique et floristique de différents sols selon un gradient de pollution*. UMMTO, 95p.
30. Patej, S., Roux, P., Gaston, D. (2002). *Etude de scénarios dangereux en stations-service*. INERIS, 35p.
31. PDAU. (2011). *Commune de Fréha*, 72p.

32. PDAU. (2012). *Commune d'Idjeur*, 62p.
33. Pellet, M., Laville-Timsit, L. (1993). *Echantillonnage de sols pour caractérisation d'une pollution : guide méthodologique*. BRGM, 72p.
34. Rhal, H., Souabi, S., Safi, M., Arad, M., Anouzla, A. (2010). Hydrocarbons diagnostic of polluted soils. *Chemistry & chemical engineering, biotechnology, food industry*, 449-458.
35. Ricour, J., Lallemand-barrès, A. (1994). *Sites pollués et déchets*. BRGM, 128p.
36. Saada, A., Nowak, C., Coquereau, N. (2005). Etat de connaissance sur l'atténuation naturelle des hydrocarbures. BRGM, 95p.
37. Saadoun, I., Al-Ghazawi, Z. (2010). Toxicity of diesel fuel towards plant seeds as reflected by seed germination outcomes, sprout length and fresh weight. *American-Eurasian*, 167-172.
38. Soltani, M. (2004). *Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries gram-négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone*. Paris : Paris 6, 281.
39. Stengel, P., Gelin, S., coord. (1998). *Sol : interface fragile*. Paris : INRA, 213p.
40. Verdin, A., Lounès-Hadj Sahraoui, A., Durand, R. (2004). Les agents de la bioremédiation des sols pollués par les hydrocarbures polycycliques aromatiques. *Revue francophone d'écologie industrielle*, 30-37.



**Annexes**

**Annexe 01 : Normes d'interprétation**

Normes d'interprétation du pH du sol selon le laboratoire agronomique de Normandie

Valeur de pH	Statut Acido-Basique
$\text{pH} \leq 5.5$	Sol très acide
$5,5 < \text{pH} \leq 6,0$	Sol acide
$6,0 < \text{pH} \leq 6,5$	Sol peu acide
$6,5 < \text{pH} \leq 7,0$	Sol neutre
$7,0 < \text{pH} \leq 7,5$	Sol peu alcalin (peu basique)
$\text{pH} > 7,5$	Sol alcalin (basique)

Normes d'interprétation de la conductivité électrique selon Durand (1983)

CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$	Qualité des sols
0 à 500	Non salé
500 à 1000	Légèrement salé
1000 à 2000	Salé
2000 à 4000	Très salé
Plus de 4000	Extrêmement salé

Normes d'interprétation du calcaire total du sol «  $\text{CaCO}_3$  » selon GEPPA (1981)

Teneur en calcaire total	Qualité du sol
<1%	Non calcaire
1 à 5%	Peu calcaire
5 à 25%	Modérément calcaire
25 à 50%	Fortement calcaire
50 à 80%	Très fortement calcaire
> 80%	Excessivement calcaire

**Annexe 02 : Résultats des analyses statistiques****pH**

Station 1 : Test de Kruskal-Wallis :  $H(3, N=7) = 6,000000$   $p = 0,111$

Station 2 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	393,1290	1	393,1290	1887,019	0,000027
Zone	0,2950	3	0,0983	0,472	0,723357
Erreur	0,6250	3	0,2083		

Station 3 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	401,9560	1	401,9560	30146,70	0,000000
Zone	0,0943	3	0,0314	2,36	0,249835
Erreur	0,0400	3	0,0133		

**Conductivité Electrique**

Station 1 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	0,930250	1	0,930250	346,6770	0,000338
Zone	0,003121	3	0,001040	0,3878	0,771464
Erreur	0,008050	3	0,002683		

Station 2 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	1,883560	1	1,883560	21,46100	0,018947
Zone	0,351871	3	0,117290	1,33639	0,408658
Erreur	0,263300	3	0,087767		

Station 3 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	0,985960	1	0,985960	69,92624	0,003586
Zone	0,018100	3	0,006033	0,42790	0,748071
Erreur	0,042300	3	0,014100		

**Humidité résiduelle**

## Station 1 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	191,4938	1	191,4938	264,9210	0,000505
Zone	1,2123	3	0,4041	0,5590	0,677633
Erreur	2,1685	3	0,7228		

## Station 2 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	41,57521	1	41,57521	16,50935	0,026881
Zone	12,78132	3	4,26044	1,69180	0,338206
Erreur	7,55485	3	2,51828		

## Station 3 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	19,93744	1	19,93744	251,3123	0,000546
Zone	1,47509	3	0,49170	6,1978	0,084151
Erreur	0,23800	3	0,07933		

## Comparaison entre stations : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	204,2064	1	204,2064	190,6415	0,000000
Station	52,5814	2	26,2907	24,5443	0,000019
Zone	9,3627	3	3,1209	2,9136	0,068722
Erreur	16,0673	15	1,0712		

**Calcaire Total**

## Station 1 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	116,2128	1	116,2128	37,73041	0,008679
Zone	32,4207	3	10,8069	3,50864	0,165017
Erreur	9,2402	3	3,0801		

Station 2 : Test de Kruskal-Wallis :  $H(3, N=7) = 5,147059$   $p = 0,161$

Station 3 : Test de Kruskal-Wallis :  $H(3, N=7) = 5,529412$   $p = 0,136$

### Carbone

Station 1 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	1,521907	1	1,521907	85,84194	0,002661
Zone	0,746897	3	0,248966	14,04272	0,028510
Erreur	0,053188	3	0,017729		

Test de Newman-Keuls

Zone	C	1	2
	Moyenne		
D4	0,113372	****	
D2	0,188953	****	
D3	0,613372	****	****
D1	1,034884		****

Station 2 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	2,793000	1	2,793000	977,8473	0,000072
Zone	0,196388	3	0,065463	22,9189	0,014329
Erreur	0,008569	3	0,002856		

Test de Newman-Keuls

Zone	C	1
	Moyenne	
D2	0,421512	****
D3	0,729651	****
D4	0,750233	****
D1	0,918605	****

## Station 3 Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	7,071637	1	7,071637	221,9094	0,000656
Zone	0,988454	3	0,329485	10,3393	0,043265
Erreur	0,095602	3	0,031867		

## Test de Newman-Keuls

Zone	C	1	2
	Moyenne		
D4	0,497093	****	
D3	0,880814	****	****
D2	1,291860	****	****
D1	1,534884		****

## Comparaison entre stations : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	10,74064	1	10,74064	147,3221	0,000000
Station	1,14963	2	0,57481	7,8843	0,004570
Zone	1,04048	3	0,34683	4,7572	0,015920
Erreur	1,09359	15	0,07291		

## Test de Newman-Keuls

Station	C	1	2
	Moyenne		
S1	32,81714		****
S2	63,10429	****	
S3	64,72857	****	

**Matière Organique**

## Station 1 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	4,502410	1	4,502410	85,84194	0,002661
Zone	2,209621	3	0,736540	14,04272	0,028510
Erreur	0,157350	3	0,052450		

## Test de Newman-Keuls

Zone	MO	1	2
	Moyenne		
D4	0,195000	****	
D2	0,325000	****	
D3	1,055000	****	****
D1	1,780000		****

## Station 2 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	8,262810	1	8,262810	977,8473	0,000072
Zone	0,580993	3	0,193664	22,9189	0,014329
Erreur	0,025350	3	0,008450		

## Test de Newman-Keuls

Zone	MO	1	2	3
	Moyenne			
D2	0,725000	****		
D4	0,985000	****	****	
D3	1,255000		****	****
D1	1,580000			****

## Station 3 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	20,90916	1	20,90916	220,7937	0,000661
Zone	2,91999	3	0,97333	10,2780	0,043611
Erreur	0,28410	3	0,09470		

## Test de Newman-Keuls

Zone	MO	1	2
	Moyenne		
D4	0,855000	****	
D3	1,515000	****	****
D2	2,220000	****	****
D1	2,640000		****

Comparaison entre stations :

Degr. de	MC	F	p
1	30,52225	178,8197	0,000000
2	1,73106	10,1417	0,001636
3	1,20570	7,0638	0,003490
15	0,17069		

Test de Newman-Keuls

Station	MO	1	2
	Moyenne		
S1	0,704286	****	
S2	1,072857	****	
S3	1,688571		****

## Argile

Station 1 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	7211,910	1	7211,910	136,9253	0,001341
Zone	121,462	3	40,487	0,7687	0,583018
Erreur	158,011	3	52,670		

Station 2 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	170,9823	1	170,9823	14,21939	0,032647
Zone	5,9563	3	1,9854	0,16511	0,913387
Erreur	36,0738	3	12,0246		

Station 3 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	233,2890	1	233,2890	19,39093	0,021717
Zone	31,1418	3	10,3806	0,86283	0,546834
Erreur	36,0925	3	12,0308		

## Comparaison entre stations : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	4330,807	1	4330,807	232,4445	0,000000
Station	3721,741	2	1860,870	99,8772	0,000000
Zone	111,225	3	37,075	1,9899	0,158824
Erreur	279,474	15	18,632		

**Limon**

## Station 1 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	7102,225	1	7102,225	1629,661	0,000033
Zone	186,013	3	62,004	14,227	0,028000
Erreur	13,074	3	4,358		

## Test de Newman-Keuls

Zone	L	1	2
	Moyenne		
D4	25,25000	*****	
D1	34,82000	*****	*****
D3	34,92500	*****	*****
D2	38,25500		*****

## Station 2 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	6988,092	1	6988,092	1274,095	0,000048
Zone	218,776	3	72,925	13,296	0,030739
Erreur	16,454	3	5,485		

## Test de Newman-Keuls

Zone	L	1	2
	Moyenne		
D4	25,82500	*****	
D2	30,95000	*****	
D3	31,50000	*****	
D1	43,90000		*****

## Station 3 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	4605,316	1	4605,316	95,46339	0,002278
Zone	323,422	3	107,807	2,23473	0,263033
Erreur	144,725	3	48,242		

**Sable**

## Station 1 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	7104,357	1	7104,357	137,0844	0,001339
Zone	562,575	3	187,525	3,6185	0,159462
Erreur	155,474	3	51,825		

## Station 2 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	24431,27	1	24431,27	833,8982	0,000091
Zone	165,01	3	55,00	1,8774	0,308934
Erreur	87,89	3	29,30		

Station 3 : Test de Kruskal-Wallis :  $H(3, N=7) = 2,464286$   $p = 0,481$

## Comparaison entre stations : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	56144,56	1	56144,56	701,3838	0,000000
Station	4522,67	2	2261,34	28,2497	0,000008
Zone	269,23	3	89,74	1,1211	0,371824
Erreur	1200,72	15	80,05		

**Teneur en Hydrocarbures Totaux**

Station 3 : Analyse de la variance

	SC	Degr. de	MC	F	p
Effet					
ord. origine	108157,9	1	108157,9	41,51272	0,007582
Zone	96248,2	3	32082,7	12,31387	0,034147
Erreur	7816,2	3	2605,4		

Test de Newman-Keuls

Zone	THT	1	2
	Moyenne		
D4	0,0000	****	
D3	19,8900	****	
D2	166,4850	****	****
D1	333,6200		****

## **Résumé**

La contamination des sols par les hydrocarbures est un problème inquiétant vu qu'elle peut engendrer des effets sur l'ensemble des compartiments de l'environnement (sol, air, eau). Cette étude a eu comme objectif l'investigation des effets des rejets des stations-services sur les propriétés physico-chimiques du sol. Les résultats montrent que les valeurs élevées en hydrocarbures totaux font augmenter les teneurs en carbone du sol. Ceci peut avoir comme conséquence l'altération du rapport C/N, stimulant les bactéries et rendant l'azote non disponible pour les plantes. Par contre, pour les autres paramètres tels que le pH, l'argile, le sable, la conductivité électrique, l'humidité et le calcaire total, les valeurs ne présentent pas de différences significatives.

**Mots clés :** hydrocarbures, THT, propriétés physico-chimiques, stations-services, sol.

## **Abstract**

Soil contamination by hydrocarbons is a worrying problem as it can have effects on all environment compartments (soil, air, water). The aim of this study was to investigate the effects of filling-stations discharges on the physico-chemical properties of the soil. The results show that high total petroleum hydrocarbons values make increase soil carbon content. This can result in the alteration of the C/N ratio, stimulating bacteria and making nitrogen unavailable to plants. Furthermore, for the other properties such as pH, clay, sand, electrical conductivity, humidity and total limestone, the values show no significant differences.

**Keywords:** hydrocarbons, TPH, physico-chemical properties, filling-stations, soil.