



REPUBLIQUE ALGÉRIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
Département de biologie

Mémoire

De fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Biologie
Spécialité : Biodiversité et Environnement

Thème

Effets des hydrocarbures sur les propriétés physiques,
chimiques et microbiologiques du sol des stations services

Présenté par :

M^{elle} CHIKHAOUIDahia

M^{elle} HETTAK Lynda

Devant le jury composé de :

M ^{me} SAHMOUNE	Maitre assistante A (UMMTO)	Présidente
M ^{me} SADOUDI DJ.	Professeur(UMMTO)	Promotrice
M ^{me} CHIBANE G.	Maître assistante B (UMMTO)	Co-promotrice
M ^{elle} ALI AHMED S.	Maitre assistante A (UMMTO)	Examinatrice

Soutenu le : 02/10/2019

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents pour leur soutien moral et matériel, que dieu tout puissant me les garde.

A mon cher frère Mohand et ma chère sœur Dyhia

A ma binôme et sa famille

A tous mes amis (es)

A toute la promotion de Biodiversité et environnement 2018/2019.

Lynda

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents pour leur soutien moral et matériel, que dieu tout puissant me les garde.

A mes chers frères et mes chères sœurs

A mes chers neveux et nièces

A ma binôme et sa famille

A tous mes amis (es)

A toute l'équipe

A toute la promotion de Biodiversité et environnement 2018/2019.

Dahia

Liste des figures :

Figure1 : Structure du sol.....	03
Figure 2 : Devenir d'un polluant dans le sol.....	09
Figure 3 : Localisation de la station service de Fréha.....	12
Figure 4 : Schéma récapitulatif des protocoles suivis pour l'isolement des bactéries et des champignons.....	17
Figure 5 : Variation du pH dans le transect A.....	19
Figure 6 : Variation du pH dans le transect B.....	20
Figure 7 : Variation du pH dans le transect C.....	20
Figure 8 : Variation du pH dans les trois transects A, B et C.....	21
Figure 9 : Taux du carbone organique dans le transect A.....	22
Figure 10 : Taux de carbone organique dans le transect B.....	22
Figure 11 : Taux de carbone organique dans le transect C.....	23
Figure 12 : Taux du carbone organique dans les trois transects A, B et C.....	23
Figure 13 : Taux d'humidité dans le transect A,	24
Figure 14 : Taux d'humidité dans le transect B	25
Figure 15 : Taux d'humidité dans le transect C.....	25
Figure 16 : taux d'humidité dans les trois transects A , B et C.....	26
Figure17 : Nombre de la microflore bactérienne dans le transect A.....	27
Figure 18 : Nombre de lamicroflore bactérienne dans le transect B.....	27
Figure 19 : Nombre de la microflore bactérienne dans le transect C.....	28
Figure 20 : La microflore bactérienne dans les trois transects A, B et C.....	28
Figure 21 : Nombre de colonies de champignons dans le transect A.....	29
Figure 22 : Nombre de colonies de champignons dans le transect B.....	30
Figure 23 : Nombre de colonies de champignons dans le transect C.....	30
Figure 24 : Nombre de colonies de champignons dans les trois transects A, B C.....	31
Figure 25 : Filaments de <i>Rhizopus</i> (GX 100).....	32

Figure 26 : *MyciliaStérillia* (G X 400).....32

Figure 27: Filaments d'*Aspirgillusniger* (G X 400).....33

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Analyse de la variance pour le pH.....	21
Tableau 2 : Analyse de la variance du carbone organique.....	24
Tableau 3 : Analyse de la variance l'humidité.....	26
Tableau 4 : Analyse de la variance du nombre de la microflore bactérienne.....	29
Tableau 5 : Analyse de la variance du nombre de colonies de champignons.....	31

Sommaire :

Introduction générale	01
-----------------------------	----

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

I. Sol.....	03
I-1 Définition du sol.....	03
I-2 Caractéristiques générales des phases du sol	03
I-3 Propriétés du sol	04
II. Principaux types de polluants du sol	06
II-1 Composés inorganiques	06
II-2 Composés organiques	06
2-1 Hydrocarbures dans le sol.....	07
2-1-1-Définition	07
• Hydrocarbures aliphatiques	07
• Hydrocarbures aromatiques.....	07
• Hydrocarbures alicycliques	07
• Hydrocarbure substitués	07
2-1-2-Source des hydrocarbures (cas de station service).....	08
2-1-3-Devenirs des hydrocarbures dans le sol	08
2-1-4-Effets écotoxicologiques des hydrocarbures	09

Chapitre II : Matériel et méthodes

I. Présentation de la zone d'étude.....	12
II. Matériel.....	13

1- Matériel utilisé sur terrain	13
2- Matériel utilisé au laboratoire	13
3- Réactifs	14
III. Méthodes	14
1- Echantillonnage du sol	14
2- Préparation du sol	14
3- Analyses physico chimiques du sol	14
4- Analyses microbiologiques du sol	15
4-1 Préparation de la solution mère	16
4-2 Préparation des suspensions dilutions	16
4-3 Microflore bactérienne	16
4-4 Champignons	16
5- Analyses de données	18

Chapitre III : Résultats et discussion

I .Résultats.....	19
1- Effet des hydrocarbures sur le sol.....	19
1-1- pH du sol	19
1-2- Carbone organique	21
1-3- Humidité	24
2- Effet des hydrocarbures sur la microflore du sol	26
1- Biomasse bactérienne.....	26
2- Champignons	29
II. Discussion	34
1- Effet des hydrocarbures sur le sol	34
➤ pH.....	34
➤ Carbone organique	34
➤ Humidité	35

2- Effet des hydrocarbures sur la microflore du sol	35
➤ Biomasse bactérienne.....	35
➤ Champignons	36
Conclusion	37
Références bibliographiques	
Annexe	

Introduction

Le sol est, avec les milieux aquatiques et l'atmosphère, une des trois composantes majeures de la biosphère. À ce titre, il a joué et joue 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. La contamination des sols due aux activités agricoles, industrielles et urbaines devient, aujourd'hui, un problème préoccupant. En effet, cela se traduit par des impacts négatifs sur les activités dépendant directement ou indirectement de la terre, mais aussi sur la santé humaine et les écosystèmes (Verdin *et al.*, 2004).

La pollution des sols par des polluants organiques tels que les hydrocarbures pétroliers a longtemps été une problématique pour l'environnement, car plusieurs de ces composés sont persistants et difficilement biodégradables (FoukoMbogne, 2017).

La pollution de l'environnement par les hydrocarbures a été évoquée par plusieurs auteurs, à l'instar de celles consacrées aux pollutions locales des sols (Bergue et Merienne, 1986 ; Colin, 2000) ;

Les hydrocarbures sont émis dans l'environnement par des processus naturels ou anthropiques. Il apparaît que les hydrocarbures d'origine anthropique prennent progressivement le pas sur ceux d'origine naturelle (Rocher, 2003).

Les produits pétroliers notamment les stations-services sont parmi les principales causes des pollutions constatées par la corrosion des cuves de stockage, des fuites de canalisation entre les citernes, les îlots de pompes ainsi que la séparation des hydrocarbures (Colin, 2000).

Plusieurs sources de pollution urbaines sont mentionnées dans les différents travaux réalisés. Les stations-services représentent une proportion très importante des sources ponctuelles de pollution (Carnicer, 2007). C'est dans ce contexte que cette étude est menée, consistant à évaluer les effets des hydrocarbures sur les paramètres physiques, chimiques et microbiologiques des sols de la station-service. Parmi les études qui ont été réalisées dans ce sens (Dali et Iddir., 2018).

L'émission des hydrocarbures dans l'environnement conduit à une pollution de l'air, du sol, de la nappe phréatique et surtout à une contamination de la chaîne alimentaire.

Combustibles, les hydrocarbures et leurs produits sont des polluants toxiques, parfois mutagènes ou cancérogènes. De ce fait plusieurs techniques de dépollution des sols sont utilisées. Elles peuvent être regroupées en trois grands groupes: Les techniques physiques, chimiques et biologiques. La technique biologique utilise les micro-organismes et/ou les plantes pour dégrader les polluants en condition aérobie ou anaérobie (Kaboré-Ouédraogo et *al*, 2010).

La bio-détection ainsi que le traitement biologique et la bio-remédiation des polluants ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherches tels que Ademe (2006), Gautier. (2007), Boudershem (2011), Chadli. (2015), Benchouk. (2018).

Le présent travail est structuré comme suit :

- Une introduction générale
- Un premier chapitre qui comprend des rappels bibliographiques sur la thématique abordée
- Un deuxième chapitre précisera le matériel et les méthodes qui décrivent le mode d'échantillonnage ainsi que toutes les techniques d'analyse de laboratoire utilisées.
- Dans le dernier chapitre, les résultats obtenus sont représentés en formats graphiques et analysés statistiquement, ainsi l'interprétation des résultats et discussion.

Nous avons terminé ce travail par une conclusion générale et quelques perspectives.

I. Le sol

1-1-Définition du sol

Le sol est un ensemble organisé, évolutif, où la vie est présente et dont le matériau est la terre (figure 1). Il est le lieu de transfert de flux : eau, air, énergie et vie. Il désigne une succession de couches ou strates formées par la dégradation de la roche mère et l'accumulation de la matière organique résultant des activités biologiques (Girard et *al.*, 2011).

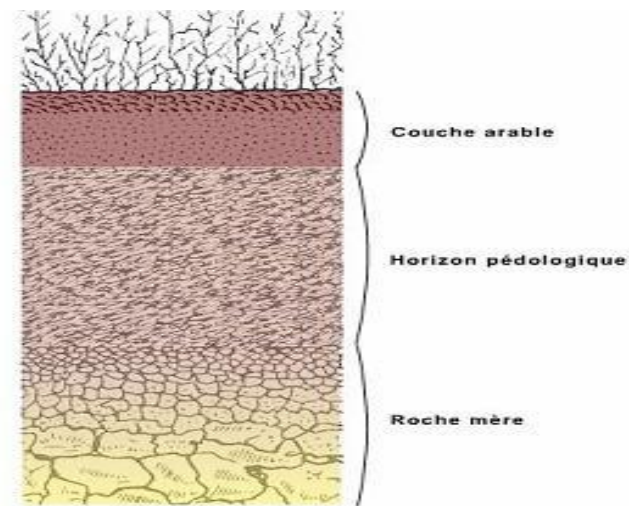


Figure 1: Structure du sol (Baba Ahmed, 2012)

1-2- Caractéristiques générales des phases du sol

1-2-1-Phase solide

Elle est constituée par des minéraux et des matières organiques en proportions variables. On pourrait considérer que les organismes vivants du sol font partie de la phase solide puisqu'ils ne sont ni gazeux ni liquides (Calvet, 2003).

1-2-2- Phase liquide

La phase liquide du sol n'est pas de l'eau pure mais une solution dont la composition est complexe et très variable. On la désigne souvent par l'expression «solution du sol».

Elle contient de très nombreuses substances organiques et inorganiques dissoutes, ionisées et non ionisées dont la nature et la concentration dépend de plusieurs phénomènes (Calvet, 2003).

1-2-3-Phase gazeuse

La phase gazeuse du sol est encore appelée l'atmosphère du sol. Sa composition est souvent voisine de celle de l'air mais elle peut être très variable dans l'espace et dans le temps. Elle dépend principalement de deux facteurs, la proximité de l'atmosphère, c'est à dire la profondeur dans le sol et l'activité biologique (Calvet, 2003).

1-3-Propriétés du sol**1-3-1- Propriétés physiques****1-3-1-1- Texture**

La texture du sol se traduit de manière globale par la composition granulométrique de la terre fine, dont la répartition est habituellement représentée par un graphique ternaire ou triangle de texture (Gobat et *al.*, 2010).

1-3-1-2- Structure

La structure détermine la répartition dans l'espace de la matière solide et des vides (pores) dont certains sont occupés par de l'eau, d'autres les plus grossiers par de l'air (Duchaufour, 1997).

1-3-1-3- Porosité

La porosité désigne la fraction du volume total du sol occupé par des vides (eau, air). Elle se caractérise par la distribution de la taille des pores, par leur forme et leur

connectivité. Habituellement, trois classes de tailles de pores peuvent être distinguées : micro-porosité, méso-porosité et macro-porosité (Ugarte Nano, 2015).

1-3-1-4- Régime hydrique ou l'eau du sol

Le régime hydrique du sol est la résultante des variations de teneur en eau du sol au cours de l'année. Le régime hydrique du sol dépend directement des trois propriétés précédentes, à savoir:

- La texture qui détermine les forces de rétention de l'eau.
- La structure qui influence la circulation de l'eau
- La porosité qui définit le volume du réservoir hydrique du sol (Gobat et *al.*, 2010).

1-3-1-5 - Température et pédoclimat

Toute température traduit un bilan d'énergie calorifique à l'endroit mesuré (Gobat et *al.*, 2010). La température du sol varie, mais la profondeur atténue ces variations (Soltner, 2011).

1-3-2-Propriétés chimiques

1-3-2-1- Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH d'un sol est la mesure de la concentration d'ions H⁺ dans sa solution. Cette concentration d'ions représente l'acidité effective, ou actuelle, ou encore réelle du sol. (Soltner, 2011).

1-3-2-2- Matière organique

Les débris végétaux de toute nature (feuilles, rameaux morts) qui tombent sur le sol, constituent la source essentielle de la matière organique. La matière organique augmente la fertilité du sol, c'est-à-dire améliore à la fois ses qualités physiques, chimiques et biologiques (Soltner, 2011).

1-3-2-3- Calcaire total

Il agit comme élément granulométrique, mais aussi comme réserve de calcium, en général, assez facilement mobilisable (Clément, 2003).

1-3-3-Propriétés biologiques

Les organismes vivants du sol sont des bactéries, des champignons, des algues, les parties souterraines des plantes ainsi que des animaux très variés. Tous participent, d'une manière ou d'une autre, à la formation et à l'évolution du sol (Gobat, 2003).

1-3-3-1- Microflore du sol

- **Bactéries**

Les bactéries sont les organismes les plus nombreux du sol, elles sont unicellulaires, parfois mobiles et leur taille peut varier de 0,2 à 10 µm. Il existe plus de 200 genres bactériens différents (Bidaud, 1998). En fonction des propriétés du sol, tous les types physiologiques bactériens sont représentés : autotrophes et hétérotrophes, mésophiles, thermophiles et psychrophiles, aérobies et anaérobies (Noumeur, 2008).

- **Champignons**

En général, les champignons du sol forment une biomasse aussi importante que celle des bactéries. Leurs activités métaboliques sont multiples et fondamentales à l'équilibre écologique des sols, par leurs interactions avec les systèmes racinaires des plantes, leur aptitude de colonisation et de dégradation des débris organiques de grande taille et des composés de structures complexes (Noumeur, 2008).

II- Principaux types de polluants du sol

1-Composés inorganiques

Cette famille est principalement composée par les métaux lourds, également appelés «Éléments traces métalliques». Ces composés se retrouvent à l'état naturel dans l'environnement. Leur dangerosité s'exprime dans une inhalation ou ingestion directe des poussières (Baba Ahmed, 2012).

2-Composés organiques

Ces composés sont issus de pratiques récentes liées à l'ère industrielle, qui sont:

- Les hydrocarbures ou huiles minérales.
- Les produits organiques industriels tels que le trichloréthylène.
- Les pesticides (Baba Ahmed, 2012).

2-1-Hydrocarbures dans le sol

2-1-1-Définition

Un hydrocarbure est un composé organique contenant exclusivement des atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H) (Heider et *al.*, 1999 in Hassaine, 2016). Ces derniers se subdivisent en catégories :

- **Hydrocarbures aliphatiques**

Les hydrocarbures aliphatiques sont constitués de chaînes carbonées linéaires qui peuvent être saturées (alcane, alcène, alcyne) ou posséder une ou plusieurs doubles ou triples liaisons) (Gasperi, 2006).

- **Hydrocarbures aromatiques**

Ils comprennent tous les composés dont la molécule renferme un ou plusieurs cycles (Arnaud, 1983). L'hydrocarbure aromatique de base est le benzène qui comprend un anneau aromatique à 6 atomes de carbone (Fattal, 2008).

- **Hydrocarbures alicycliques**

Ce sont des hydrocarbures cycliques dérivés de la série aliphatique. Ce sont les cycloalcanes, les cycloalcènes, les cycloalcadiènes ou les terpènes. Ces derniers sont des composants majeurs de l'essence térébenthine et se trouvent dans beaucoup de produits d'origine végétale (Cicolella, 2008).

- **Hydrocarbure substitués**

Si la molécule d'hydrocarbure contient un autre atome que du carbone et de l'hydrogène, on parle d'hydrocarbure substitué et dans le cas d'un cycle, on parle d'hétérocycle (Cicolella, 2008).

2-1-2-Source des hydrocarbures (cas de station service)

Les stations services sont une source importante de pollution urbaine. L'exploitation de ce type d'activités représente une source potentielle de nuisance pour le voisinage direct, mais aussi pour l'environnement en général. Le phénomène

de pollution des sols et sous sols provenant des stations services se décline en 2 catégories :

- Une pollution chronique se produisant sur une longue période et étant due, le plus souvent, à la corrosion des cuves et des canalisations enterrés.
- Une pollution accidentelle due au déversement d'hydrocarbures lors du remplissage des stockages de la station ou de la distribution de carburant (Carnicer, 2007).

2-1-3-Devenirs des hydrocarbures dans le sol

C'est par des processus physiques, chimiques et biologiques qu'un hydrocarbure va pouvoir être déplacé, transformé ou éliminé, après avoir été diffusé dans l'environnement. Parmi les différentes altérations que peut subir un hydrocarbure, on citera les facteurs environnementaux (Guermouche-M'rassi, 2014) :

2-1-3-1-Transformation abiotique

Les pertes abiotiques des hydrocarbures sont uniquement dues à des phénomènes d'ordre physique et chimique. Aucune action d'organisme vivant n'intervient (Park et *al.*, 2001 in Guermouche-M'rassi, 2014). Les facteurs de transformation abiotique des hydrocarbures peuvent se traduire principalement par l'évaporation, la solubilisation, l'émulsion, la sédimentation, la photo-oxydation et l'hydrolyse (benchouk, 2018).

2-1-3-2-Transformation biotique (biodégradation)

La dégradation des hydrocarbures se fait dans des milieux aérobies et anaérobies grâce à des microorganismes (Fattal, 2008). Une grande diversité de bactéries et de champignons peut dégrader les polluants organiques dans le sol (biodégradation), tels que les hydrocarbures et leurs produits de dégradation. Ces derniers deviennent de nouvelles sources de carbone dans le sol. Les microorganismes s'en nourrissent et les transforment en eau et en CO². Cependant, tous les composés organiques ne seront pas dégradés de la même façon (Chaineau et *al.*, 1995).

La figure 2 illustre le devenir des polluants dans l'environnement

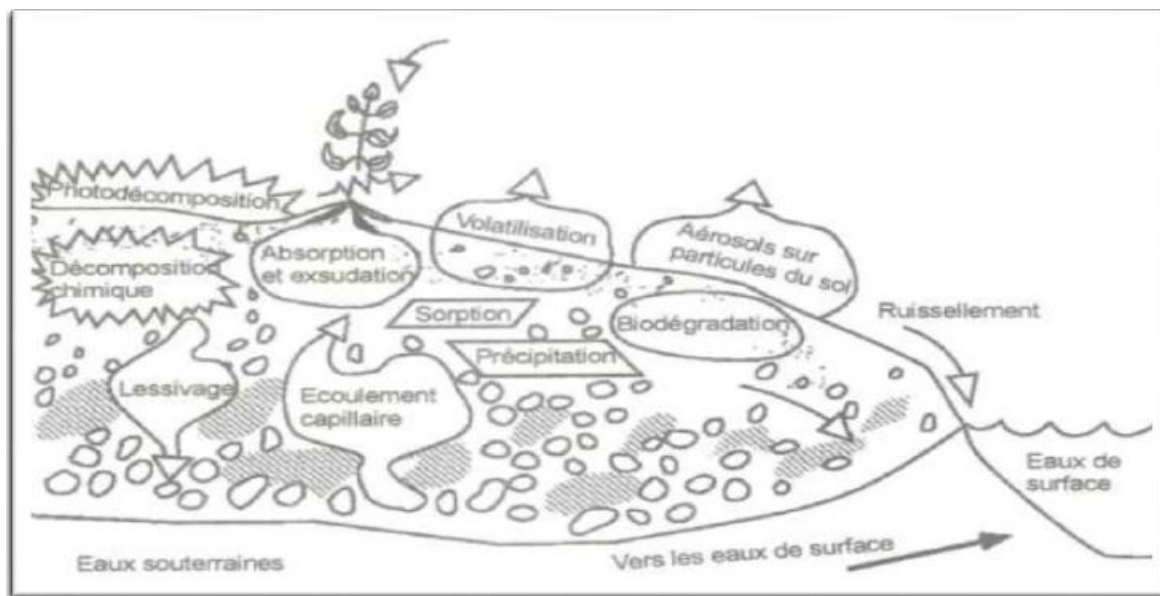


Figure 2 : Devenir d'un polluant dans le sol (Lemiére et *al.* 2000)

2-1-4 Effets écotoxicologiques des hydrocarbures

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

1- Effets sur les propriétés physiques du sol

Les études réalisées dans le but de déterminer l'effet des hydrocarbures sur les propriétés physique du sol ne sont pas nombreuses. Néanmoins, quelques observations intéressantes ont été faites par certains auteurs. D'après Mettauer et *al.*, (1987) cités par Fezzani et Khider (2007), la présence des hydrocarbures améliore la stabilité structurale du sol, accroît sa rétention en eau et réduit sa mouillabilité.

2- Effets sur les propriétés chimiques du sol

Les effets des hydrocarbures sur les propriétés chimiques du sol consistent généralement en une augmentation de la concentration du sol en éléments à l'état de traces tels que le manganèse (Mn), le zinc (Zn) et le fer (Fe), ainsi qu'une augmentation de la conductivité électrique (CE) entraînant l'inhibition de certaines plantes très sensibles à la présence des sels (Sauchelli, 1969 *in* Fezzani et Khider,

2007). Par ailleurs, les hydrocarbures engendrent une diminution du pH du sol et de la teneur en potassium (K), en calcium (Ca) et en phosphore (P) (Chaineau et *al.*, 1996).

3- Effets sur les propriétés biologiques du sol

La présence des hydrocarbures dans le sol génère des modifications dans ses propriétés biologiques.

Dommergues et Mangenot (1970), ont affirmé qu'un sol imprégné par les hydrocarbures présente un très grand nombre de germes (bactéries, actinomycètes, champignons) revivifiables.

Rouquerol et ses collaborateurs (1987), ont également avancé que l'imprégnation des sols en hydrocarbures a pour effet global une multiplication intense de la microflore en particulier des champignons, des bactéries et des levures.

Les effets des hydrocarbures sur l'activité biologique du sol dépendent de leur nature, de leur concentration dans le sol et d'autres facteurs liés au milieu (Duchaufour, 2001).

4-Effets des hydrocarbures sur le végétal

Le sol est à la fois le support et le réservoir nutritif du végétal. L'effet phytotoxique des hydrocarbures a été observé à travers la diminution du taux de germination et du rendement, ainsi que les retards de croissance (Chaineau et *al.*, 1996).

5-Impact des hydrocarbures sur l'environnement

Selon l'Administration de l'environnement - Division des établissements classés Luxembourg (2014), certaines activités se déroulant dans le cadre de l'exploitation d'une station de service peuvent être à l'origine d'impacts environnementaux, telles la dégradation de qualité de l'eau (par le diversement d'hydrocarbure), 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.....).

6- Effets des hydrocarbures vis-à-vis de l'Homme

L'impact sur la santé humaine dépend du temps d'inhalation, du contact cutané avec les hydrocarbures et de la possible consommation de produits de la mer qui seraient contaminés par une pollution. D'autres manifestations ont été signalées au moment des nettoyages des milieux de déversement. Il s'agit de douleurs aux jambes, des troubles du sommeil (Fattal, 2008).

Le contact permanent avec les hydrocarbures lourds, contenant des HAP, provoque sur le long terme des troubles neurologiques. Le contact cutané le plus courant avec des hydrocarbures concerne les mains et il provoque des érythèmes (Fattal, 2008).

Les hydrocarbures et plus précisément les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont les seuls polluants organiques persistants pour lesquels un lien direct entre l'exposition à ces substances et les taux les plus élevés de cancer a été démontré (Vallack et *al.*, 1998 *in*Zerrouk, 2002). L'intérêt pour les propriétés physiologiques et la toxicité des composés aromatiques vient de la relation qui existe entre le cancer de la peau et son contact avec le goudron et le charbon (Gibson et Subramanian, 1984 *in*Zerrouk, 2002).

L'objectif de notre étude consiste à évaluer les effets des hydrocarbures sur les paramètres physiques, chimiques et sur la microflore bactérienne des sols de la station service de Freha. 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.

Matériel et méthodes

I. Présentation de la zone d'étude

La commune de Freha relevé de la circonscription administrative de la daïra d'Azazga, elle est située à 30km de la wilaya de TiziOuzou (figure3).

Le territoire de la commune de Freha s'étend sur une superficie de 68,55km². Il est situé, en partie, sur le bassin versant sud de la chaîne côtière. L'altitude moyenne de la commune est de 350m. Il présente une géographie à double aspects : les plaines et les montagnes (DUC Tiziouzu, 2011).

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°C, et température en été supérieure à 35°C). Les précipitations au niveau de la commune sont de l'ordre de 850mm/an(DUC Tiziouzu, 2011).



Figure 3 : Localisation de la station service de Freha

II. Matériel :

Matériel utilisé sur terrain

-Des sacs à zip pour transporter le sol.

- Etiquettes

-Marqueur

-Mètre ruban

-Glacière

-Quadra

Matériel utilisé au laboratoire :

- Becher ;
- Pipette ;
- Fioles 250ml ;
- Erlenmeyer 500ml ;
- Etuve (105°,28°) ;
- Tubes à essaies ;
- Autoclave ;
- Balance électrique ;
- Balance de précision ;
- Compteur de colonies ;
- Vortex ;
- pH mètre ;
- Tamis à 2mm ;
- Hôte aspirante ;
- Pipettes pasteur ;
- Bec bunsen ;
- Micropipette ;
- Bain de sable ;
- Agitateur magnétique ;
- Bain marie.

Réactifs

- Gélose nutritive ;
- Acide sulfurique ;
- Sel de mohr ;
- Bichromate de potassium ;
- Fluorure de sodium ;
- Phénolphtaléine à 2% ;
- Milieu PDA.

III. Méthodes**1-Echantillonnage du sol**

L'échantillonnage a été effectué au mois de Mars. Nous avons entamé notre travail expérimental par le choix de 3 transects. Chaque transect est subdivisé en 4 strates selon un gradient de pollution. Ces 4 strates sont séparées d'un 1 m de distance. Les échantillons ont été extraits à l'aide d'un quadrat (25X25) à une profondeur de 15 cm de la surface. Ces derniers sont mis dans des sacs à zip et transportés à l'obscurité dans une glacière au laboratoire où ils sont conservés au frais.

2-Préparation du sol

La moitié des échantillons récoltés sur le terrain a été mise à sécher à une température ambiante pendant 4 jours. Elle est, ensuite, broyée manuellement et tamisée à l'aide d'un tamis à mailles de 2mm, et elle sera sujet a des analyses physico chimiques. Pendant, que l'autre moitié est gardée au frais et servira à réaliser l'étude microbiologique.

3-Analyse physico-chimiques du sol**3-1-Mesure du pH**

Nous avons pesé 10g de sol séché et tamisé à 2mm auquel nous avons ajouté 25 ml d'eau distillée, puis agité pendant 10 min à l'aide d'un agitateur magnétique et laissé au repos 2h. Le pH de la solution a été mesuré à l'aide d'un pH mètre.

3-2- Humidité

Afin de déterminer le taux d'humidité des échantillons, nous avons pesé 5g de sol séché et tamisé à 2mm que nous avons placé dans une étuve à 105°C pendant 24h. Repesés les échantillons une deuxième fois.

3-3- Dosage du carbone

Nous avons pesé et placé 0,5g de sol séché et tamisé à 2mm dans un ballon et versé 15ml de bichromate de potassium et 20ml d'acide sulfurique puis poser le ballon sur un bain de sable jusqu'à ébullition. A partir de la première goutte condensée, le ballon est retiré et laissé refroidir. Ensuite, nous avons placé le mélange dans une fiole jaugée de 250ml, auquel nous avons rajouté de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge et mélanger. Puis nous avons mis 20ml du mélange à l'aide d'une pipette de 20ml, dans un erlenmeyer auquel nous avons ajouté 200ml d'eau distillée, une pincée de fluorure de sodium et 4 gouttes de diphénylamine puis nous avons effectué le titrage par une solution de sel de mohr jusqu'à l'obtention d'une couleur bleu vert.

$$C \% = \frac{(Vt - Ve) * 0.615 * 10 * 100}{P}$$

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.

3-4- Matière organique

La détermination du taux de matière organique d'un sol est réalisée à partir du dosage de la teneur en carbone organique

La matière organique est calculée à partir de la relation suivante :

$$\% \text{ matière organique} = \% C * 1.72$$

1.72 : coefficient de passage du carbone à la matière organique

4-Analyse microbiologique du sol

Nous avons procédé à l'isolement et au dénombrement des bactéries et des champignons du sol par la méthode de suspension- dilution.

4-1- Préparation de la solution mère

La solution mère est obtenue en mélangeant 1g de sol avec 10 ml d'eau physiologique stérile dans un tube à essai. Ensuite le tout est mélangé à l'aide d'un vortex pendant 5 minutes.

4-2-Préparation des suspensions dilutions

Dans une hotte à flux laminaire, nous avons posé 6 tubes à essais sur un portoir, numérotés de 1 à 6, dans lesquels nous avons versé 9ml d'eau physiologique stérile. Dans le 1^{er} tube à essai, 1ml de la solution mère a été ajouté, c'est la dilution 10^{-1} , puis 1ml de la précédente dilution a été versé dans le deuxième tube à essai ; c'est la dilution 10^{-2} . nous avons reproduit la même procédure pour chaque tube à essai jusqu'à l'obtention de la dilution 10^{-6} .

4-3- Microflore bactérienne

L'isolement des bactéries du sol s'effectue comme suit :

- Disposer 6 boîtes de Pétri et les marquer de 10^{-1} jusqu'à 10^{-6} .
- A l'aide d'une micropipette, prendre 0.1 ml de chaque dilution et les ensemercer à la surface d'un milieu de culture gélosé (gélose nutritive).
- Les boîtes de Pétri ont été placées dans un incubateur à une température de 28°C pendant 48h.
- Nous avons ensuite procédé au dénombrement, afin d'estimer le nombre de colonies bactériennes présentes, comme illustré dans la figure 4.

4-4-Champignons

La même méthode a été adoptée pour les champignons (suspension-dilutions). Elle consiste à ensemercer 0,1 ml de chaque dilution en surface d'un milieu PDA dans des boîtes de Pétri. Ces dernières ont été incubées pendant 7 jours à une température de 28°C, puis on procède au dénombrement et à l'identification des espèces. (Figure 4).

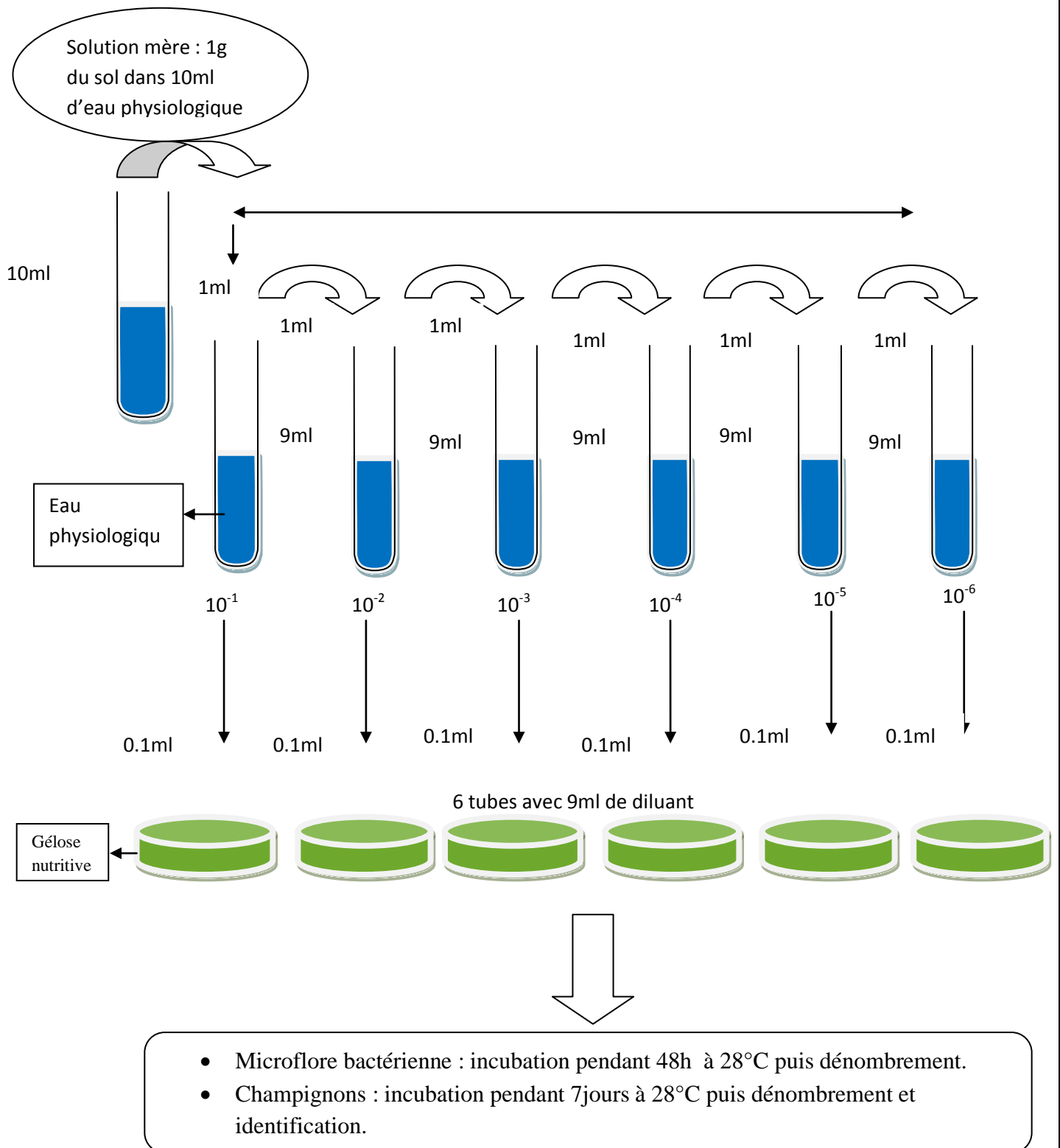


Figure 4 : Schéma récapitulatif des protocoles suivis pour l'isolement des bactéries et des champignons.

5-Analyse de données :

Le traitement des résultats (2 répétitions) a été réalisé avec le logiciel Statistica 7.2. Le test de Newman et Keuls permet la détermination des groupes homogènes dans les cas où les différences entre les moyennes s'avèrent significatives.

I-Résultats

L'effet des hydrocarbures sur le sol de la station service, s'est exprimé par la réalisation des analyses suivantes :

1-Effets des hydrocarbures sur le sol

1-1- pH du sol

Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures 5, 6,7 et 8.

Les résultats enregistrés montrent que, dans les strates S1 et S2, le pH est moyennement alcalin, avec des valeurs respectives de 8,04 et 7,89. Il est légèrement alcalin dans les strates S3 et S4 avec des valeurs respectives de 7,79 et 7,66, selon les normes de Baize(1989). Ces résultats montrent une augmentation du pH dans les strates proches de la source de pollution.

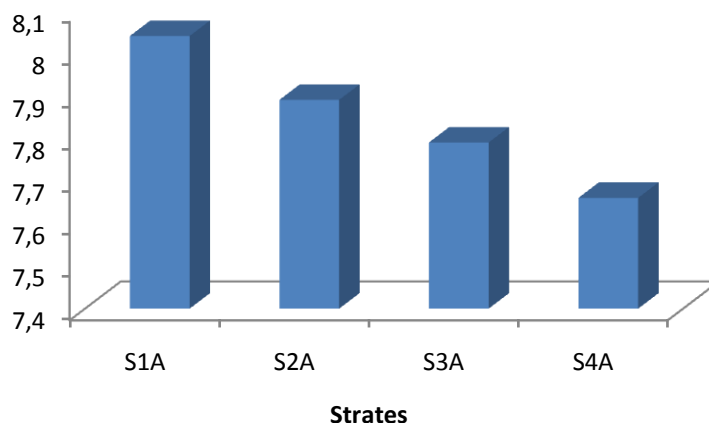


Figure 5 : Variations du pH dans le transect A

Les échantillons de sol étudiés présentent des pH moyennement alcalins dans les strates S1 et S2 avec des valeurs respectives de 8 et 7.92, et des pH légèrement alcalins dans les strates S3 et S4 avec des valeurs respectives de 7.78 et 7.69 (Baize, 1989).

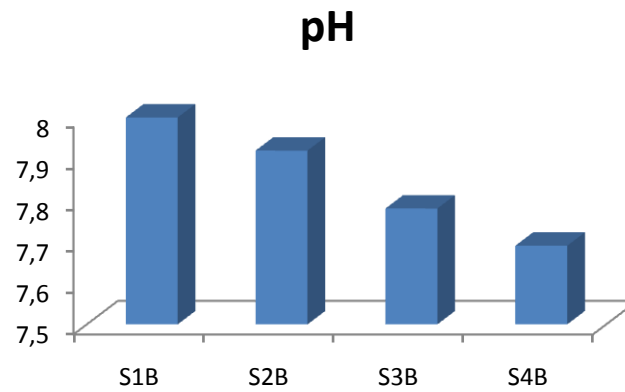


Figure 6 : Variations du pH dans le transect B.

Le pH du sol des strates S1 et S2 est moyennement alcalin avec des valeurs de 8.17 et 7.99, alors que le pH des strates S3 et S4 sont légèrement alcalins avec des valeurs de 7.86 et 7.70 (Baize, 1989). Les résultats obtenus montrent une diminution du pH en s'éloignant de la source de pollution.

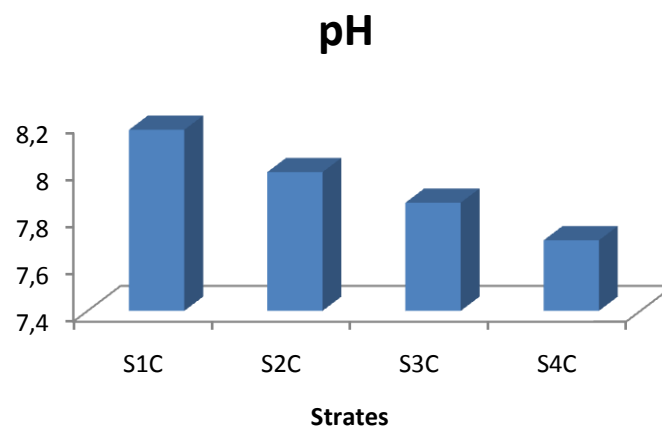


Figure 7 : Variations du pH dans le transect C

Nous remarquons que les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau du transect C (pour les quatre strates) (figure8).

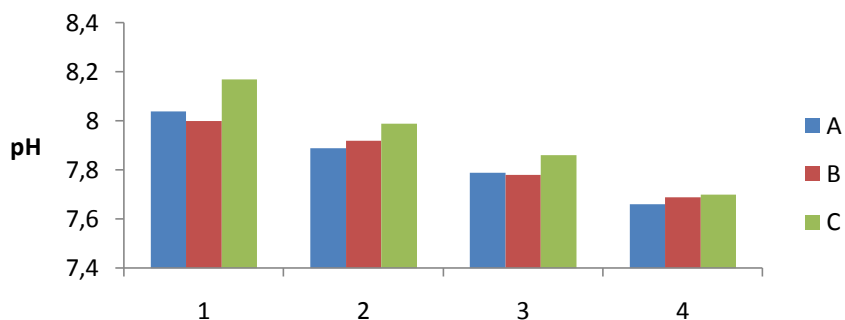


Figure 8 : Variations du pH dans les trois transect A, B et C.

Le test d'ANOVA (tableau 1) révèle une différence de pH pour le facteur strate ($p= 0.007996$).

Tableau 1 : Analyse de la variance pour le pH.

Source de la variance	DDL	S.C.E	CM	F	P
Facteur 1 : transect	2	0.083	0.042	1.53	0.255145
Facteur 2 : strate	3	0.518	0.173	6.35	0.007996
Intr : transect*strate	6	0.159	0.026	0.97	0.482776
Résiduelle	11				

Le test de Newman et Keuls (annexe III) concernant le pH pour le facteur strate a donné deux groupes. Le groupe a renferme les strates 2, 3 et 4 pour un pH de 7.73, 7.81 et 7.68 respectivement. Le groupe b renferme la strate 1 pour un pH de 8.06.

1-2- Carbone organique

Les figures 9, 10, 11 et 12 représentent le taux de carbone organique du sol des trois transects.

Au niveau du transect A, la valeur maximale du taux de carbone organique est enregistrée dans la strate 4 avec une valeur de 3.01%, et la valeur minimale est enregistrée dans la première strate avec une valeur de 0.86%.

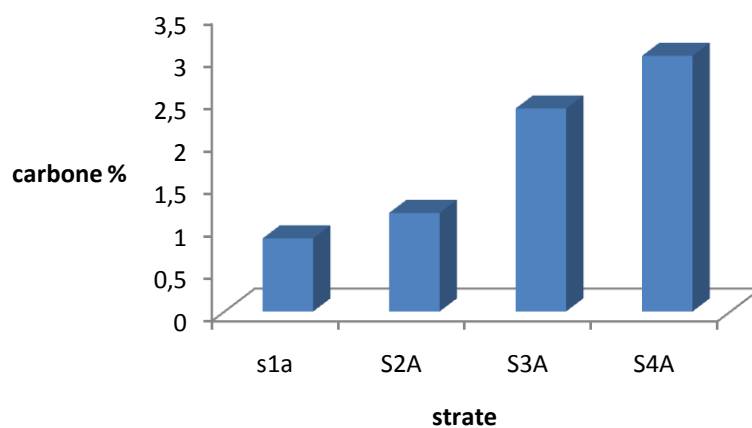


Figure 9 : Taux de carbone organique dans le transect A

Concernant le transect B, la valeur minimale est observée au niveau de la première strate avec une valeur de 2.33%, et la valeur maximale est enregistrée au niveau de la quatrième strate avec une valeur de 3.27%.

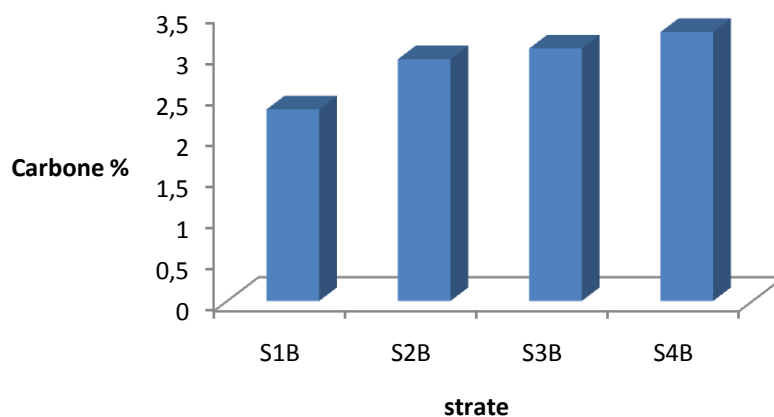


Figure 10 : Taux de carbone organique dans le transect B.

Pour ce qui est du transect C, le taux du carbone augmente en s'éloignant de la source de pollution. La valeur maximale est enregistrée au niveau de la strate 4 avec une valeur de 5.71%.

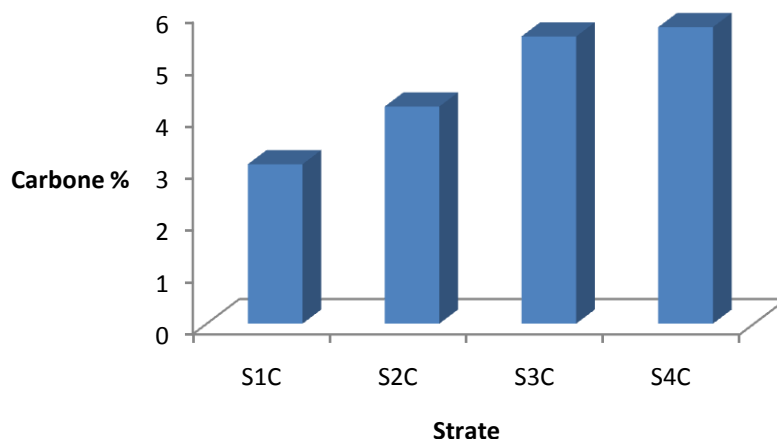


Figure 11 : Taux du carbone dans le transect C.

Enfin, la comparaison des trois transects, révèle que le taux de carbone organique est élevé dans le transect C par rapport aux transects A et B. Le taux de carbone augmente en s'éloignant de la source de pollution.

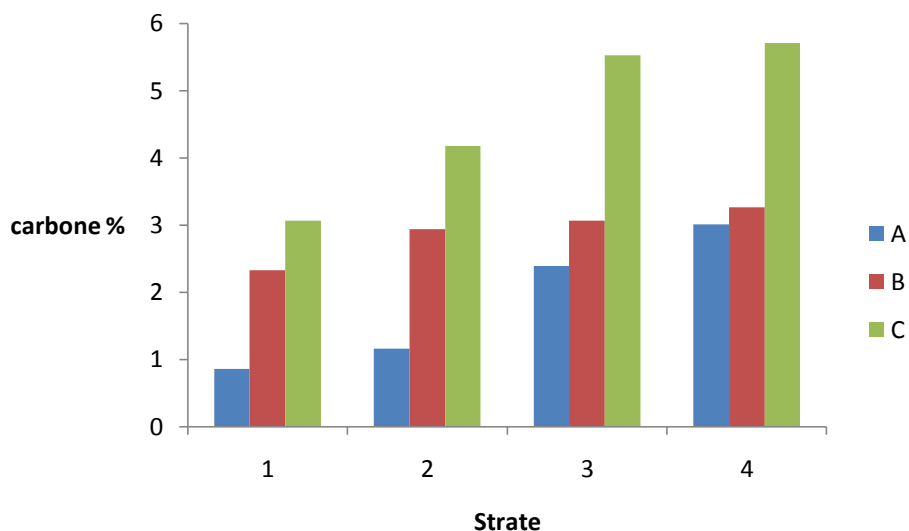


Figure 12 : taux du carbone dans les trois transects A, B et C

Le test d'ANOVA pour le taux de carbone organique, montre une différence hautement significative pour le facteur transect ($p=0.000001$) et aussi pour le facteur strate ($p=0.000382$). (Tableau 2).

Tableau 2 : Analyse de la variance pour le carbone organique.

Source de variation	DDL	F	P value
Facteur : Transect	2	54.3049	0.000001
Facteur : strate	3	13.4432	0.000382
Int.transect*strate	6	2.4043	0.092364
résiduelle	11		

Le test de Newman et Keuls (annexe III) concernant le carbone organique pour le facteur transect a donné trois groupes. Le premier groupe renferme le transect A pour un taux de carbone de 1.865000. Le deuxième groupe renferme le transect B pour un taux de carbone de 2.778750 et le troisième groupe renferme le transect C avec un taux de 4.623750.

Pour le facteur strate, le test Newman et Keuls a donné quatre groupe, le groupe a renferme la strate S1, le groupe b renferme la strate S2, le groupe c renferme la strate S3 et le groupe d renferme la strate S4.

1-3-Humidité du sol

Les figures 13, 14, 15 et 16 représentent le taux d'humidité des trois transects A, B et C.

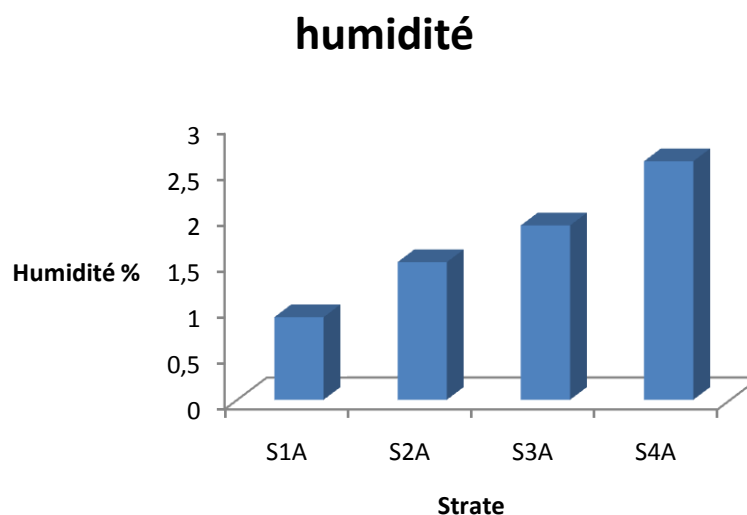


Figure 13 Taux d'humidité dans le transect A.

Au niveau du transect A, la valeur maximale du taux d'humidité est enregistré dans la strate 4 avec une valeur de 2,6 %, et la valeur minimale est enregistrée dans la strate 1 avec une valeur de 0.9%.

Concernant le transect B, la valeur maximale est toujours enregistrée dans la strate 4, et la valeur minimale est enregistrée dans la strate 1.

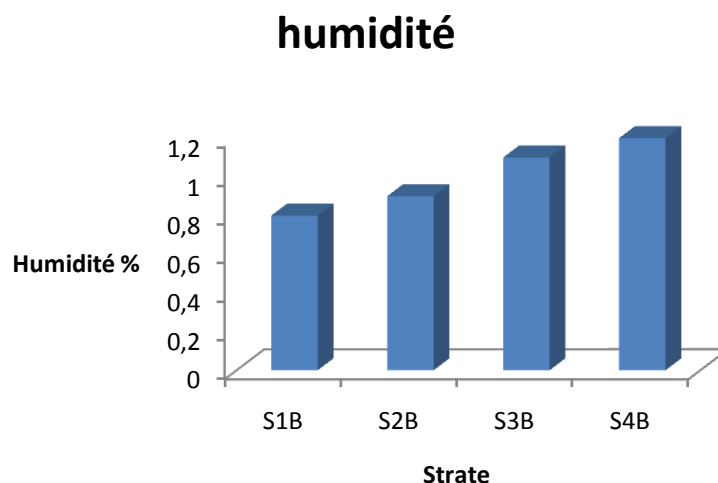


Figure 14: Taux d'humidité dans le transect B

Le taux d'humidité augmente en s'éloignant de la source de pollution, la valeur maximale est marquée dans la quatrième strate avec une valeur 1.2%, et la valeur minimale dans la strate 1 avec une valeur 0.8%. Une augmentation progressive est observée dans les quatre strates de chaque transect.

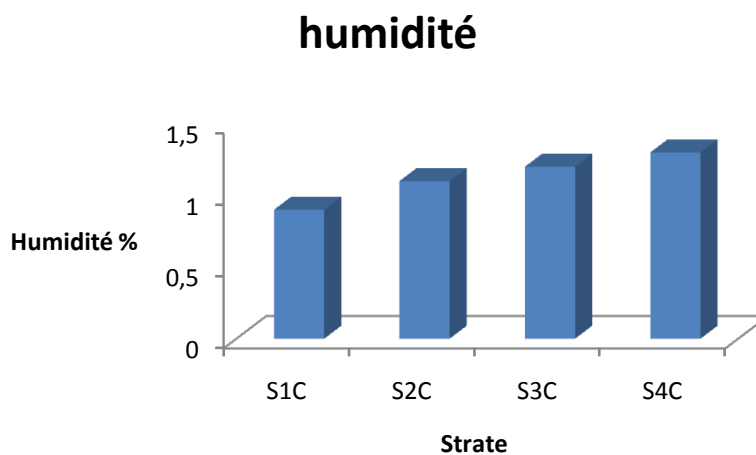


Figure 15 : Taux d'humidité dans le transect C

Nous remarquons que le taux d'humidité est élevé dans le transect A par rapport aux transect B et C.

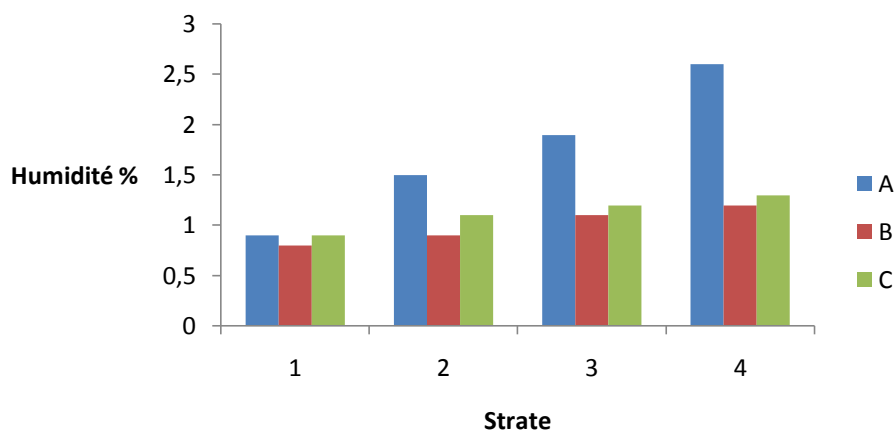


Figure 16 : Taux d'humidité dans les trois transects A, B et C.

D'après les résultats de l'analyse de la variance nous remarquons une différence significative pour le facteur transect ($p= 0.000294$), le facteur strate ($p= 0.001123$) et pour l'interaction transect-strate ($p= 0.000514$) (Tableau 3).

Tableau 3 : Analyse de la variance pour le taux d'humidité

Source de la variance	DDL	F	P
Facteur 1 : transect	2	17	0.000294
Facteur 2 : strate	3	11	0.001123
Int. Transect*strate	6	10	0.000514
Résiduelle	11		

Le test de Newman et Keuls (annexeIII) concernant le taux d'humidité pour le facteur transect a donné trois groupes. (Groupe a renferme le transect A, le groupe best représenté par le transect C et le groupe c renferme le transect B). Pour le facteur strate le test a donné quatre groupes homogènes. Pour l'interaction des deux facteurs (transect*strate) le test a donné 12 groupes.

2-Effet des hydrocarbures sur la microflore du sol

2-1-Biomasse bactérienne

Les résultats du dénombrement des colonies bactériennes sur gélose nutritive pour les différents échantillons de sols étudiés, sont représentés par les figures 17 , 18 , 19 et 20

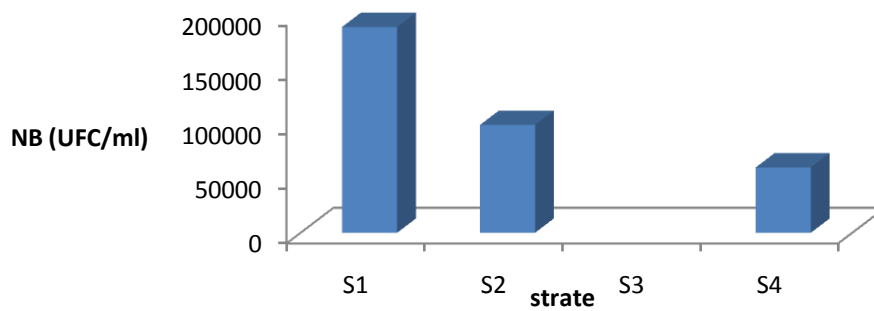


Figure 17: Nombre de la microflore bactérienne dans le transect A.

Dans le transect A, le nombre de bactéries est très élevé dans la première strate qui est proche de la source de pollution avec une valeur de $189 \cdot 10^3$ UFC/ml.

Pour le transect B, nous remarquons que le nombre de bactéries est peu élevé dans la strate S3 avec une valeur de $8 \cdot 10^3$ UFC/ml. La valeur la plus élevée est enregistrée dans la strate S1 avec une valeur de $208 \cdot 10^3$ UFC/ml.

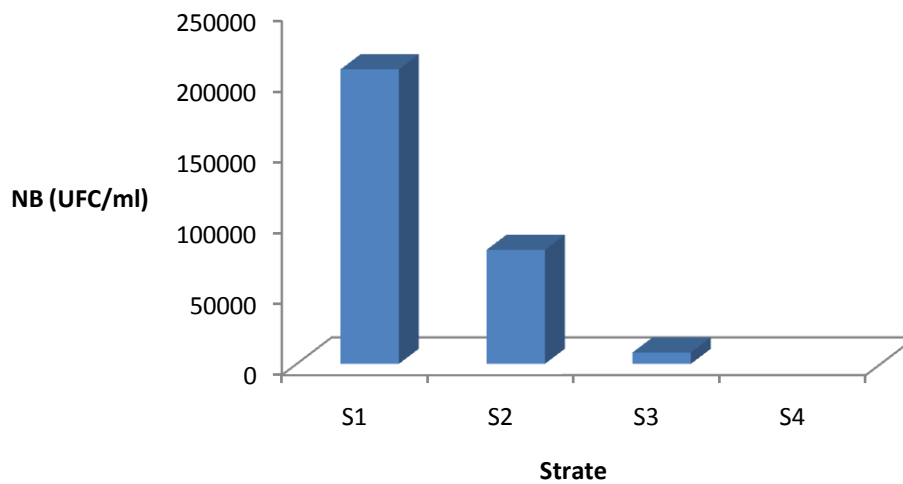


Figure 18 : Nombre de la microflore bactérienne dans le transect B.

Les résultats obtenus dans le transect C, montrent que plus on s'éloigne de la source de pollution, plus le nombre de bactéries diminue. La valeur la plus importante est enregistrée au niveau de la première strate avec une valeur de 109000UFC/ml.

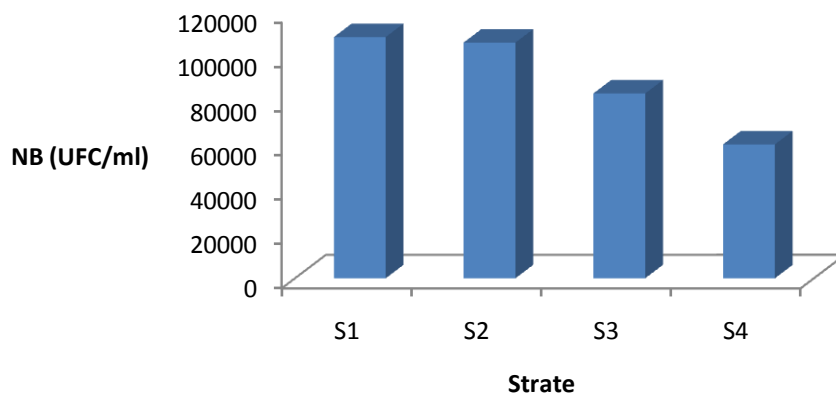


Figure 19 : Nombre de la microflore bactérienne dans le transect C.

La comparaison des résultats obtenus dans les trois transects montre une augmentation du nombre de bactéries de la strate 1 du transect A et B, par rapport à la strate 1 du transect C. Par contre, le nombre de bactéries des strates 2, 3 et 4 est élevé dans le transect C par rapport aux autres transects (A et B).

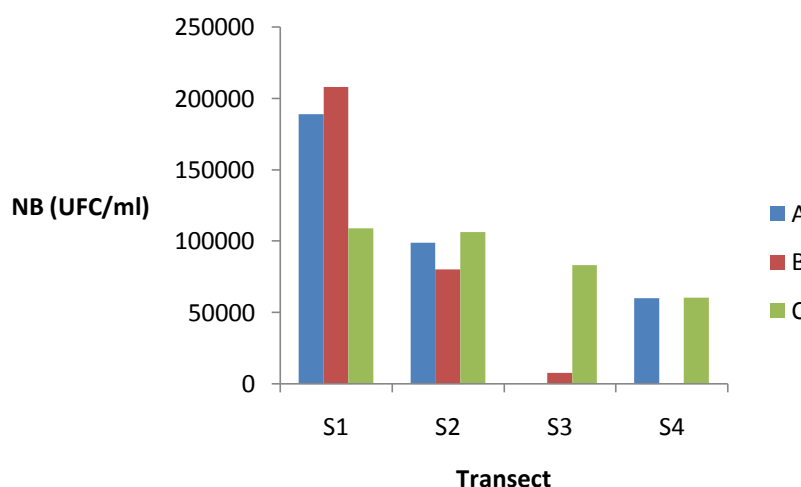


Figure 20 : Nombre de la microflore bactérienne dans les trois transects A, B et C.

Le test d'ANOVA ne montre pas une différence pour le facteur transect, mais il révèle une différence significative pour le facteur strate et aussi pour l'interaction des deux facteurs (transect*strate) (Tableau 4).

Tableau 4 : Analyse de la variance pour le nombre de la microflore bactérienne.

Source de la variance	DDL	F	p
Facteur 1 : Transect	2	2.6440	0.11180
Facteur 2 : strate	3	12.5824	0.000514
Intr : transect*strate	6	8.7181	0.000835
résiduelle	11		

Le test de Newman et Keuls (annexe III) concernant le nombre de bactéries pour le facteur strate a donné quatre groupes. Le premier groupe renferme la strate S3, le deuxième groupe la strate S4, le groupe 3 renferme S2 et le groupe 4 renferme la S1. Pour l'interaction des deux facteurs le test a donné neuf groupes homogènes, le groupe a renferme le transect A et la strate 3 ;le groupe b renferme le transect B et les strates S3et S4 ; le groupe c renferme les transect A et C et les strates S1,S2,S4 ;le groupe d renferme le transect A et la strate 4 ;le groupe e renferme le transect C et la strate S4 ; le groupe f renferme le transect C et la strate S3 ; le groupe g renferme le transect C et la strate S2 ; le groupe h renferme le transect A et la strate S1 et le groupe i renferme le transect B et la strate S1.

2-2 -Champignons

Les résultats obtenus sont illustrés par les figures ci dessous.

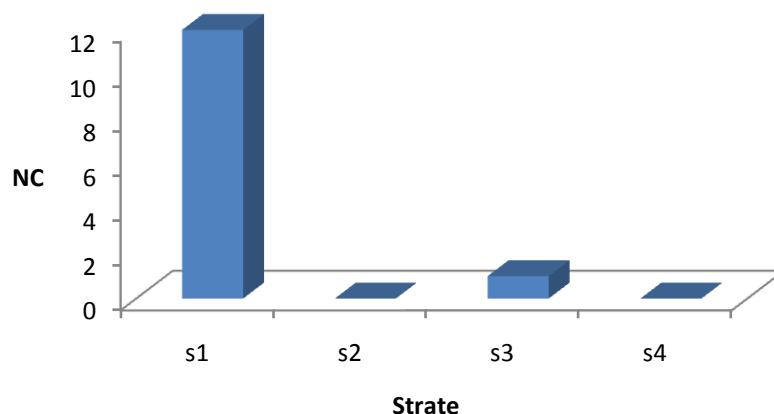


Figure21 : Nombre de colonies de champignons dans le transect A.

Ce qui concerne les champignons, nous constatons que le nombre de la quantité de colonies dans la strate 3 est abaissé et l'absence de colonies dans les deux strates (S2 et S4). Par contre, le nombre de colonies de champignons est élevé dans la strate 1(Figure 22).

La strate 3 est la plus riche en colonies fongiques pour le transect B avec 18 colonies, dans les autres strates, le nombre de colonies ne dépasse pas 4 colonies.

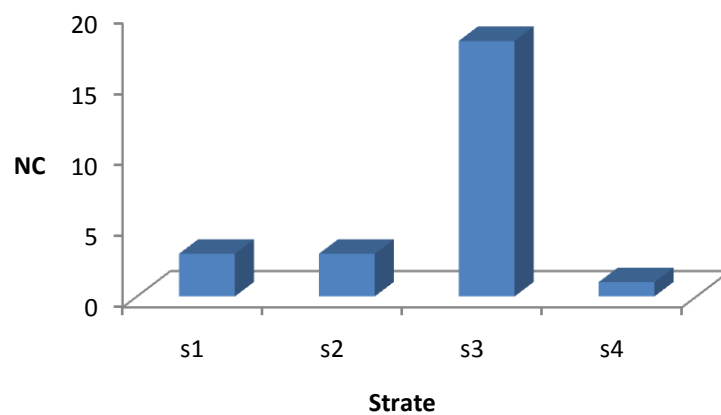


Figure 22 : Nombre de colonies de champignons dans le transect B.

La strate 3 est la plus riche en colonies fongiques pour le transect C avec 10 colonies, dans les autres strates, le nombre de colonies ne dépasse pas 4 colonies.

champignons

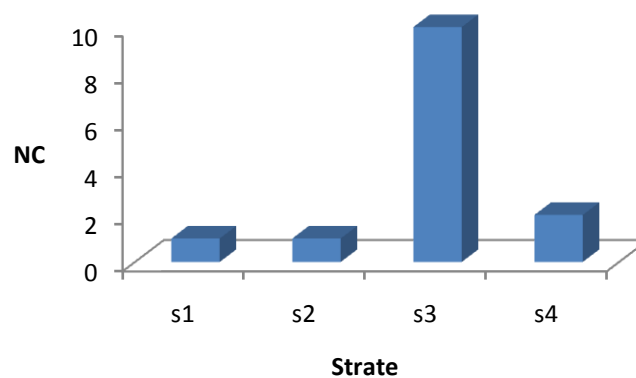


Figure 23 : Nombre de colonies de champignons dans le transect C.

La superposition des résultats obtenus dans les trois transects montre que la strate 1 du transect A renferme le nombre le plus important de colonies de l'ordre de 12 par rapport à la strate 1 des transects B et C. Le nombre de colonies dans les strates 2 et 3 du transect C est élevé par rapport aux strates des transect A et B. La 4ème strate du transect B présente un nombre élevé de colonies par rapport aux deux transect.

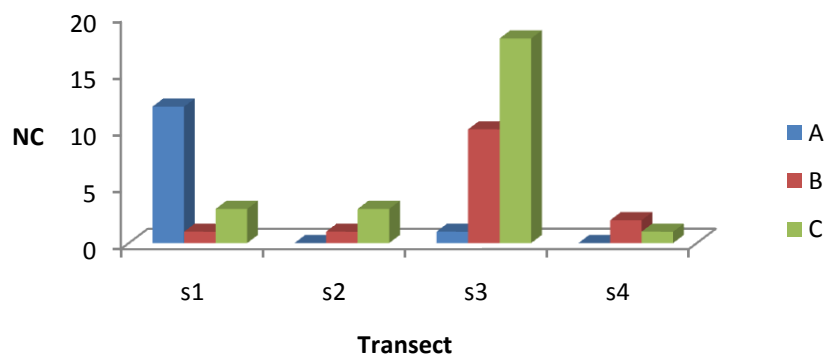


Figure 24 : Nombre de colonies de champignons dans les trois transects A, B et C

D'après les résultats traités par l'ANOVA pour le nombre de colonies (tableau 5), il n'y a aucune différence significative pour le facteur transect et aussi pour le facteur strate.

Tableau 5 : Analyse de la variance du nombre de colonies de champignons.

Source de la variance	DDL	F	P
Facteur 1 : transect	2	0.215415	0.809257
Facteur 2 : strate	3	1.499341	0.264758
Intr. Trnsect*strate	6	0.766140	0.610446
Résiduelle	11		

2-2-1- Identification de quelques espèces de champignons

A l'aide d'un microscope à grossissement (x100) et (x400), on a identifié quelques espèces de champignons présentés dans les sols que nous avons étudiés. Les espèces identifiées sont : *Cladosporium*sp, *Rhizopus*sp, *Myceliasterillia*, *Aspergillus niger* et *Penicillium*sp.

La figure 25 représente l'aspect sous microscope de *Rhizopus* sp.



Figure 25 : Filaments de *Rhizopus* sp. (Gx100) (originale, 2019)

La figure 26 représente le mycélium qui est composé d'un ensemble de filaments stériles plus ou moins ramifiés.

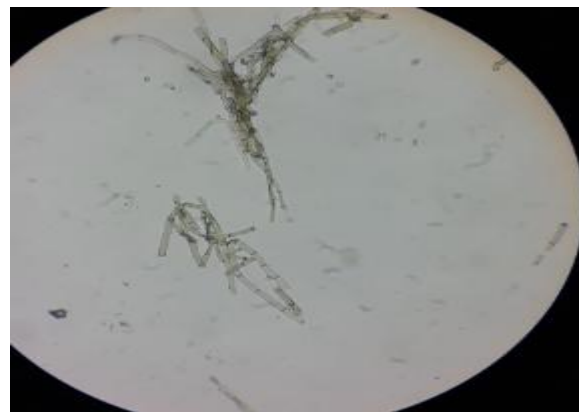


Figure 26 : *Mycelliasterillia* (Gx400) (originale, 2019)

La figure 27 représente l'*Aspergillus niger* sous microscope à G x400



Figure 27 :Filaments d'*Aspergillus niger*Gx400 (Originale, 2019)

II - Discussion

1-Effet des hydrocarbures sur le sol

➤ pH du sol

D'après les résultats obtenus par la mesure du pH du sol des quatre strates pour chaque transect, le pH a tendance à diminuer dans les strates qui sont loin de la source de pollution par rapport au pH des sols des strates proches de la source de pollution. Ces résultats sont similaires à ceux de Nemer (2015), qui a réalisé une étude dont l'objectif est de chercher l'incidence des rejets des stations-service (pollution ponctuelle de nature hydrocarbures) sur les caractéristiques physicochimiques des sols et des modifications de la composition floristiques qui va avec selon le gradient situées dans deux régions (Freha et Aghribs). Leurs valeurs enregistrées dépendent de la distance à la pollution et des quantités émises. Le pH ne semble pas avoir une tendance d'évolution particulière selon le gradient, pourtant plusieurs auteurs (Bergueetal., 1986 ; Soltani, 2004) notent une acidification des sols pollués par les hydrocarbures. Ce résultat peut être dû à la présence d'une matière basique dans la pollution qui est multiple et très complexe, ce qui fait équilibrer le pH de nos sols.

➤ Carbone organique

En ce qui concerne les résultats obtenus pour le carbone organique, une diminution est enregistrée dans les premières strates qui sont proches de la source de pollution. Cette diminution serait due aux micro-organismes du sol capables de dégrader les hydrocarbures. Selon Chaineau et *al.* (2000) une grande diversité de bactéries peut dégrader les polluants organiques dans le sol (biodégradation) tels que les hydrocarbures et leurs produits de dégradation. Ces derniers deviennent de nouvelles sources de carbone dans le sol. Ces résultats sont similaires avec ceux obtenus par Dendani et Saad (2017) qui ont travaillé dans la même station service contrairement aux résultats d'Aumer et Sediri (2018).

➤ **Humidité**

Les résultats obtenus montrent que le taux d'humidité est plus important dans les strates non contaminées. Selon l'étude de Nemer (2015) les textures des sols de la station service de freha sont limono-sableuse et limono-argileuse, la diminution du taux d'humidité dans les strates polluées peut être due à la texture du sol. Il faut tenir compte des conditions climatiques particulières qui ont régné au cours de cette période (Degranges et *al.*, 1977).

Degranges et *al.* (1977) qui ont stimulé une pollution sauvage par diversement d'huiles usées sur un terrain expérimental sans apporter de modifications aux processus naturels d'évolution. Ils ont observé l'apparition rapide d'une teneur en eau plus importante dans la parcelle non polluée, par contre Bergue,(1986) note que les sols pollués par les hydrocarbures ont 2% d'humidité de plus que les sols témoins.

2-Effet des hydrocarbures sur la microflore du sol

➤ **Biomasse bactérienne du sol**

D'après les résultats enregistrés, nous avons remarqué que le nombre de bactéries était important dans les strates proches de la source de pollution et une diminution progressive en s'éloignant de la source. Ces résultats concordent à ceux de Dali et Iddir (2018) qui ont montré que le nombre de bactéries est élevé dans le sol contaminé par rapport au sol non contaminé. L'apport des hydrocarbures dans le sol accroît de façon considérable les activités bactériennes (Bergue, 1986).

L'étude de Benchouk,(2018)qui a travaillé sur les capacités de biodégradation du pétrole et du diesel par les souches microbiennes isolées par la technique d'enrichissement à partir des sols contaminés provenant de laraffinerie d'Arzew(Algérie), a démontré une augmentation plus ou moins rapide des bactéries à la source de pollution.

Le rejet des produits pétroliers dans les milieux marins ou terrestres entraîne une prolifération des microorganismes aptes à se développer sur les hydrocarbures et leurs produits de dégradation. Leur nombre est beaucoup plus important dans les zones polluées de façon chronique et s'accroît après un apport d'hydrocarbures dans les sites dépourvus de contamination (Bouderham, 2011).

➤ **Champignons :**

Nous remarquons que le nombre de colonies de champignons isolées est élevé dans la strate 3 pour le transect B et C, et aussi dans la strate 1 du transect A.

Selon Degranges et *al* (1977), le nombre de champignons de la parcelle polluée ne représente pas des variations importantes, par contre celui de la parcelle non polluée diminue sensiblement.

Après le dénombrement de colonies des champignons nous avons remarqué que le nombre de colonies est faible par rapport aux bactéries, ces résultats sont similaires à ceux de Dari (2013).

De toute dimension, les champignons résistent mieux que les bactéries à la sécheresse et à l'acidité (Dommergues et Mangenot., 1970)..

Le nombre de colonies de champignons est moins important et cela expliqué par la particularité que possèdent les champignons vis-à-vis de l'acidité (Dari., 2013)

Plusieurs champignons poussent bien à pH compris entre 4 et 5 (Singh, 2006), les valeurs de pH que nous avons enregistré sont entre 7 et 8 le pH alcalin de nos sols explique la faible densité des champignons par rapport aux bactéries.

Conclusion

Le présent travail porte sur l'étude de quelques paramètres physiques et chimiques de sols de la station service de Freha et consiste aussi à réaliser une étude microbiologique afin de dénombrer la microflore bactérienne et fongique.

D'après les résultats obtenus, au cours de notre travail nous pouvons conclure que l'action des hydrocarbures se traduit par :

Une diminution progressive du pH des quatre strates de chaque transect A, B et C. Nous avons obtenus des pH alcalins dans toutes les strates et un peu élevé au niveau des strates proches de la source de pollution.

Nous avons aussi observé que le taux d'humidité est influencé par la contamination des hydrocarbures, une diminution au niveau des strates proches de la source de pollution par rapport aux autres strates.

On constate que les hydrocarbures de cette station service influencent sur le taux de carbone. Cependant, nous avons remarqué que les valeurs enregistrées ont tendance à diminuer au fur et à mesure qu'on s'approche de la source de pollution. Cette diminution du carbone est peut être due aux micro-organismes du sol qui sont capables de dégrader les hydrocarbures.

D'après les résultats du dénombrement des bactéries, nous remarquons que le nombre de microorganismes varie d'une strate à une autre ; le nombre élevé est enregistré dans les strates polluées. Ce nombre diminue progressivement en s'éloignant de la source de pollution. Les hydrocarbures de cette station service n'influencent pas sur la flore fongique. Nous avons identifié aussi quelques espèces fongiques (*Aspergillus niger*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Myceliastrelia*).

Grâce au pouvoir adaptatif des hydrocarbures, les bactéries indigènes exposées à long terme à une contamination, finissent par développer la capacité de dégrader les contaminants. Les hydrocarbures constituent une source de carbone et d'énergie pour leur respiration et leur croissance.

La bioremédiation constitue la meilleure solution à la décontamination des sites pollués aux hydrocarbures. Elle est relativement lente et peut durer plusieurs années. De nombreuses stratégies visent alors à l'accélérer, parmi elles ; labioaugmentation qui, consiste à enrichir un

milieu pollué avec une ou plusieurs espèces bactériennes. Il serait nécessaire de mener une caractérisation précise des hydrocarbures du sol étudié, identifier les souches bactériennes et tester le pouvoir dégradant des souches.