

V-REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique
Université A. MIRA – BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Génie des Procédés

Option : Génie chimique

Thème

**Contamination du sol par les rejets de SONATRACH –
RTC-Bejaia**

Soutenu le 11/10/2021 devant les membres du jury composé de :

Présidente : Dr. IKKOUR Kahina
Examinatrice : Dr. KERROUCHE Djamila
Promotrice : Dr. GUESSOUM Khadoudj

Présenté par :
YEKKEN Kahina
ALOUACHE Chahinaz

Année universitaire : 2021-2022

Remerciement

*Au début et avant tout, le remerciement et louange à Dieu le tout puissant,
de nous avoir donné le courage, la santé de finaliser ce travail*

Tout d'abord, nous remercions notre encadreur

*M^{me} KH. GUESSOUM maitre de conférences à l'université A.MIRA-BEJAIA, qui
nous a orientée, aidée dans la réalisation des analyses pédologiques du sol et
guidée à fin de mener à bien ce travail.*

*Nos vifs remerciements vont également à tous les membres de jury pour
l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et
de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à tous les responsables de
l'entreprise « **SONATRACH-BEJAIA** » et les responsables de service
laboratoire d'analyse de pétrole qui a bien voulu accepter pour effectuer un
stage pratique.*

*Un remerciement s'adresse aux l'équipe de laboratoire de génies des
procédés (Enseignants, Chercheurs, Techniciens, Secrétaires) pour leur aide,
leur collaboration, leur amitié et les bons moments passés ensembles.*

*Enfin nous tenons à remercier toute personne qui a contribué de près ou de
loin à la réalisation de ce modeste travail à tous ceux qui nous ont apporté
leur aide.*

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents

Chahinaz

DEDICACES

*Je rends grâce à Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté
ainsi que la conscience d'avoir pour terminer mes études.*

Je dédie ce modeste travail :

*A ma mère adorée qui a su se montrer patiente et qui n'a jamais
cessé de ménager leurs efforts pour que j'atteigne ce niveau.*

Mon père

*Qu'ils trouvent en ce travail la preuve de tout mon amour et ma
tendresse*

A mes chers frères : Juji, Faycel

A tous mes amis(es) surtout

A tous ce que j'aime et qui m'aiment

MERCI

Kahina

Remerciements

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction1

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

Partie 1 : Présentation de l'industrielle SONATRACH

1. Historique.....	2
2. Création de la SONATRACH.....	2
3. Organigramme de SONATRACH.....	3
4. Description des principales activités de SONATRACH	3
5. Description des terminaux	3
5.1. Le terminal NORD.....	3
5.2. Le terminal SUD.....	6
6. Description Activité Transport par Canalisation « T R C »	6
7. Présentation de la Région Transport Centre Bejaïa.....	8
7.1. Historique de la RTC.....	8
7.2. Présentation des différentes structures de la RTC.....	8
8. Stockage et distribution des produits pétroliers.....	9

Partie 2 : Généralités sur les sols

I.1. Définition du sol.....	10
I.2. Diverses phases du sol.....	11
I.2.1. Phase liquide du sol	11
I.2.2. Phase gazeuse du sol	11
I.2.3. Phase solide du sol.....	12
I.3. Les caractéristiques physico-chimiques des sols.....	12
I.3.1. Propriétés physiques du sol	12
I.3.1.1. Structure du sol.....	12
I.3.1.2. Texture du sol.....	13
I.3.2. Propriétés chimiques.....	15
I.3.2.1. pH du sol	15

I.3.2.2. Humidité.....	15
I.3.2.3. Conductivité électrique	16
I.3.2.4 La matière organique (MO).....	16
I.3.2.5. Matière en suspension (MES).....	17
I.4.Pollution des sols.....	17
I.5 Le pétrole.....	20
I.6 Les hydrocarbures	21
I.6.1 Classification des hydrocarbures.....	21
I.6.2 Devenir des hydrocarbures dans le sol.....	22
I.6.3 Les Sources de contamination du sol par les hydrocarbures.....	23
I.6.4 Effet des hydrocarbures sur le sol	24
I.7 Les eaux usées	24
I.7.1 Les eaux de purge de l'industrie SONATRACH – Bejaia	25
Chapitre II : Matériels et méthodes	
II.1 Prélèvement des échantillons.....	26
II.2 Échantillonnage du sol contaminé de la SONATRACH-Bejaia.....	26
II.3 Prétraitement des échantillons	27
II.3.1 Agitation.....	28
II.3.2 Centrifugation.....	28
II.3.3 Filtration.....	29
II.4 Méthode de caractérisation physico-chimique du sol.....	30
II.4.1 pH métrie du sol.....	30
II.4.2 Mesure de conductivité électrique	31
II.4.3 Humidité de sol.....	31
II.4.4 La matière organique	32
II.4.5 Détermination de matière en suspension.....	33
II.4.6 Spectroscopie infrarouge IR.....	34
II.4.7 Microscopie électronique à balayage	35
II.4.8 Dosage des métaux lourds par Spectroscopie d'absorption atomique	36
II.4.9 La chromatographie liquide à haute performance HPLC.....	38

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1 Analyses physico-chimique du sol de SONATRACH-Bejaia.....	41
III.1 La mesure du pH	41
III.1.1 pH de sol brut contaminé	41
III.1.2 La mesure de pH en fonction de nombre filtrations.....	42
III.2 La conductivité électrique CE.....	42
III.2.1 La conductivité (CE) de sol brut contaminé	42
III.2.2 La mesure de la conductivité électrique en fonction de filtrations	43
III.3 L'humidité du sol contaminé	44
III.4 Matière organique du sol contaminé	44
III.5 Matière en suspension (MES).....	45
III.6 Caractérisation des sols contaminé par spectroscopie infrarouge IR	46
III.6.1 Spectrométrie d'infrarouge pour les échantillons solide (poudre).....	46
III.6.2 Spectrométrie d'infrarouge pour les échantillons liquide Après filtration.....	48
III.7 Microscopie électronique à balayage MEB.....	48
III.8 dosage des métaux lourde par SAA	49
III.9 Résultats de la chromatographie liquide à haute Performance.....	50
Conclusion.....	51
Références bibliographiques.....	52
Annexe.....	5

Chapitre I : synthèses et bibliographies

Partie I. Présentation de la zone d'étude

Figure.1 :L'organigramme de l'entreprise nationale SONATRACH.....	3
Figure 2 : Le terminale Nord et Sud de SONATRATH.....	4
Figure 3 : Manifold de SONATRATCH	5
Figure 4 : Ancienne tour de contrôle	5
Figure 5 : Réseaux transport actuel.....	7
Figure 6 : Les différents sous- directions et départements de la RTC.....	8
Figure 7 : Bacs de stockage de SONATRACH.....	9

Partie II. Généralité sur les sols

Figure I.1 : Structure du sol.....	13
Figure I.2 : Quelques exemples de structure de sol	13
Figure I.3 : Représentation schématique des particules de sable, de limon et d'argiles.....	14
Figure I.4 : Triangle des textures selon USDA.....	15
Figure I.5 : Les constituants de la matière organiques des sols.....	17
Figure I.6 : Origine des métaux lourds dans le sol	19
Figure I.7 : Origine des métaux lourds dans le sol.....	20
Figure I.8 : Devenir des hydrocarbures aromatiques au niveau du sol.....	23

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

Figure II.1 : Point de prélèvement des échantillons	26
Figure II.2 : Schéma représentatif des points de prélèvements	27
Figure II.3 : Photo d'une agitation magnétique	28
Figure II.4 : Photos des étapes d'une centrifugation.....	29
Figure II.5 : Photo d'une filtration.....	29
Figure II.6 : Mesure du pH à l'aide d'un pH mètre.....	30
Figure II.7 : Mesure de la conductivité a l'aide d'un Conductimètre.....	31
Figure II.8 : Etuve isotherme	32
Figure II.9 : Les enchantions dans le four avant et après séchage	33
Figure II.10 :Schéma de principe d'un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier....	34
Figure II.11 : Photos des étapes d'analyse spectroscopie infrarouge.....	35
Figure II.12 : Photo de la coupe d'un MEB et schéma de fonctionnement associé	36

Figure II.13 : Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique.....	37
Figure II.14 : Photo de l'appareille du spectrophotomètre d'absorption atomique.....	37
Figure II.15 : Photo des échantillons préparés pour les dosages	38
Figure II.16 : Appareille de fonctionnement HPLC.....	40
Figure II.17 : Principe de fonctionnement d'un chromatographe HPLC.....	40
Chapitre III : Résultat et discussion	
Figure III.1 : Les mesures de pH des différentes échantillons du sol contaminé.....	41
Figure III.2 : Variation du pH du sol en fonction de nombre de filtration.....	42
Figure III.3 : La conductivité des différents échantillons du sol.....	43
Figure III.4 : Variation de la conductivité en fonction de nombre de filtration.....	43
Figure III.5 : Taux d'humidité des différents échantillons du sol.....	44
Figure III.6 : Les teneurs de matière organique des échantillons du sol.....	45
Figure III.7 : Les teneurs de la matière en suspension en fonction de la distance entre les échantillons.....	46
Figure III.8 : Spectres infrarouge des échantillons de sol avant calcination.....	47
Figure III.9 : Spectres infrarouge des échantillons de sol après calcination.....	47
Figure III.10 : Spectres infrarouge des échantillons liquides après filtration	48
Figure III.11 : Les images obtenues au MEB pour des échantillons pris en distance et en profondeur.....	49
Figure III.12 :Chromatogramme obtenue pour les échantillons contenant des HAP.....	50

Chapitre I : synthèse et bibliographie

Tableau I.1: Classification texturale USDA par classes de tailles de grains.....14

Tableau I.2 : Répartition des classes des pH des sols étudiés du périmètre selon les normes.15

Tableau I.3 : Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique.....16

Tableau I.4 : La classification des hydrocarbures et quelques substances.....21

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyses

Tableau II.1: Les solutions mères préparées dans l'eau distillée.....38

Chapitre III : Résultats et discussions

Tableau III.1 : Résultats de dosage des métaux lourds par SAA.....49

CE : Conductivité électrique
GNL : Gaz naturel liquéfié
GPL : Gaz pétrole liquéfié
HAP : Hydrocarbure aromatique polycyclique
HPLC : Chromatographie liquide à haute performance
H : Humidité
IR : Spectroscopie infrarouge
MOP : Matière organique particulaire
MOD : Matière organique dissoute
MEB : Microscopie électronique à balayage
MO : Matière organique
MES : Matière en suspension
pH : Potentiel hydrogène
RTC : Région transport centre
TRC : Transport par canalisation
SOPEG : La société Française des pétroles de gérance
SAA : Spectroscopie d'absorption atomique
USDA : Département d'Agriculture des États-Unis

Introduction

INTRUCTION

Le sol est une ressource naturelle qui supporte la croissance des plantes et assure ainsi la production primaire dont dépend directement la population humaine, c'est un milieu vivant et fragile, qui abrite d'intenses échanges et transformations biologiques et physico-chimiques, il est constitué d'un fond géochimique correspondant à la teneur naturelle en éléments traces trouvée dans les sols. C'est une interface biologique et géochimique déterminante dans le maintien du fonctionnement des écosystèmes [1].

Le sol joue un rôle essentiel dans la fonction de l'écosystème terrestre. C'est une ressource importante qu'il convient de la protéger tenant compte de l'accélération de sa dégradation liée, souvent à l'activité humaine [2].

La pollution des sols résulte des conséquences cumulées de diverses activités humaines, cette pollution se fait sous forme de rejets directs à partir des sites producteurs, ou bien par retombées atmosphériques après la dispersion des éléments dans l'atmosphère. Le sol est un support de nombreuses activités humaines (industrialisation, urbanisation, agriculture...), son rôle clef en matière d'environnement a été reconnu récemment : il intervient comme réacteur, récepteur, accumulateur et filtre des pollutions [3].

Le présent mémoire est articulé en trois parties, la première partie est axée sur la présentation du site d'échantillonnage et des méthodes adoptées pour la réalisation de ce travail.

La deuxième partie est consacrée à une synthèse bibliographique sur le sol et ses constituants, la pollution des sols par les métaux lourds et hydrocarbures.

Une troisième partie, est consacrée à la présentation des résultats, ainsi qu'une analyse statistique, afin de mieux identifier les corrélations entre les différentes variables étudiées suivies d'une discussion et interprétation des résultats obtenus pour les différents paramètres mesurés.

Et puis vers la fin il est nécessaire de conclure ce travail avec une conclusion générale qui répond au but initial.

Chapitre I
Synthèses bibliographiques

***Partie 1 : Présentation de la
zone d'étude SONATRACH***



PRESENTATION DE LA ZONE INDUSTRIELLE SONATRACH

Partie 1 : Présentation de la zone d'étude SONATRACH

1. Historique

SONATRACH est née le 31 décembre 1963, pour être un instrument d'intervention de l'état dans le secteur pétrolier aux cotés des compagnies françaises, jusqu'à 1966 en lui confie la mission de transport et de commercialisation. Mais depuis elle devint société nationale pour la recherche, la production le transport, la transformation et de commercialisation des Hydrocarbures.

Le réseau de transport qui appartient à la SONATRACH s'étend sur tout le territoire national. Avec 28 canalisations il relie le Sud au Nord et achemine presque tous les types d'hydrocarbures non raffinés.

Aujourd'hui, SONATRACH est la première entreprise du continent africain. Elle est classée 12^{ème} parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2^{ème} exportateur de GNL et de GPL et 3^{ème} exportateur de gaz naturel.

2. Création de la SONATRACH

SONATRACH « Spa », est une compagnie algérienne pour la recherche, la Production, le Transport, la Transformation et la Commercialisation des Hydrocarbures et de leurs dérivés.

Elle intervient également dans d'autres domaines tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables et le dessalement d'eau de mer. Elle exerce ses métiers en Algérie Et partout dans le monde où des opportunités se présentent, elle emploie 120 000 personnes dans l'ensemble du groupe.

La SONATRACH, créée par décret N° 63/491 du 31 décembre 1963, dispose d'un capital social de 350 milliards de Dinars entièrement et exclusivement souscrit et libéré par l'État. Son activité a débuté le 01/01/1964.

SONATRACH, avec sa stratégie d'internationalisation, opère également dans plusieurs pays du monde tels que le Mali, le Niger, la Libye, l'Égypte, l'Espagne, l'Italie, le Portugal, la Grande Bretagne, le Pérou et les USA.

SONATRACH, avec ses chiffres d'affaires assez importants, est classée comme suit:

- 1ère compagnie en Afrique,
- 3ème exportateur mondial de GPL,
- 6ème Compagnie Mondiale en matière de Gaz Naturel (réserves et production),
- 5ème exportateur mondial de Gaz Naturel,

- 4ème exportateur mondial de Gaz Naturel Liquéfié (GNL),
- 12ème dans le monde,
- 13ème Compagnie Mondiale concernant les hydrocarbures liquides (réserves et production).

3. Organigramme de SONATRACH

La figure 1 représente les différentes activités et direction de l'entreprise nationale SONATRACH.

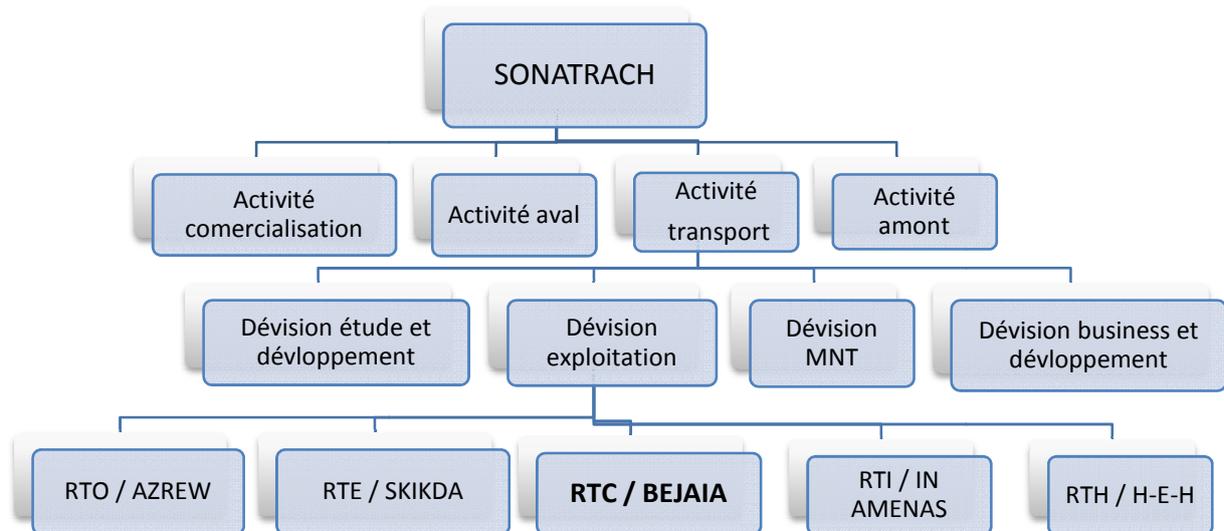


Figure 1: L'organigramme de l'entreprise nationale SONATRACH.

4. Description des principales Activités de la SONATRACH

L'activité de SONATRACH s'articule autour de quatre branches principales:

- ❖ **L'Activité Amont:** Recouvre les métiers de recherche, d'exploration, de développement et de production des hydrocarbures ;
- ❖ **L'Activité Transport:** Assure l'acheminement des différents hydrocarbures par canalisation.
- ❖ **L'Activité Aval:** A en charge le développement et l'exploitation des complexes hydrocarbures (liquéfaction, raffinerie,...)
- ❖ **L'Activité Commercialisation:** A pour mission l'élaboration et l'application de la stratégie commerciales de SONATRACH sur le marché national et international.

5. Description des terminaux

5.1. Le terminal NORD

- ❖ **Parc de stockage :** il contient selon la figure 2 :

- ✓ 12 bacs à toit flottant de capacité volumique de 35 000m³, Ces bacs sont posés de façon à former un demi-cercle

Chaque bac contient une vanne, deux agitateurs.

- ✓ Un jaugeur (transmetteur de niveau et de températures), des bouteilles de halon pour étouffer le feu en cas d'incendie.
- ✓ Un bac 4Y1 à toit fixe de capacité de 2900 m³ utilisé pour emmagasiner le brut



Figure 2 : Le terminal Nord et Sud de SONATRACH

L'ensemble de canalisations, de vannes et de pompes de chargement utilisés pour réceptionner les hydrocarbures venant du Sahara et stockage. , le manifold permet d' :

- Envoyer le liquide arrivant par ligne vers un réservoir choisi
- Vidange d'un bac au plusieurs vers le poste de chargement.
- Transvaser le brut d'un bac a un autre

Le manifold nord comprend des vannes réparties comme suit :

- ❖ **Manifold :**Huit vannes de transfert de collecteurs (KA, KB, KE, KF, KM, KN)
- 06 vannes pour chaque lignes (LA, LB, LC, LD, LE, LF).
- 06 vannes pour chaque pompe de remplissage.

Chaque bac est doté d'une vanne motorisé appelée vanne pied de bac comme montre la figure 3.



Figure 3:Manifold de SONATRACH.

❖ **Tour de contrôle** : C'est une salle dans laquelle on trouve les tables de commande pour le terminal nord et sud pour commander l'ouverture des vannes et la sélection du bac ,la pompe et le chemin de circulation du fluide, en plus ça la tour a une hauteur importante permettant de visualiser l'état des vannes et des bacs (Figure 4). Elle contrôle:

1. Le remplissage et la vidange des bacs;
2. Le transfert des hydrocarbures des terminaux nord et sud vers le port pétrolier
3. Le contrôle de la densité des fluides;
4. Le démarrage des pompes;
5. La commande automatique des vannes.



Figure 4 : ancienne tour de contrôle.

5.2. Le terminal Sud :

On trouve dans ce terminal les éléments suivants :

❖ Parc de stockage :

Il contient 4 bacs à toit flottant de capacité volumique de 50 000m³, chaque bac contient une vanne, deux agitateurs, un jaugeur (transmetteur de niveau et de température), en plus de ca des bouteilles de halon pour étouffer le feu en cas d'incendie.

❖ Salle électrique :

Elle est divisée en trois chambres, haut tension ; moyenne et basse tension. On trouve dans la chambre de haut tension, les deux arrivées de sonal gaz sont connectées a deux disjoncteurs principaux redondants, un disjoncteur en amont et en aval de chaque transformateurs de tension 30kv/5.5kv .Dans la chambre de moyenne tension, on trouve deux transformateurs 5.5kv/380v redondant ,un transformateur 380kv/380v pour extraire le neutre du secondaire, un disjoncteur en amont et on aval de chaque transformateur et des petits disjoncteurs pour l'alimentation des moteurs et des pompes. Dans la chambre de basse tension on trouve des batteries rechargeables ; des redresseurs de tension des chargeurs de batterie et des armoires contenant les automates Allen Bradly et siemens S7 300, S7 400 et un ordinateur pour la supervision des installations qui sont connectées directement avec l'automate S7 400 par un câble Ethernet. Dans ces chambres on trouve des capteurs de fumée et des bouteilles de Halon pour la sécurité de la salle électrique.

❖ Manifold :

Il contient un ensemble de canalisations, pompes, moteurs, électrovannes, la conduite d'étalonnage et le skid de comptage. Ces pompes aspirent le pétrole ou bien le condensat ensuite refoulent vers les postes de chargement qui se trouvent au port.

6. Description Activité Transport par Canalisation « T R C »

Le transport par canalisation est une activité névralgique qui constitue le véritable intermédiaire entre l'amont et l'aval de la chaîne production, transformation et commercialisation.

À ce titre son objectif vise dans sa finalité la liaison entre les centres de production et les centres de commercialisation et ce dans des conditions optimales (maximisation des prestations de services et minimisation des coûts).

L'Activité Transport par Canalisation TRC assure le transport des hydrocarbures (Pétrole brut, Gaz naturel, GPL Condensat) par pipelines, des zones de production aux:

- Zones de stockage,
- Complexe GNL, GPL,
- Raffineries,
- Ports pétroliers.

L'Activité Transport par Canalisation à la charge de définir, de réaliser, d'exploiter, d'assurer la maintenance, de faire évoluer le réseau de canalisation ainsi que les différentes installations qui s'y rattachent. T.R.C veille également au respect des conditions de sécurité et de préservation de l'environnement et assure la régulation entre la production et la commercialisation.

Il existe huit région de l'activité du transport par canalisation qui ont été créés, à savoir (Figure 5):

- Région Transport Centre - Bejaia (RTC),
- Région Transport de Haoud el- Hamra(RTH),
- Région Transport d'In Amenas (RTI),
- Région Transport Est -Skikda (RTE),
- Région Transport Ouest Arzew (RTO),
- Gazoduc Espagne/Maroc (GEM),
- Gazoduc Tunisie/Italie (GPDF),
- Gazoduc HassiR'mel (GHR).



Figure 5 : Réseau transport actuel.

7. Présentation de la Région Transport Centre Bejaïa

7.1. Historique de la RTC

La RTC est l'une des huit directions régionales de Transport par canalisations des hydrocarbures (TRC). Sa mission consiste en le transport, le stockage, et la livraison des hydrocarbures liquides et gazeux de la région centrent du pays via les pipelines. Elle fut fondée le 12 mars 1957 par la société Française des pétroles de gérance (SOPEG).

La Région Transport Centre Bejaïa est chargée de l'exploitation de deux oléoducs et d'un gazoduc.

7.2. Présentation des différentes structures de la RTC

La RTC est composée de trois sous-directions qui sont elles-mêmes décomposées en départements que nous allons décrire ci-dessous.

Les différents sous- directions et départements de la RTC sont représentés sur l'organigramme ci-joint sur la figure 6:

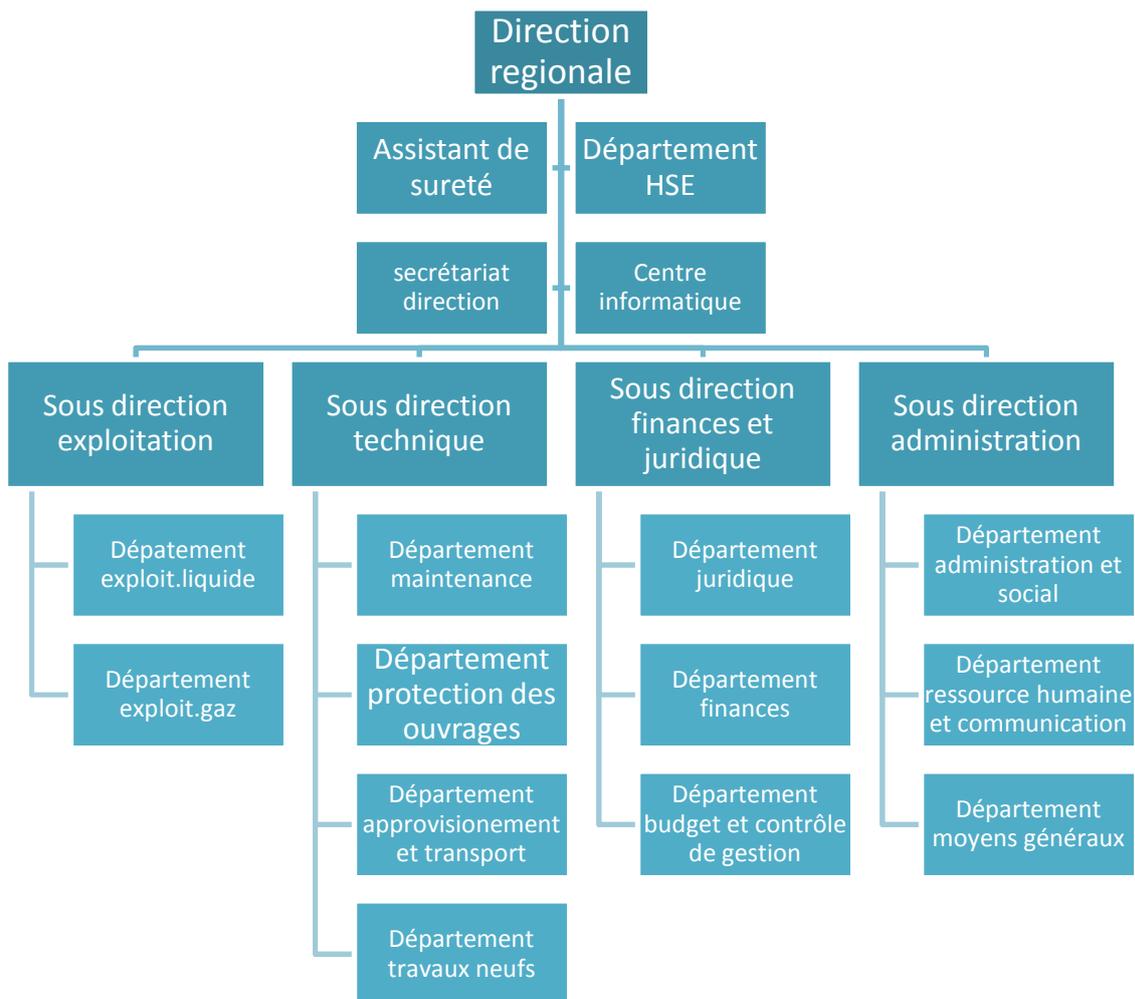


Figure 6 : Les différents sous- directions et départements de la RTC.

8. Stockage et distribution des produits pétroliers

Les structures de distribution des produits pétroliers dépendent de la nature de ces produits et des caractéristiques de leur marché, compte tenu de l'emplacement des raffineries et des centres de consommation. A l'origine, les raffineries étaient directement construites sur les lieux de production et les produits finis transportés par voie maritime vers les dépôts côtiers des pays consommateurs.

Tandis que le stockage répond à une double nécessité : il permet d'assurer la régularité de l'approvisionnement des consommateurs, compte tenu des fluctuations saisonnières de la demande ou des variations dans l'approvisionnement en pétrole brut, et de réduire le coût de transport des produits finis en permettant le transfert de grosses quantités. Et pour cela le stockage du pétrole brut se fait dans des réservoirs cylindriques appelés BACS d'une hauteur de 12 mètres et d'une capacité qui peut atteindre 46000m (Figure 7). Les BACS sont munis d'un toit flottant qui indique le niveau du produit dans le BACS. En cas de fuite une digue les entoure pour retenir les liquides, et pour la sécurité, il existe des extincteurs en cas d'incendie.



Figure 7: Bac de stockage de SONATR

*Partie 2 : Généralités sur les
sols*

Partie 2 : Généralités sur les sols

Les sols sont des systèmes multiphasiques complexes et hétérogènes, composés d'air, d'eau et de solide (sable, limon, argile, matière organique (MO), nutriments, écosystèmes,...etc.) en outre, les sols sont des médias ouverts et dynamiques, échangeant de la matière et de l'énergie avec l'atmosphère, la biosphère et l'hydrosphère [4], ils doivent accomplir cinq fonctions principales de base :

- ❖ Offrir un habitat physique, chimique et biologique pour les organismes vivants;
- ❖ Réguler les flux d'eau, le stockage et le recyclage des cycles des nutriments et d'autres éléments;
- ❖ Maintenir les activités et diversités biologiques pour subvenir à la croissance des plantes et la productivité des animaux;
- ❖ Filtrer, tamponné, transformé, immobilisé et dé-toxifier les substances organiques et inorganiques;
- ❖ Fournir un support mécanique aux organismes vivants et à leurs structures [5].

I.1 Définition du sol

Le sol est défini comme la couche supérieure de la croûte terrestre composée de particules minérales, de matières organiques, d'eau, de gaz, d'air et d'organismes [6]. Les constituants minéraux se divisent en deux catégories : des minéraux primaires résultant directement de la désagrégation de la roche mère, et des minéraux secondaires néoformés.

Les matières organiques du sol, quant à elles, se composent d'une fraction organique vivante (flore du sol, faune et racines végétales) de taille grossière (20 mm), non évoluée et d'une fraction organique morte (des résidus d'origine animale et végétale) en perpétuelle évolution, composées de substances humiques (acides humiques, fulviques et humine se distinguant principalement par leur solubilité en fonction de la méthode d'extraction) et de biomolécules issus d'organismes non transformées [1].

L'ensemble de ces constituants s'agrègent de façon plus ou moins stable et forment ainsi des structures poreuses dans lesquelles circulent la solution du sol et les phases gazeuses et également les éléments dissous et les particules les plus fines des sols (colloïdes, matières en suspension particulières).

Le sol assure ainsi des fonctions de transformation, de transfert et d'accumulation, tout en pouvant aussi subir des modifications importantes et rapides d'origine naturelle ou

anthropique ; dégradation, érosion, changement d'usage... c'est pour cela qu'il est considéré comme un réacteur biogéochimique complexe (multiphasique, interactif) [7].

Cependant le sol est un milieu vivant, complexe et dynamique, en évolution constante sous l'effet de différents paramètres tels que le climat, la topographie, la végétation et l'action de l'homme. Il joue un rôle d'interface entre les phases liquides et gazeuses dans l'environnement où il intervient comme système source, système transformateur, et système de transfert des éléments en trace [8].

I.2 Diverses phases du sol

I.2.1 Phase liquide du sol

La phase liquide du sol est souvent désignée par le terme « solution du sol », occupe une partie plus ou moins importante de la porosité du sol, est constituée d'eau où se trouvent diverses substances organiques et minérales dissoutes et des particules en suspension.

La composition de la solution du sol varie selon :

- ❖ Le climat,
- ❖ Les apports anthropiques (fertilisants, produits de traitement phytosanitaire... etc.)
- ❖ L'activité biologique du sol (exsudats racinaires, produits de synthèse et de dégradation microbienne ...etc.).

I.2.2. Phase gazeuse du sol

Dans un sol bien aéré, les gaz qui règnent dans l'atmosphère du sol sont :

- ❖ L'azote (78 à 80%) ;
- ❖ L'oxygène (18 à 20%) ;
- ❖ Le dioxyde de carbone (0,2 à 3%).

D'autres molécules gazeuses d'origine anthropique telles que les pesticides ou les Hydrocarbures aromatiques polycycliques peuvent également être détectées dans l'atmosphère du sol. Ces gaz peuvent exister dans le sol.

- ❖ Soit à l'état libre.
- ❖ Soit dissous dans la solution du sol.

Cependant, dans certaines conditions (d'hydro-morphine par exemple), la phase gazeuse peut être absente ; tout l'espace poral du sol est alors occupé par l'eau et le sol est dit saturé.

I.2.3 Phase solide du sol

La phase solide représente entre un demi et deux tiers du volume du sol. En général, 90% du solide est formé par des composants inorganiques. L'une des exceptions sont les sols tourbes qui contiennent plus de 50 % de matière organique. Les deux principaux éléments composant les sols sont : l'oxygène et la silice. Du point de vue minéralogique les constituants solides du sol peuvent être classés en deux groupes : les minéraux primaires et les minéraux secondaires. Les minéraux primaires sont les silicates qui apparaissent dans les sols par désintégration physique des roches, avec comme représentants dominants les minéraux sableux.

I.3. Les caractéristiques physico-chimique des sols

I.3.1. Propriétés physiques du sol

I.3.1.1. Structure du sol

La structure est un état du sol vivant à court terme. C'est le mode d'agencement des différents agrégats du sol. C'est derniers résultants de l'assemblage des particules entre-elle. En fonction de la présence ou non présence des agrégats, il y a deux (2) types de structures. Une structure avec agrégats dite fragmentaire et qui peut être arrondie, anguleuse ou feuilletés. Une structure sans agrégats dite continue (Figure I.1).

La formation de la structure du sol résulte principalement de perturbations physiques d'origine anthropique ou climatique [9,10]. Les pores créés par ces perturbations sont généralement allongés ; ce sont les fissures. L'activité biologique des organismes du sol participe aussi à la formation de la structure mais joue surtout un rôle majeur dans sa stabilisation. La dégradation de la structure résulte quant à elle de l'action de l'homme ou du climat dans les systèmes labourés [11].

Le sol provient en général de l'altération de la roche mère sous-jacente, appelée sous-sol. La pédologie décrit les différents types de sols ainsi formés, en distinguant la couche arable et le sol sous-jacent (Figure I.2). L'agriculture travaille la couche arable, plus riche en matières organiques. L'horizon sous-jacent, entre la couche arable et la roche mère, contribue aussi à la nutrition de la plante en éléments minéraux et en eau [12].

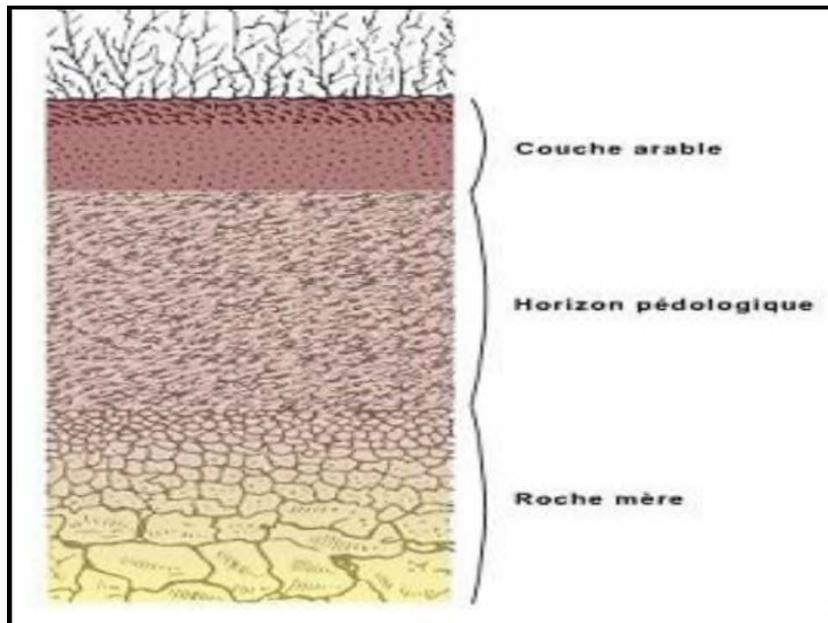


Figure I.1 : Structure du sol. [12]

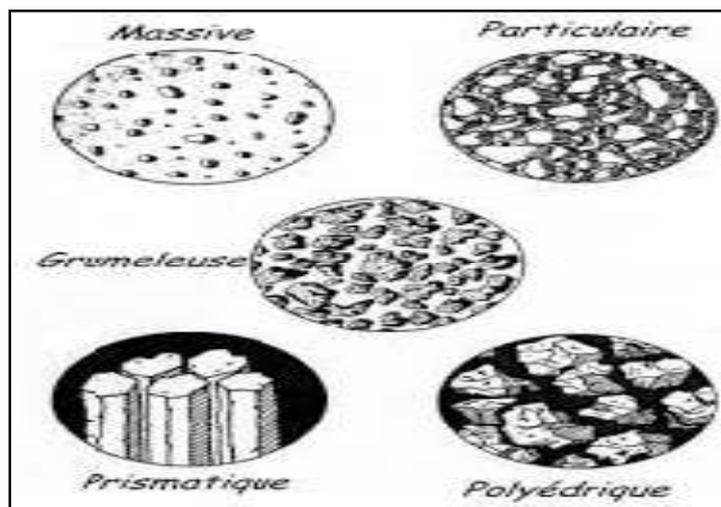


Figure I.2 : Quelques exemples de structure de sol [13].

I.3.1.2 Texture du sol

La texture ou la granulométrie fait référence à la répartition des sédiments en fonction de leur taille. C'est une propriété fixe du sol qui est de loin la propriété la plus importante [13].

La texture a une influence dominante sur les propriétés physiques et chimiques des sols. Plus le sol est argileux, plus sa fertilité chimique est élevée. Plus le sol est sableux, il présente une bonne fertilité physique. La fraction grossière (partie du sol dont le diamètre est supérieur à 2 mm exemple des graviers et Caillaux) ont un impact très important pour l'aération, la circulation de l'eau et l'érodabilité du sol.

La texture du sol influence l'enracinement des plantes, elle favorise ou limite le développement spatial de l'appareil racinaire [14,15]. Et on admet que la croissance des racines est favorisée par une texture grossière [16].

La texture du sol est donc définie par une analyse de la distribution de taille de particules par différentes méthodes représentatives. En général, les méthodes sont utilisées pour séparer les particules de sol en trois différentes classes : sable, limon et argile (Figure I.3). La classification donnée par le Département d'Agriculture des États-Unis (USDA) est montrée dans le tableau I.1.

Tableau I.1 Classification texturale USDA par classes de tailles de grains [17].

Matériaux (texture)	Diamètre minimal	Diamètre maximal
Cailloux, galets	20 mm	200 mm
Graviers, gravillons	2 mm	20 mm
Sable grossier	0.5 m	2 mm
Sable moyen	250 μm	500 μm
Sable fin	100 μm	250 μm
Sable très fine	50 μm	100 μm
Limon (moyen, grossier)	20 μm	50 μm
Limon fin (silt)	2 μm	20 μm
Argile	0 μm	2 μm

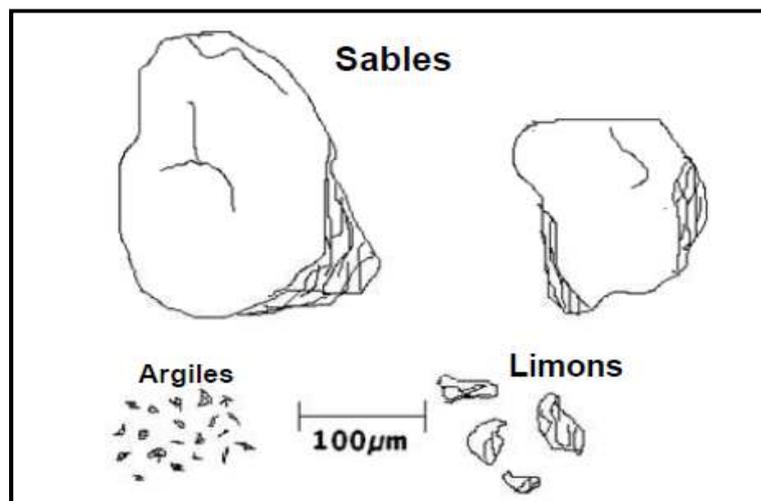


Figure I.3 : Représentation schématique des particules de sable, de limon et d'argiles [18].

Le sol est aussi classé en fonction de la proportion des grains appartenant aux trois classes principales qui sont représentées sous forme de triangle dans la figure I.4.

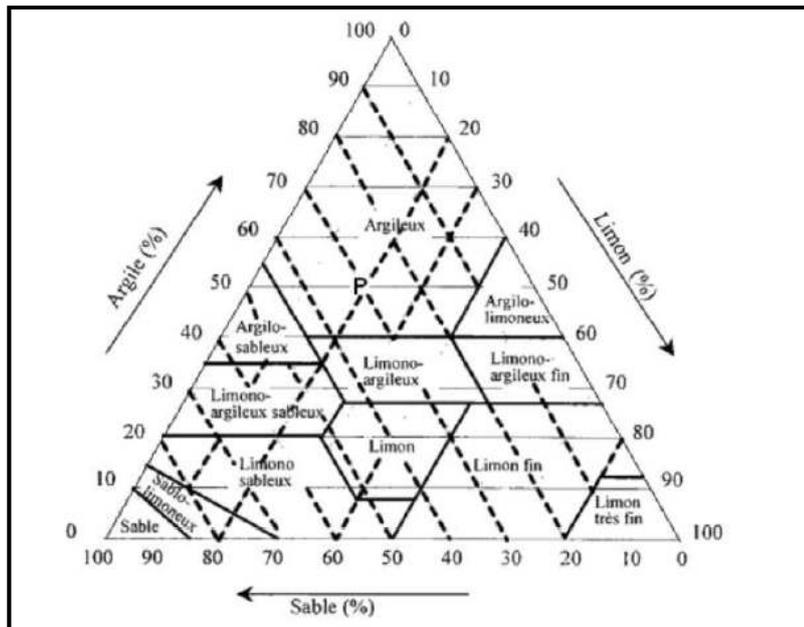


Figure I.4 : Triangle des textures selon Département d'agriculture des États-Unis[19,20].

I.3.2 Propriétés chimiques

I.3.2.1 pH du sol

Le pH (pour potentiel hydrogène) est un indice qui indique le niveau d'acidité ou d'alcalinité du sol, il est exprimé sur une échelle de 1 à 14. Une valeur de 1 indique une solution très acide, la valeur 7 indique la neutralité, tandis que la valeur 14 exprime l'alcalinité du sol ou la basicité selon tableau I.2.

Il est défini comme le logarithme décimal de la concentration d'une solution en ion H^+ . Il permet d'approfondir les modalités d'interaction entre les ions et les surfaces absorbantes du sol [21].

Tableau I.2: Répartition des classes des pH des sols étudiés du périmètre selon les normes [22].

pH	< 6	6 à 6.5	6.5 à 7.3	7.3 à 7.8	7.8 à 8.5	8.5 à 9	> 9
Casse du sol	Acide	Faiblement acide	Neutre	Faiblement basique	Moyennement basique	Tendance alcaline	Très alcaline

I.3.2.2 Humidité du sol

Définie comme eau évaporable contenue dans la portion du sol se trouvant au-dessus de la nappe libre. Elle est un paramètre prépondérant dans les échanges d'énergie à l'interface.

surface-atmosphère. Evaporation, infiltration, ruissellement de surface, quantité d'eau absorbée par la végétation sont très dépendants de l'humidité du sol. Il s'agit donc d'un paramètre clé du cycle hydrologique [23].

I.3.2.3 Conductivité électrique

La conductivité électrique des sols détermine leur degré de salinité, qui se traduit par un comportement différent des cultures vis-à-vis des classes de salinité.

Un sol est considéré salé, lorsque la conductivité électrique de l'extrait saturé est supérieure à 4 ds/m à 25°C [24]. L'échelle illustrée dans le tableau I.3 indique la classe de salinité des sols sur un extrait 1/5 et l'effet sur le rendement des cultures [25].

Tableau I.3 Échelle de salinité en fonction de la CE [22,25].

CE dS/m à 25C°	Degré de salinité
<4	Non salin
4.8<CE<8	Peu salin
8<CE<16	Très salin
16<CE<32	Fortement salin
<32	Très fortement salin

I.3.2.4 La matière organique (MO)

La matière organique (MO) des sols est constituée de l'ensemble des composés contenant du carbone qui ont été formés par les organismes vivants. La MO du sol constitue un compartiment très hétérogène du sol en perpétuel renouvellement. On définit le turnover de la MO comme le temps de dégradation totale d'un composé organique dans un sol. Le turnover de la MO est influencé par les apports annuels au sol.

La MO représente la plus grande réserve de carbone de la surface de la terre, toutefois elle ne représente que quelques pourcents de la masse totale du sol et environ 2 % de son volume. La matière organique est essentiellement constituée de carbone, sa composition moyenne est de 50 % de carbone, 40 % d'oxygène, 5 % d'hydrogène, 4 % d'azote et 1 % de soufre.

La nature et la fonctionnalité de la MO dépendent fortement de son origine et son état de dégradation dans le sol [26,27]. On peut dissocier la MO des sols en trois classes principales: la composante vivante (microorganismes, petits vertébrés, racines,...), la matière organique particulaire (MOP) très peu dégradée, et la matière organique dissoute (MOD) fortement dégradée (Figure I.5). Les constituants non vivants représentent environ 85 % de la MO.

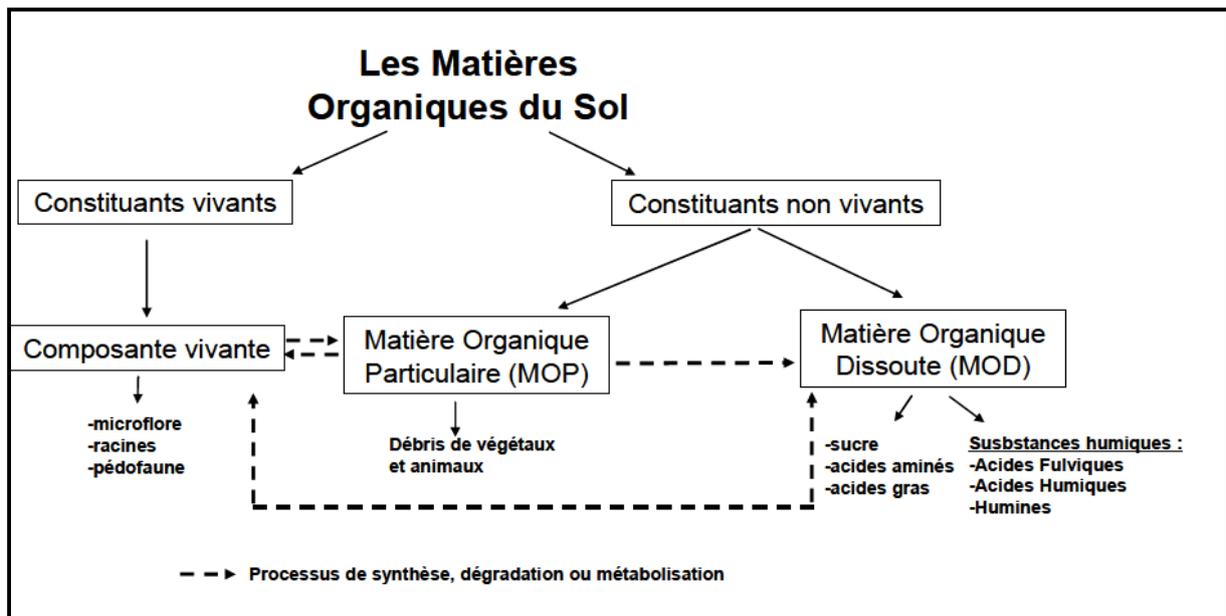


Figure I.5 : Les constituants de la matière organiques des sols [28,29].

La matière organique du sol joue trois rôles essentiels:

- ❖ Énergétique, comme source de carbone;
- ❖ Physique, comme élément majeur de la structure du sol;
- ❖ Nutritionnel, pour l'alimentation des plantes. Ces trois rôles dépendent des types de composés organiques, de leur quantité et de leur transformation.

I.3.2.5 Matière en suspension (MES)

Il s'agit des matières non solubilisées dans l'eau. Elles comprennent toutes les matières minérales ou organiques. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière, par conséquent, la photosynthèse. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles, hydrocarbures aromatiques...) [30].

I.4 Pollution des sols

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel. Elle modifie les composantes physiques, chimiques ou biologiques. Elle apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques. La pollution comprend des notions à la fois qualitatives et quantitatives. Ainsi à côté des polluants artificiellement par les activités humaines.

Les pollutions du sol peuvent apparaître de différentes manières. Une grande partie des composés, qui ont de l'influence sur les sols et sur les organismes qu'ils contiennent.

Pour la classification classique le phénomène de pollution envisageant ce qui se passe au niveau du sol, de l'air et de l'eau. Mais, actuellement, elle peut se faire selon la nature du facteur ou d'agent polluant considéré :

➤ **Pollution physique**

- Radionucléides actifs (émission de rayonnements)
- Caléfaction (pollution thermique)
- Bruit et vibrations à basse fréquence (infrasons).

➤ **Pollution chimique**

Parmi les principaux polluants impliqués dans la pollution chimique : Dérivés gazeux du carbone et hydrocarbures liquides, matière plastiques, pesticides, les métaux lourds,... etc.

La pollution organique par les hydrocarbures est provoquée par les différentes activités humaines qui sont à l'origine de nombreuses contaminations localisées ou diffuses au niveau des sols et sous-sols à savoir:

✓ **Les activités industrielles**

- Des accidents, incidents ou anomalies divers, lors de l'extraction du stockage, de la transformation et du transport de matières premières, de produits ou de déchets dangereux, ou lors de la distribution des produits dangereux.
- Des transferts de pollution issus des rejets atmosphériques ou aqueux, vers les sols.

✓ **Les activités urbaines**

- En lien avec des activités artisanales ou commerciales utilisant ou engendrant des produits et déchets dangereux au même titre que les activités industrielles.
- Par retombées atmosphérique de nombreuses sources de pollution atmosphériques dans les villes ou à leur périphérie comme les usines d'incinération ou les véhicules motoriser.

La pollution par les hydrocarbures est due à des rejets, volontaires ou non, de produits pétroliers. Elle révèle à la fois de la pollution chimique et de la pollution organique [31].

Autre voie de pollution est bien marquée la pollution minérale par métaux lourds. Ces derniers présents dans l'eau et l'environnement terrestre sont des éléments nécessaires au fonctionnement normal des plantes et des animaux. Ils jouent un rôle important dans La transformation de la matière, principalement dans les mécanismes enzymatiques [32].

Dans les sols, les métaux sont naturellement présents, sous des formes relativement peumobiles et à faible teneurs. Les éléments souvent impliqués dans les pollutions sont : Hg, AgPb, Cu, Ni, Zn et Cd [33]. Parmi la variété de polluants du sol, les métaux lourds posent un problème particulier dans la mesure où ils sont non biodégradables : ils s'accumulent donc dans le sol tant que perdure la source de contamination ; cette période peut durer plusieurs dizaines d'années.

Les métaux toxiques ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connupour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd) [34].

La présence des métaux lourdes dans les sols peut être naturelle ou anthropogénique comme montre la figure I.7 et la figure I.8 [35]. Les sols légers sont très peu pollués en métaux lourds : ces sols, ne contenant que de faibles quantités d'argiles et de composés humiques, ont un pouvoir d'adsorption faible vis-à-vis des métaux lourds. C'est la raison pour laquelle la pollution par les métaux lourds est plus élevée dans les sols lourds que dans les sols légers [36].

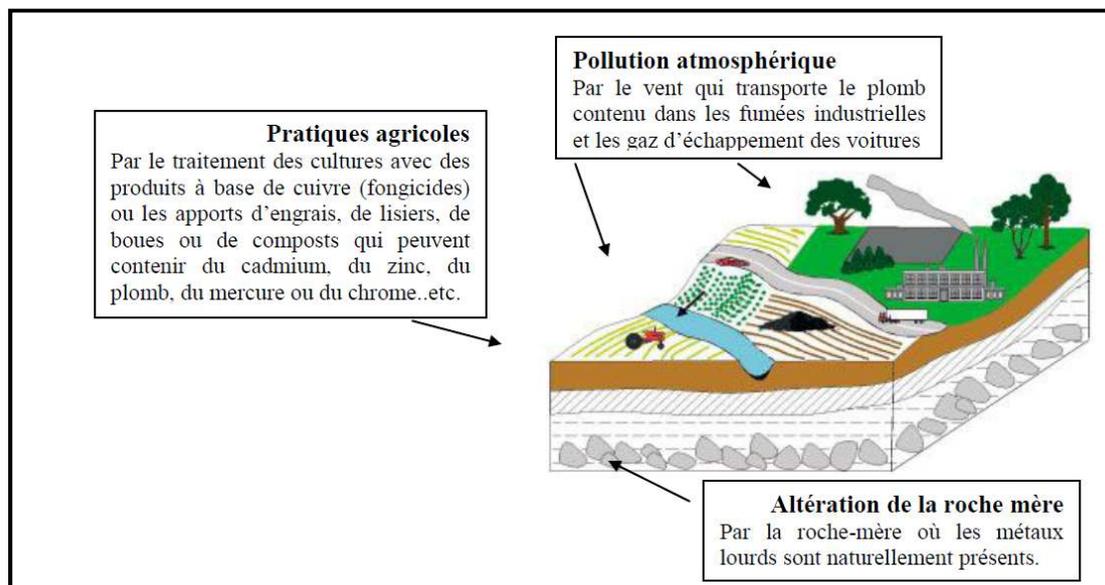


Figure I.6 : Origine des métaux lourds dans le sol.

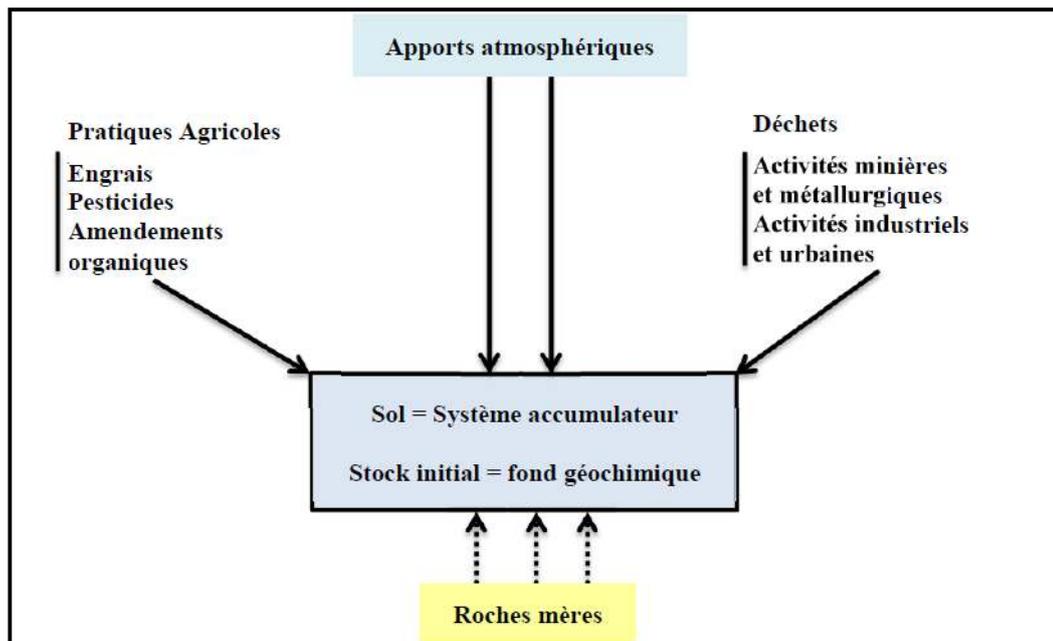


Figure I.7 : Origine des métaux lourds dans le sol [3].

I.5 Le Pétrole

« Pétrole » est issu de deux mots latins « Petra » et « Oleum » et signifie littéralement « huile de pierre », généralement plus léger que l'eau de densité qui varie entre $0,7 \div 0,9$ [37].

Le pétrole est un combustible fossile dont la formation date d'environ 20 à 350 millions d'années. Aussi appelé « huile » ou « pétrole brut ». Le pétrole est une huile minérale naturelle utilisée comme source d'énergie [38].

Le forage du premier puits destiné à la production de pétrole a été fait par le « colonel Drake » en 1859 près de Titusville (Pennsylvanie). Dès les années 1950, il constitue la première source d'énergie dans le monde et en parallèle décroît l'utilisation du charbon qui était en premier rang. De ce fait le pétrole est devenu le véritable vecteur de la révolution industrielle, il pouvait être utilisé comme revêtement étanche, médicament miracle ou arme de guerre... [39]

Le pétrole brut regroupe une grande variété de fluides riches en hydrocarbures qui se sont accumulés dans les réservoirs souterrains. On le rencontre dans les bassins sédimentaires, où il occupe les vides de roches poreuses appelées réservoirs. Les gisements de pétrole correspondent à une accumulation dans une zone où le réservoir présente des caractéristiques favorables et constitue un piège : la fuite du pétrole - moins dense que l'eau - est rendue impossible vers le haut par la présence d'une couverture imperméable (argiles, sel) et latéralement par une géométrie favorable (dôme anticlinal, biseau de sables dans des argiles) [39].

Ce dernier présente des propriétés considérablement simples: couleur, odeur, et débit qui reflètent la diversité de l'origine du pétrole. Ces derniers sont détectables on utilisant une série d'analyses, d'où on peut également détecter d'autres types moléculaires présents dans le pétrole brut, qui comprennent des composés de l'azote, l'oxygène, le soufre les métaux (en particulier nickel et vanadium), ainsi que d'autres éléments [38].

I.6 Les Hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés organiques constitués uniquement d'atome de carbone et d'hydrogène, ainsi, ils possèdent une formule brute du types C_nH_{2n+1} , avec n et m des entier naturels. Ces composés naissent dans les conditions bien particulières. En effet, ils sont formés par la décomposition d'organismes, enfouis et accumulés [40].

Outre les composés soufrés par exemple, 80% du pétrole sont constitués d'hydrocarbures saturés et aromatiques [41].

Les hydrocarbures regroupent différents produits pétroliers (pétrole brut, pétrole raffiné, kérosène, essences, fuel, lubrifiants, et huiles a moteurs). On définit les hydrocarbures par des familles de dérives en fonction de leur utilisation, ces familles sont basées sur des coupes de raffinage pétrolier. Il est possible de préciser le nombre d'atomes des molécules et leurs Composants [42].

I.6.1 Classification des hydrocarbures

Les différentes classifications des hydrocarbures sont présentées dans le tableau I.4.

Tableau I.4 La classification des hydrocarbures et quelques substances[31].

Famille	Sous-familles	Substances (liste non exhaustive)
Les hydrocarbures saturés : La chaîne carbonée est constituée uniquement de liaisons simples	Alcanes	Méthane Ethane Propane Butane et isobutane Pentanes Hexanes ...
	Cyclanes	Cyclopropane Cyclobutane Cyclopentane...

Les hydrocarbures insaturés : Possèdent une ou plusieurs liaisons doubles (les alcènes) ou triple (les alcynes) liaisons entre les atomes de carbone	Alcènes	Éthylène Propylène Butènes Butadiènes Isoprène...
	Cyclènes	Cyclopentane Cyclohexanes...
	Alcynes	Acétylène Méthylcétylène...
Les hydrocarbures aromatiques: familles qui ont le nombre de noyaux varie de 2 à 6. Ces composés sont dominés par des composés mono-, di- et tri-aromatiques et ne représentent que 10 à 30% des hydrocarbures totaux d'un brut pétrolier	Monocycliques	Benzène Toluène Ethylbenzène Xylènes
	Polycycliques	Naphtalène Anthracène Phénanthrène Pyrène...

I.6.2 Devenir des hydrocarbures dans le sol

Le caractère lipophile des hydrocarbures aromatiques leur permet de s'adsorber sur la fraction organique des particules du sol [43]. Leur adsorption sur les matières organiques implique une faible mobilité dans le sol et une accumulation sur de longues périodes de temps. Ils vont donc facilement se volatiliser de la surface du sol ou être entraînés dans l'eau par ruissellement ou lixiviation. La volatilisation, la lixiviation, les dégradations biotiques et abiotiques ainsi que l'absorption par les plantes sont les principales voies d'élimination des hydrocarbures aromatiques présents dans les sols [44].

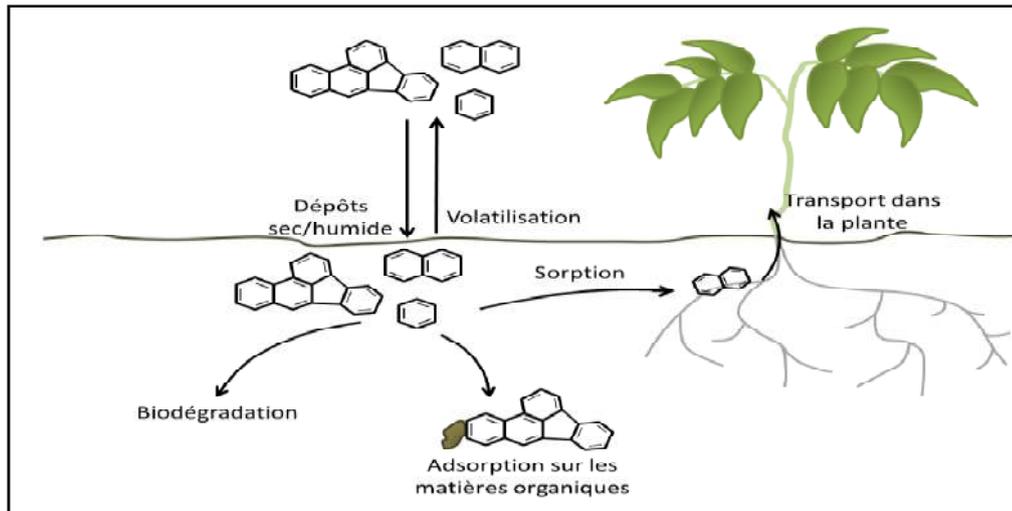


Figure I.8 : Devenir des hydrocarbures aromatiques au niveau du sol.

I.6.3 Les sources des hydrocarbures dans les sols

Le sol est dit contaminé lorsqu'une substance potentiellement dangereuse est introduite dans le milieu naturel quel que soit sa teneur [45]. La contamination des sols par les hydrocarbures occupe une position particulière en raison de la toxicité de certains d'entre eux, ainsi que les quantités importantes susceptibles d'être introduites dans le sol [46].

Les hydrocarbures peuvent être libérés dans l'environnement par des phénomènes naturels. Mais la majorité des sources de pollution des sols par les hydrocarbures sont d'origine anthropique.

Les différentes sources d'hydrocarbures dans l'environnement selon qu'elles soient liées [47] :

- ✓ au transport ;
- ✓ à l'exploitation des gisements ;
- ✓ aux rejets telluriques ;
- ✓ aux sources naturelles ;
- ✓ aux retombées atmosphériques

Les hydrocarbures s'accumulent dans l'environnement lors de l'utilisation du pétrole et de ses dérivés (gasoil, kérosène,...), de la combustion incomplète ou la pyrolyse de matières organiques (combustible fossile) [48].

Les produits pétroliers, notamment dans les stations-services, sont parmi les principales causes de pollution du sol à cause des déversements des hydrocarbures lors du remplissage des cuves de stockage de la station ou de la distribution de carburants, lors d'une fuite dans les réservoirs ou dans les canalisations entre les citernes et les îlots de pompes. C'est une pollution ponctuelle [31].

I.6.4 Effets des hydrocarbures sur le sol

L'usage des hydrocarbures émet dans l'atmosphère, dans l'eau et dans le sol, des quantités importantes de substances nuisibles [49].

Le type d'hydrocarbures, la durée du contact, la quantité déposée et surtout le niveau de toxicité, influe sur l'importance de l'impact [50].

D'une part, le pétrole et ses dérivés se présentent comme des mélanges complexes. D'autre part, les hydrocarbures à faible poids moléculaire montrent une toxicité due à leur effet solvant sur les membranes [51].

Le sol étant le support indispensable aux animaux, aux végétaux terrestres et à l'homme, toute pollution de celui-ci retentira sur la flore, la faune et sur l'homme lui-même [49].

A. Effets sur l'aspect physique

Les hydrocarbures enrobent les particules minérales, et assurent leur dispersion, grâce à la structure poudreuse dispersée de la terre, cette structure assure une bonne circulation des fluides dans le sol, et accroît en même temps le pouvoir de rétention. En effet, les sols pollués par les hydrocarbures ont 2% d'humidité de plus que les sols sains. La présence des hydrocarbures améliore la stabilité structurale du sol et réduit sa mouillabilité [52].

B. Effets sur l'aspect chimique

Les effets des hydrocarbures sur les propriétés chimiques du sol consistent généralement en [53] :

- ✓ une augmentation de la concentration en éléments traces tels que Mn, Zn, Fe, Pb.
- ✓ une diminution de la teneur en quelques sels minéraux tel que : le phosphore (P) et le potassium(K), et une augmentation en carbone organique total (C).
- ✓ une augmentation de la CE entraînant l'inhibition de certaines plantes très sensibles à la présence de sels.
- ✓ une diminution du pH du sol.

I.7 Les eaux usées

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargées en matières minérales ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique. L'eau usée est l'eau qui a été utilisée et qui doit être traitée avant d'être réintroduite vers d'autres sources d'eaux pour qu'elles ne causent pas la pollution de ces autres sources. Les eaux usées proviennent de plusieurs sources. Tout ce qu'on évacue en tirant la chasse d'eau et lorsqu'on utilise les éviers et considérés comme une eau usée [54].

Les eaux usées industrielles regroupent toutes les eaux qui sont en principe rejetées par l'usine dans le milieu extérieur, après avoir contribué à la fabrication, au nettoyage, au transport, au refroidissement. De façon générale, elles se composent des :

- eaux de fabrication,
- eaux des circuits de refroidissement,
- eaux de lavage des sols et des machines,
- rejets des services généraux.

I.7.1 Les eaux de purge de l'industrie SONATRACH-RTC-Bejaia

Ces eaux huileuses stockées dans les bacs de stockage des hydrocarbures sont des eaux qui peuvent contenir [55] :

- Des particules en suspension (TSS) :
- Des sels dissous (TDS) de différentes natures ;
- Des métaux lourds et radioactifs ;
- Des produits organiques dissous :
- Des gaz dissous (CO₂, O₂, H₂S, etc.).

Les eaux de production pétrolière ont longtemps été considérées comme un sous-produit gênant. Après un traitement plus au moins poussé en fonction de leur destination, elles sont rejetées dans l'environnement, ce qui pousse à y réfléchir.

Les eaux usées peuvent contenir divers agents pathogènes. Ces organismes peuvent contaminer les cultures, les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines

Chapitre II
Matériels et méthodes
d'analyses

Chapitre II

Matériels et méthodes d'analyses

II.1. Prélèvement des échantillons

Notre échantillonnage a été effectué au niveau de terminal marin nord de SONATRACH-TRC de Bejaia. Nous avons prélevés 4 séries en profondeurs et 3 séries en fonction de la distance afin de récupérer 12 échantillons on totale. Le 1^{er} série au niveau du manifold et les 3 séries eu niveau du séparateur par les bacs de stockage du pétrole 4D10. Les différents points de prélèvements sont représentés sur la figure II.1



Figure II.1 : Point de prélèvement des échantillons.

II.2 Échantillonnage du sol contaminé de la SONATRACH-Bejaia

Afin de réaliser notre échantillonnage, nous avons utilisé une pioche en bronze, une pelle en bronze, des sacs en plastique et des étiquettes pour numérotter les échantillons.

Des prélèvements bien précis ont été réalisés sur une profondeur de 15 à 25 cm par rapport à la surface. D'autres prélèvements ont été réalisés en fonction de la distance (3 mètres entre chaque prélèvement). La figure III.1 représente les différents points de prélèvements.

En notant que sur tout le reste de notre manuscrit nous avons utiliser deux nomenclatures pour identifier nos échantillons en distance (série noté S numéroté de 1 à 4) et en profondeur noté E et numéroté de 1 à 3.

La quantité du sol global prélevé est environ de 2000g pour qu'il soit suffisamment représentatif et reproductible en analyses et en résultats caractéristiques de l'ensemble du sol duquel l'échantillon est tiré. L'échantillon doit être manipulé de manière à ce que sa composition ne soit pas modifiée pendant le transport et toutes les précautions possibles doivent être prises afin d'éliminer la contamination ou un changement de composition de l'échantillon causé par la température ou les manipulations inadéquates.

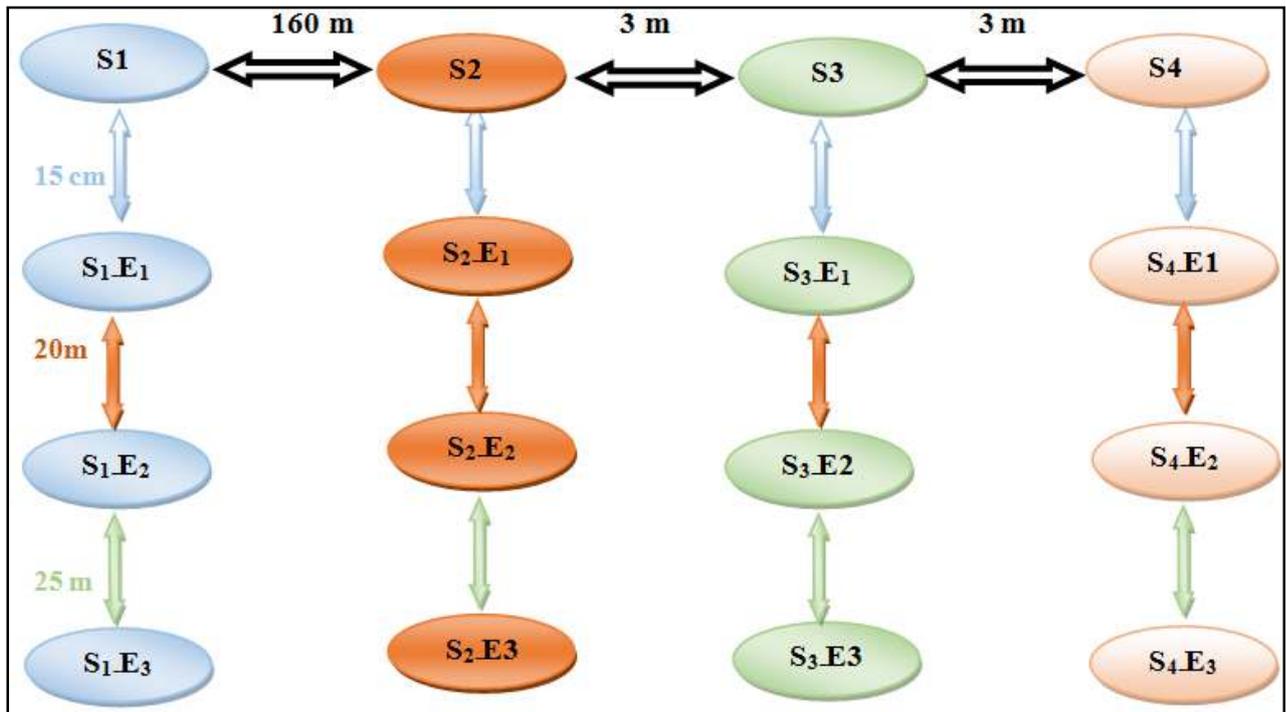


Figure III.2 : Schéma représentatif des points de prélèvements.

II.3. Prétraitement des échantillons

Les différents traitements réalisés sur les échantillons avant l'analyse ou la préparation des échantillons est souvent l'étape la plus longue et surtout celle qui génère le plus de source d'erreur dans la chaîne analytique. A ce titre, la préparation de l'échantillon est souvent considérée comme le maillon faible de la chaîne analytique. Cette opération comprend différentes tâches proprement dites : agitation, centrifugation, filtration.

II.3.1 Agitation

C'est l'opération qui consiste à mélanger une phase ou plusieurs pour rendre une ou plusieurs de ces caractéristique homogènes. Plusieurs types, d'opération liée à l'agitation peuvent être distingués :

- Augmentation du transfert thermique;
- Suspension d'un solide dans un liquide;
- Dispersion de deux liquides non miscibles;
- Dispersion d'un gaz dans un liquide.

L'agitation est réalisée par la mise en mouvement de la phase liquide (Figure II.2). Soit la masse est composée de différentes substances et l'opération vise à homogénéiser celle-ci ou à mettre en contact des réactifs pour qu'ils réagissent plus efficacement, soit le milieu est déjà homogène et l'opération d'agitation est effectuée pour réaliser un transfert thermique ou un maintien de particule solide en suspension.



Figure II.3 : Photo d'une agitation magnétique

II.3.2 Centrifugation

La centrifugation est une technique permettant de séparer les composés d'un mélange en fonction de leur densité en les soumettant à une force centrifuge. Les constituants contenus dans un liquide, peuvent être séparés par centrifugation. Ces particule sont soumis à plusieurs type de force : la force de gravité, la poussée d'Archimède et pour la majorité d'entre elle l'agitation moléculaire.

Les centrifugeuses sont des dispositifs rotatifs qui, grâce à l'accélération centrifuge, augmente le poids apparent des particules pour améliorer la séparation solide-liquide. La force relative centrifuge appliquée sur la particule dépend de la vitesse angulaire et du rayon de

rotation. Cette méthode est plutôt utilisée en fournée et à petite échelle. Cette technique appliquée à grande échelle nécessite des équipements complexes et très onéreux.



Figure II. 4 : Photos des étapes d'une centrifugation.

II.3.3 Filtration

La filtration c'est un procédé qui consiste à retirer les particules en suspension en faisant passer l'eau à travers plusieurs type de milieux filtrants, comme le sable, le gravier, le charbon en grains et divers filtre à tissu, à fibre et à céramique (Figure II.4). La majorité des filtres reposent sur un procédé physique de tamisage, mais certains fonctionnent également grâce à des mécanismes chimique. La filtration permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur et de turbidité et indirectement les odeurs [56].



Figure II.5 : Photo d'une filtration.

II.4 Méthodes de caractérisations physico-chimiques du sol

II.4.1 pH métrie du sol

Le pH est représenté la concentration en ions H^+ dissocié présent dans la solution du sol à un instant donné, en équilibre avec les radicaux qui les ont libérés avec les autres ions dans le milieu. Le pH est le logarithme décimal de l'inverse de la concentration d'une solution en ion H^+ donné par l'équation: $pH = \text{Log}_{10} \cdot (1/H^+)$

Le pH eau est déterminé selon la norme AFNOR X 31-103 par la mesure du pH d'une suspension de sol dans l'eau (rapport masse/volume = 2/5) après 1 heure d'agitation puis décantation.

Le pH eau ne constitue cependant pas un paramètre décrivant le mieux les échanges d'ions à l'interface liquide-solide. En effet, l'équilibre dans l'eau (pH eau) ne rend pas de la totalité des ions acides (protons) fixés sur le complexe avec l'argile qui est notamment responsable de la capacité d'échange du sol.

❖ Mode opératoire

- On pèse 2g de sol humide et on le place dans un bécher de 100 ml ;
- On ajoute 5 ml d'eau distillée ;
- On agite la suspension pendant 1heure a l'aide d'une plaque chauffante et un barreau magnétique ;
- On mesure le pH de la suspension par pH mètre (Figure II.5) ;
- Après chaque mesure, on rince l'électrode avec l'eau distillée et on le sèche sur un papier absorbant.



Figure II.6 : Mesure du pH à l'aide d'un pH mètre.

II.4.2 Mesure de la conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est déterminé selon la norme AFNOR X 31-103 par la mesure du la conductivité d'une suspension de sol dans l'eau (rapport masse/volume = 2/10) après une agitation jusqu'à l'homogénéisation de la solution.

❖ Mode opératoire

- On pèse 2g de sol humide et le placer dans un bécher de 100 ml ;
- On ajoute 10 ml d'eau distillée ;
- On agite la suspension jusqu'à l'homogénéisation à l'aide d'une plaque agitatrice et d'un barreau magnétique ;
- On mesure la conductivité de la suspension par un conductimètre (Figure II.6).
- Après chaque mesure, on rince l'électrode a l'eau distillée.



Figure II.7: Mesure de la conductivité à l'aide d'un Conductimètre.

II.4.3 L'humidité du sol

L'humidité est la quantité d'eau contenue dans un échantillon quelconque et qui disparaît sous l'effet du chauffage, elle est quantifiée en masse perdue de sol par dessiccation à l'étuve dans des conditions déterminées.

Le taux d'humidité, dans nos échantillons (5g du sol), a été déterminé par le procédé de dessiccation à une température de 105°C, dans une étuve isotherme ventilée à la pression atmosphérique jusqu'à l'obtention d'un poids constant (toute une nuit) (Figure II.7).



Figure II.8: Étuve isotherme.

❖ Mode opératoire

- On a prélevé 5g de sol humide (m_0) pour chaque échantillon et on le place dans un creuset.
- On a porté le creuset dans l'étuve à une température de 105°C pendant 24h. On a retiré le creuset et on le laisse refroidir dans un dessiccateur puis on a pesé l'échantillon sèche.

L'humidité H est exprimée en pourcentage massique et elle est égal à : $H \% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \cdot 100$

D'où H : humidité.

m_0 : masse de l'échantillon avant séchage.

m_1 : masse de l'échantillon après séchage

II.4.4 La matière organique (MO)

Après élimination de l'humidité du sol, la détermination de la MO se fait par la perte en masse dans un four à moufle à 550° C pendant trois heures (3h). Le poids perdu représente le poids de la matière organique existant dans ce sol [57].

❖ Mode opératoire

- On a prélevé 2 g de sol humide et on le place dans un creuset, on porte le creuset à l'étuve à 105° C pendant 24h. On retire le creuset et on le laisse refroidir dans un dessiccateur puis on le repèse.
- On porte le creuset dans un four à moufle à 550° C pendant 3h, on retire le creuset et on le laisse refroidir dans un dessiccateur puis on le pèse à nouveau (Figure II.8).

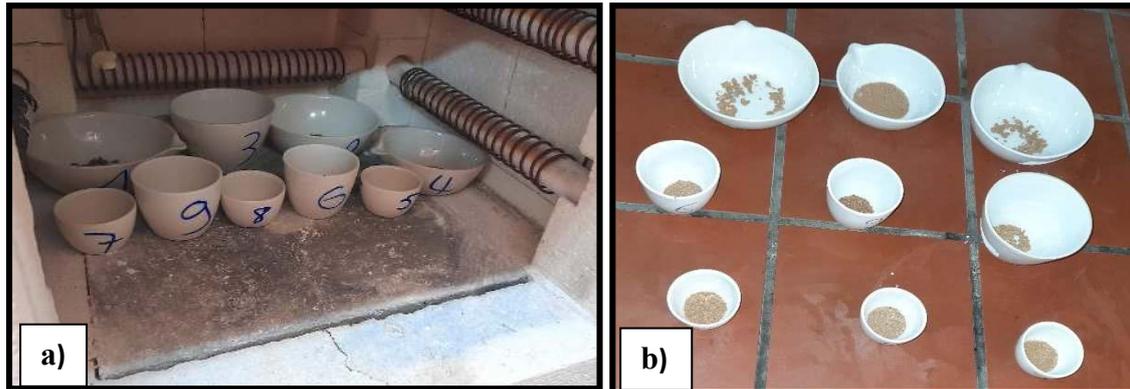


Figure II.9 : Les échantillons dans le four: a) avant séchage et b) après séchage.

La matière organique (MO%) est exprimé par l'expression à : $MO = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \cdot 100$

Où : m_0 : La masse avant calcination

m_1 : La masse après calcination

II.4.5 La matières en suspension (MES)

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation. Quelle que soit la méthode choisie, il est nécessaire pour obtenir une reproductibilité satisfaisante de respecter rigoureusement les conditions opératoires et d'utiliser le même type de matériel. Dans notre étude, nous avons utilisé la méthode de filtration sur papier filtre et de micro-filtre de 45 μm .

La solution est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

❖ Mode opératoire

- On pèse 5g de sol humide et le placer dans un bécher de 100 ml ;
- On ajoute 50 ml d'eau distillée ;
- On agite la suspension jusqu'à l'homogénéisation (1 h) à l'aide d'une plaque agitatrice et d'un barreau magnétique ;
- On pèse les disques de filtration vide et on note la masse;
- On sèche le disque de filtration à 105°C pendant 2 heures. Après passage au dessiccateur, on le pèse et on note la masse. Ensuite, on verse l'échantillon sur le filtre et on le laisse essorer. Puis séché à 105 °C. Laisser refroidir et peser une autre fois le papier filtre.

La matière en suspension ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), est donné par l'expression: $MES = \frac{P_p - P_v}{V_{ech}} \cdot 1000 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$

Où P_p : Poids plein du filtre.

P_v : Poids vide du filtre.

V: volume de la prise d'essai [58].

II.4.6 Spectroscopie infrarouge (IR)

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR) est une technique de mesure qui utilise l'interaction de lumière IR avec les vibrations moléculaires et permet l'acquisition de spectres infrarouges. Le signal mesuré est un interférogramme. Le spectre IR est calculé en utilisant la transformée de Fourier [59].

La spectroscopie infrarouge se caractérise par des excitations vibrationnelles et rotationnelles à chacune des régions spécifiques du spectre électromagnétique.

Le principe de base de la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier est relativement simple (Figure II.9). Le rayonnement électromagnétique provenant d'une source infrarouge est focalisé sur l'interféromètre de Michelson au niveau de la séparatrice, il est converti en un faisceau dont l'énergie est modulée en fonction de temps. Cette modulation est caractéristique du spectre de fréquence initial de la source.

Après l'absorption du rayonnement infrarouge par l'échantillon analysé, le signal enregistré par le détecteur se présente sous la forme d'un interférogramme. Ce dernier est reconverti numériquement par la transformée de Fourier en un spectre de fréquences.

Lorsque l'énergie apportée par le faisceau lumineux est voisine de l'énergie de vibration de la molécule, cette molécule va absorber le rayonnement et on enregistrera une diminution de l'intensité réfléchié ou transmise pour les longueurs d'ondes auxquelles le matériau absorbe [60]. La spectroscopie infrarouge est utilisée aussi bien pour l'analyse qualitative que et quantitative. Le domaine infrarouge pour les nombres d'ondes compris entre 4000cm^{-1} et 400cm^{-1} .

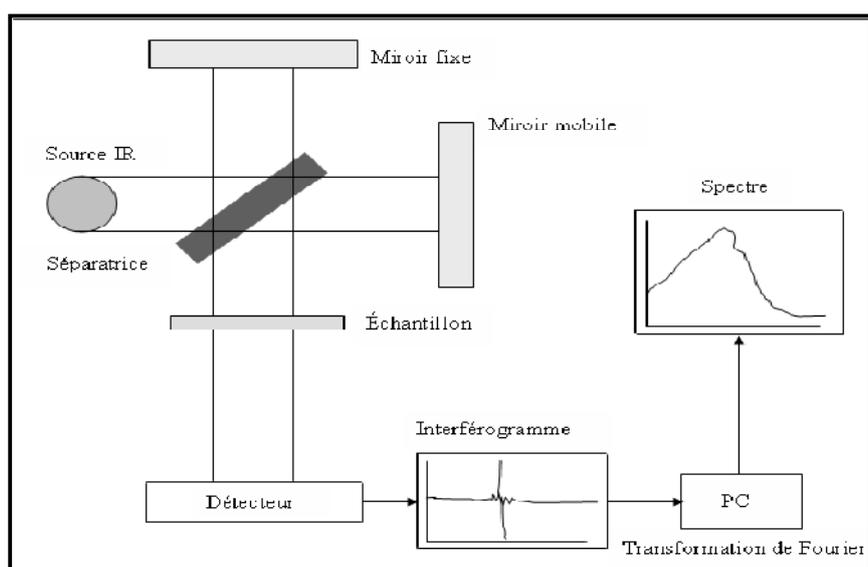


Figure. II.10: Schéma de principe d'un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier [61].

❖ Mode opératoire

Les différentes étapes de préparation des échantillons pour l'analyse IR sont regroupées sur la figure II.10. Les échantillons en phase solide ont été préparés à l'aide d'une solution solide de bromure de potassium (KBr). L'analyse IR s'effectue sur des pastilles de KBr fabriquées en représentant les proportions suivantes : 0.8g de KBr et 0.02g de matériau finement broyé. La masse du mélange prélevée pour faire la pastille est de 0.82g. Cette concentration permet la détermination qualitative des différents groupements fonctionnels et d'avoir une idée au point de vue de la détermination semi-quantitative.



Figure II.11: Photos des étapes d'analyse spectroscopie infrarouge.

II.4.7 Microscopie électronique à balayage (MEB)

La Microscopie Electronique à Balayage (MEB) est fondée sur les interactions électrons-matière. Elle permet l'obtention d'images de hautes résolutions de la surface de l'échantillon avec des profondeurs de champs supérieures à la microscopie optique.

Les principaux éléments composant un Microscope Electronique à Balayage sont : une source d'électrons (canon) et un dispositif de haute tension, une colonne maintenue sous un vide secondaire, un ensemble de lentilles électroniques permettant l'obtention d'un fin faisceau, une platine permettant d'installer les échantillons, un détecteur d'électrons couplé à un amplificateur de signal et enfin un système de visualisation des images. Le fonctionnement du MEB est présenté dans la Figure 11.

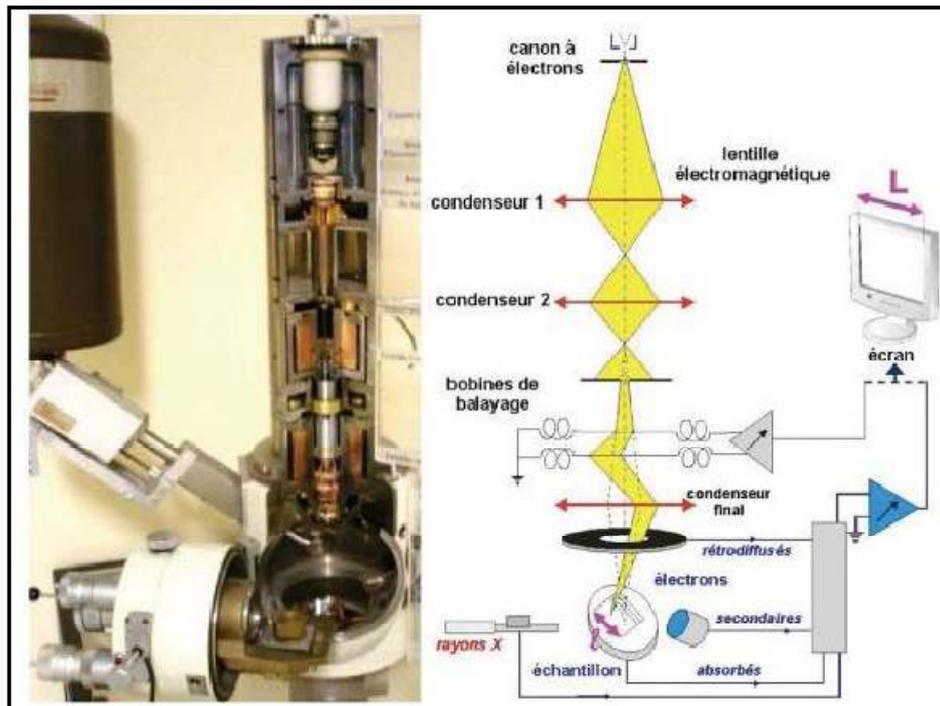


Figure II.12 : Photo de la coupe d'un MEB et schéma de fonctionnement associé [62].

II.4.8 Dosage des métaux lourds par Spectroscopie d'absorption Atomique SAA

L'absorption atomique est un processus qui se produit lorsqu'un atome appartenant à l'état fondamental passe à l'état excité par l'absorption d'une énergie, sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, qui correspond à une longueur d'onde spécifique.

En spectrométrie d'absorption atomique (SAA) on utilise un générateur de photons dont la fréquence correspond à l'élément à doser. Une population d'atomes, générée par un atomiseur à partir de l'échantillon, est éclairée par ce rayonnement lumineux de longueur d'onde donnée. Les atomes absorbent cette énergie incidente pour passer du niveau fondamental au niveau énergétique excité et le nombre de photons absorbés dans ce rayonnement incident peut être relié à la concentration par relation : $A = KC$

D'où: A: absorbance, C: concentration de l'élément considéré dans la solution à analyser et K: est le coefficient spécifique à chaque élément.

On peut déterminer les concentrations des échantillons en comparant les quantités de rayonnement absorbé par ces derniers avec la quantité de radiation absorbé par les standards. La Lecture de l'instrument peut être calibrée de façon à afficher les concentrations de l'échantillon directement [63].

La figure II.12 montre les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique qui comportent quatre parties principales:

Le faisceau lumineux issu de la source (1) traverse la chambre d'absorption (flamme ou four) (2) dans laquelle l'élément se trouve porté à l'état atomique, avant d'être focalisé sur la fente d'entrée d'un monochromateur (3) qui sélectionne un intervalle très étroit de longueurs d'onde. Le trajet optique se termine sur la fenêtré d'entrée du détecteur (4) [64].

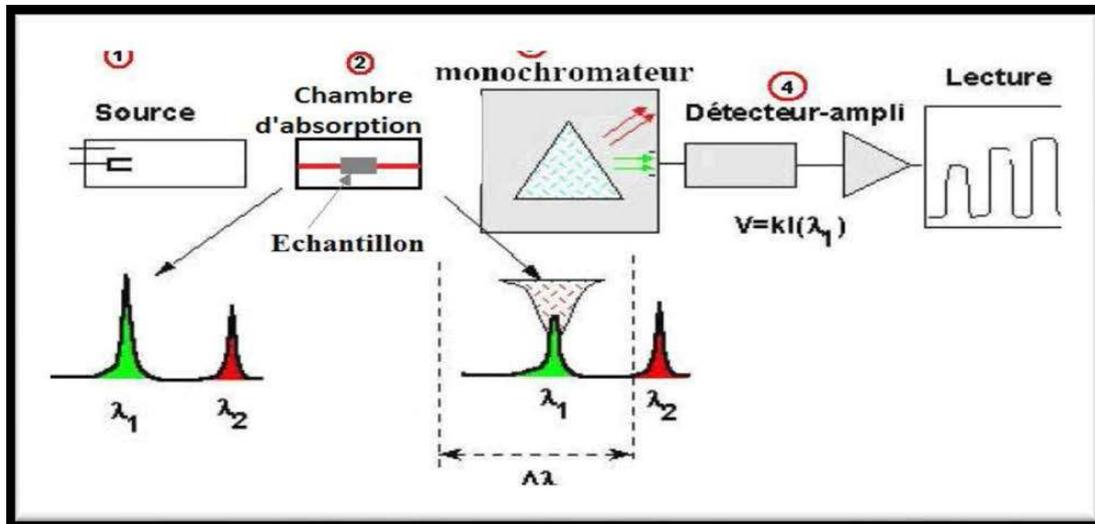


Figure II.13 : Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique.

La SAA Atomique Absorption Flamme Spectrophotomètre, avec lequel nous avons effectué les dosages, comporte les dispositifs suivants (Figure II.13).



Figure II.14 : Photo de l'appareil du spectrophotomètre d'absorption atomique.

❖ Mode opératoire

La dissolution est fait suivant la loi de dilution et la solution mère à était diluer deux fois pour obtenir la concentration finale. Les différentes solutions mères préparées sont regroupées dans le tableau II.1. À partir de la solution mère on prépare (07) échantillons dans des fioles de 25ml (Figure II.14).

Tableau II.1: Les solutions mères préparées dans l'eau distillée.

Composition chimique	Masse (gr)
Dichromate de potassium: $K_2Cr_2O_7$	0.5657
Di-Chlorure de plomb: $PbCl_2$	0.1355
Sulfate de Nickel hexa-hydraté: $NiSO_4, 6H_2O$	0.4522

**Figure II.15 :** Photo des échantillons préparés pour les dosages.

II.4.9 La chromatographie liquide à haute performance HPLC

La chromatographie liquide à haute performance (HPLC) est une technique d'analyse chromatographique dont le principe est basé sur la répartition du composé à analyser, entre une phase mobile liquide et une phase stationnaire très finement divisée

Tous les solvants utilisés en HPLC et tous les échantillons injectés furent dégazés et filtrés préalablement sur des filtres de nylon de $0,45 \mu m$ jusqu'à $0.2 \mu m$.

Les analyses en HPLC furent effectuées à l'aide d'un appareillage constitué d'une pompe, d'un détecteur UV à une longueur d'onde de 250 nm ; d'une valve d'injection avec boucle d'injection et d'un enregistreur-intégrateur. Le système analytique était constitué d'une colonne C_{18} (Figure II.15). La chromatographie liquide à haute profondeur est utilisée aussi bien pour l'analyse qualitative que quantitative. Dans des conditions déterminées, le temps de rétention d'une substance donnée sur une colonne donnée est caractéristique de la substance, on peut donc, à l'inverse, identifier un composé à partir de son temps (ou de son volume) de rétention.

L'analyse qualitative consiste alors, à identifier les différents composés d'un mélange, en se basant sur leur temps de rétention relatif qui représente le délai séparant le point d'injection au maximum du pic considéré. La résolution d'un système chromatographique est d'autant

meilleure que les pics sont fins et séparés. L'identification d'une substance repose sur la comparaison de son temps de rétention à celui d'un étalon analysé dans des conditions identiques (temps de rétention relatif : t_r) [65].

Par contre la chromatographie quantitative se base sur la comparaison de l'aire ou de la hauteur du pic de l'échantillon à analyser avec celle d'un ou plusieurs étalons. Si les conditions sont soigneusement contrôlées, ces deux paramètres varient linéairement avec la concentration [65]. La chromatographie est constituée de 4 modules (Figure II.15) :

- 1) **Un réservoir de solvant (plateaux)** : contient la phase mobile en quantité suffisante. Plusieurs flacons d'éluant (solvants de polarités différentes) sont disponibles pour pouvoir réaliser des gradients d'éluant (mélange de plusieurs solvants à des concentrations variables).
- 2) **Pompe** : Elle délivre en continu la phase mobile. Elle est définie par la pression qu'elle permet d'atteindre dans la colonne, son débit, et la stabilité du flux. Actuellement les paramètres d'une pompe sont : débit : 1.5 ml/min ; stabilité < 1% ; pression maximale > 350 bars.
- 3) **Vanne d'injection** : c'est un injecteur à boucles d'échantillonnage. Le choix du volume de la boucle se fait en fonction de la taille de la colonne et de la concentration supposée des produits à analyser. Le système de la boucle d'injection permet d'avoir un volume injecté constant, ce qui est important pour l'analyse quantitative.
- 4) **La colonne** : Une colonne est un tube construit dans un matériau le plus possible inerte aux produits chimiques, souvent en inox ou en verre. Sa section est constante, de diamètre compris entre 4 et 20 mm pour des longueurs généralement de 15 à 30 cm. Au delà, les importantes pertes de charges exigeraient des pressions de liquide beaucoup trop élevées

La chromatographie fait intervenir deux variables dans la séparation d'un mélange, soit la phase stationnaire c'est-à-dire la colonne, et la phase mobile c'est-à-dire le ou les solvants. Les interactions entre notre mélange, les particules de la colonne et les solvants employés vont permettre une séparation qui pourra être optimisée en faisant varier surtout la composition de notre phase mobile. Cette dernière est poussée avec pompe sous haute pression, parcourt le système chromatographique [66].

Le mélange à analyser est injecté puis transporté au travers du système chromatographique. Les composés en solution se répartissent alors suivant leur affinité entre la phase mobile et la phase stationnaire. En sortie de colonne grâce à un détecteur approprié

les différents solutés sont caractérisés par un pic. L'ensemble des pics enregistrés est appelé chromatogramme (Figure II.16).



Figure II.16: Appareille de fonctionnement HPLC.

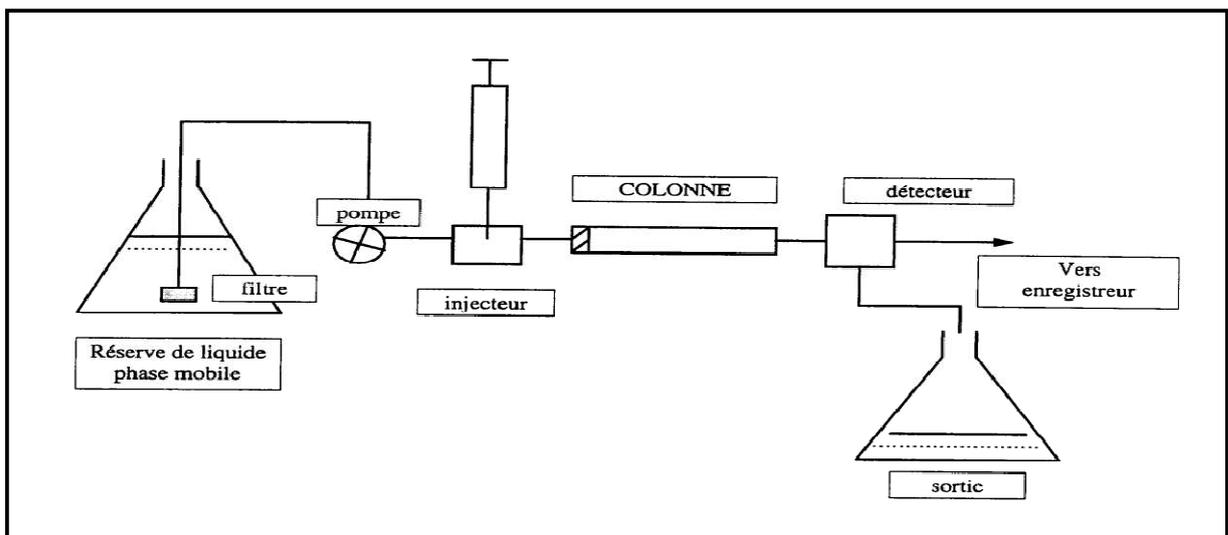


Figure II.17: Principe de fonctionnement d'un chromatographe HPLC [67].

Chapitre III

Résultats et Discussions

Chapitre III

Résultats et Discussions

III.1 Analyses physico-chimique du sol de SONATRACH-Bejaia

III.1.1 La mesure de pH

La mesure de pH fait partie d'une des plus importantes caractéristiques physico-chimiques des sols, car la spéciation, la mobilité et la disponibilité des éléments de traces métalliques sont liées à la valeur du pH [68].

III.1.1.1 pH de sol brut et contaminé

Les valeurs de pH sont enregistrées dans la figure III.1, il ressort que ces valeurs sont comprises entre 6,69 et 7,93. D'après ces valeurs on peut dire que le pH par rapport à la distance (Figure II.1.B) est légèrement déplacé. Par contre par rapport à la profondeur (Figure II.1.A) le pH est faiblement acide dans la première série (moyennement basique) et presque stable dans les autres séries. Ce qui explique que la matière active en suspension dans le sol se dégrade en fonction de la distance et de la profondeur.

Des études similaires ont montré que les sols ayant des valeurs de pH très élevées présentent de fortes teneurs en carbonates, favorisant ainsi l'ensemble des modes de fixation des métaux [69].

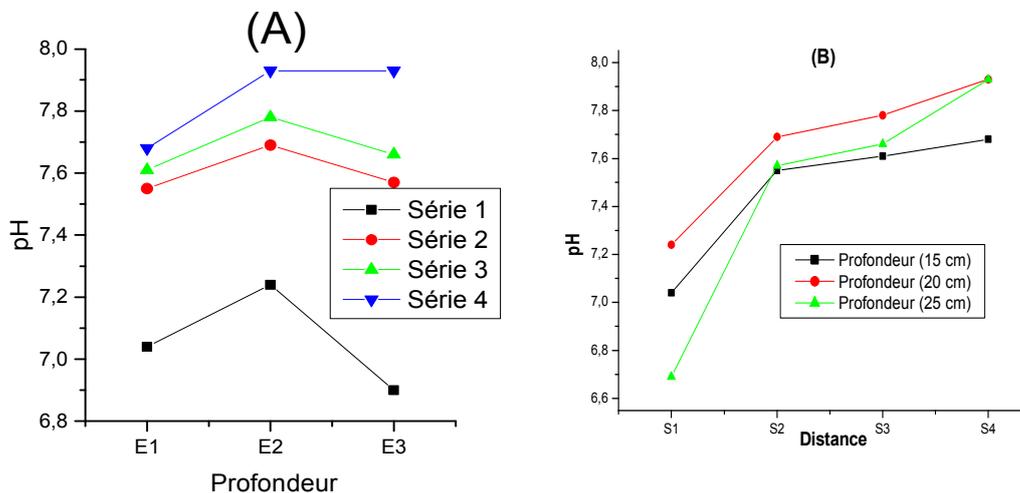


Figure III.1 : Les mesures de pH des différents échantillons du sol contaminé de SONATRACH-Bejaia : A) En profondeur et B) En distance.

III.1.2.2 La mesure de pH en fonction de nombre filtrations

L'analyse de la variance des valeurs du pH des solutions du sol avant et après filtration a montré une différence très hautement significative, ce qui confirme que le gradient de pollution influe sur le pH dans sols étudiés.

D'après la figure III.2 On remarque une diminution significative de pH en fonction de nombre de filtration ce qui due à la dégradation de la matière pétrolier dans le sol qui a un caractère fortement basique.

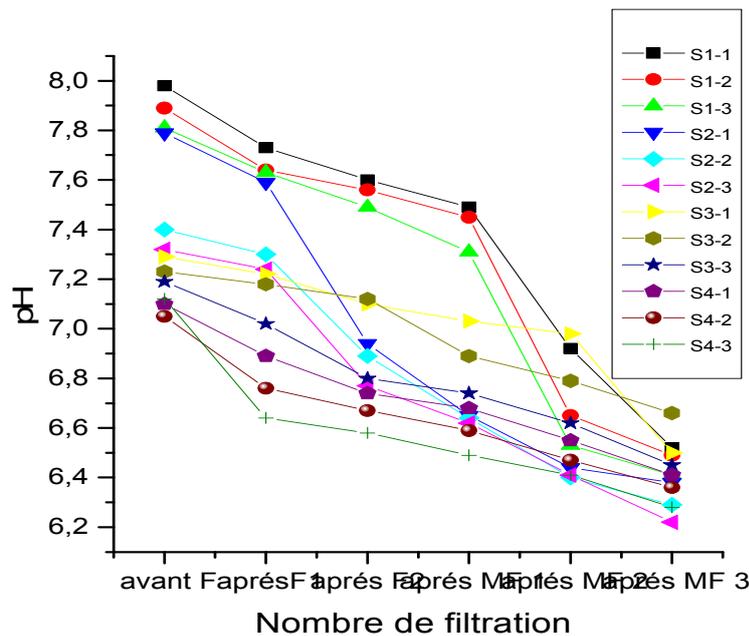


Figure III.2 : Variation du pH du sol en fonction de nombre de filtration

III.1.2 La Conductivité Électrique (CE)

III.1.2.1 La conductivité (CE) de sol brut et contaminé

Les résultats de la mesure de la conductivité électrique de différents sols de SONATRACH TRC de Bejaia traités sont représentés dans la figure III.3. On remarque que dans la 2^{ème} série présente la valeur la plus importante en conductivité électrique qui est varié entre 381 et 374 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ce qui indique une présence de sel soluble avec un caractère minérale.

Puis elle diminue légèrement dans les autres séries jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur minimale de 101,8 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

La conductivité électrique définit la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol. Elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol [70].

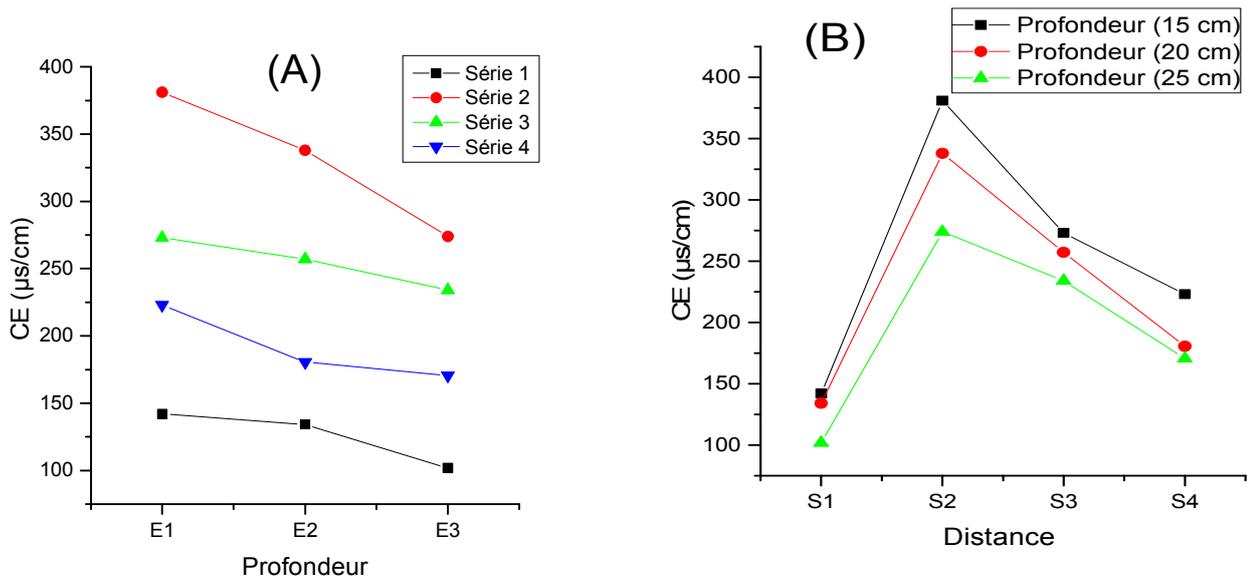


Figure III.3 : La conductivité des différents échantillons du sol: A) En profondeur et B) En distance.

III.1.2.2 La mesure de conductivité (CE) en fonction de nombre de filtrations

La figure III.4 montre une augmentation significative de la conductivité en fonction de nombre de filtration. À chaque fois on filtre la matière on observe la dégradation de la matière organique ce qu'il reste en suspension dans le liquide c'est des suspensions qui sont plus mobile. Cette mobilité influence sur la conductivité électrique elle donne de la faveur pour avoir une conductivité électrique plus élevée.

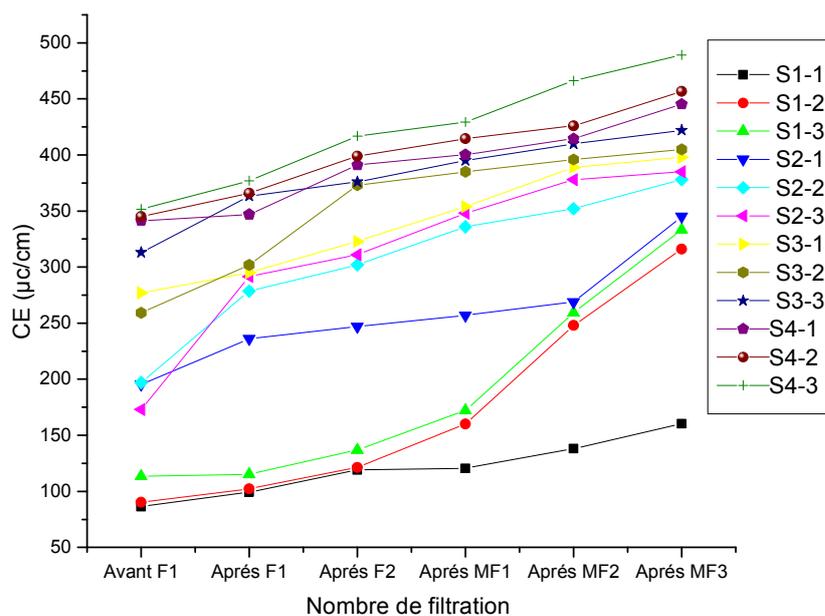


Figure III.4 : Variation de la conductivité en fonction de nombre de filtration

III.1.3 L'humidité du sol contaminé

Les taux d'humidité des échantillons du sol après séchage à 105°C pendant 2 heures sont estimés entre 7.7 % à 23 %. Ces valeurs dépendent fortement des conditions climatiques au moment des prélèvements, l'eau n'était pas totalement infiltrée ainsi que la présence des matières organiques ou pétrolières dans le sol qui empêche l'évaporation de l'eau. On remarque que ces valeurs indiquent une augmentation du taux d'humidité des sols en fonction du gradient de pollution

La figure III.5 montre que l'humidité présente une diminution remarquable en fonction de la distance à chaque fois qu'on s'éloigne de prélèvement à partir de la 1ère série au 4ème série y'aura une diminution de l'humidité donc le sable il ne contient pas une grand quantité d'eau. Après 6 mètres de récupération y'on a plus de trace de la matière pétrolier.

Le taux d'humidité pourra entrer en compétition avec les molécules organiques pour l'adsorption sur les matériaux solide, entraînant une baisse de l'adsorption des polluants lorsque le taux d'humidité du sol augmente [71].

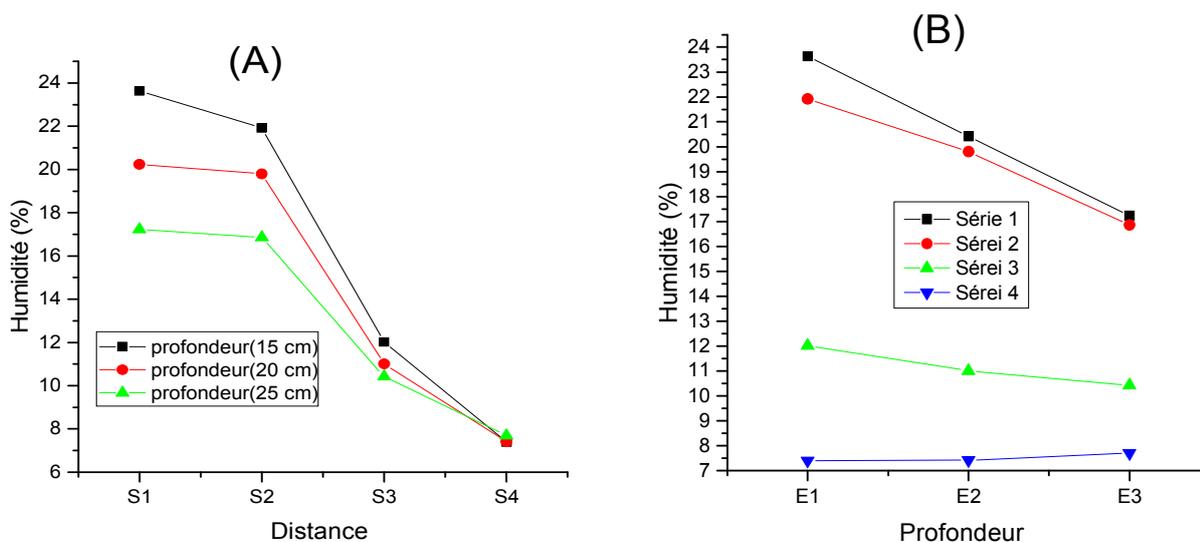


Figure III.5: Taux d'humidité des différents échantillons du sol: A) En distance et B) En profondeur.

III.1.4 Matière organique (MO) du sol contaminé

D'après les résultats représentés dans la figure III.6 nous constatons que la calcination des échantillons, à 550 °C pendant trois heures dans un four à moufle, nous donne un pourcentage maximal 23.79% qui est liée à la dégradation de la matière organique volatile qui vient de la matière pétrolière. Et une valeur minimale 8,5 % de la matière ce qui montre une

diminution de la substance organique en fonction de la distance et de profondeur, ce qui dit que, ce n'est pas une valeur importante parce qu'elle se stagne en profondeur.

La matière organique du sol est un indicateur important de la dégradation de la qualité des sols de part sa contribution dans la stabilité du sol, l'augmentation de la capacité de rétentions en eau du sol, la fixation des éléments minéraux, et le substrat pour les microorganismes du sol. Le contenu en matière organique des sols est influencé globalement par les facteurs chimiques [72].

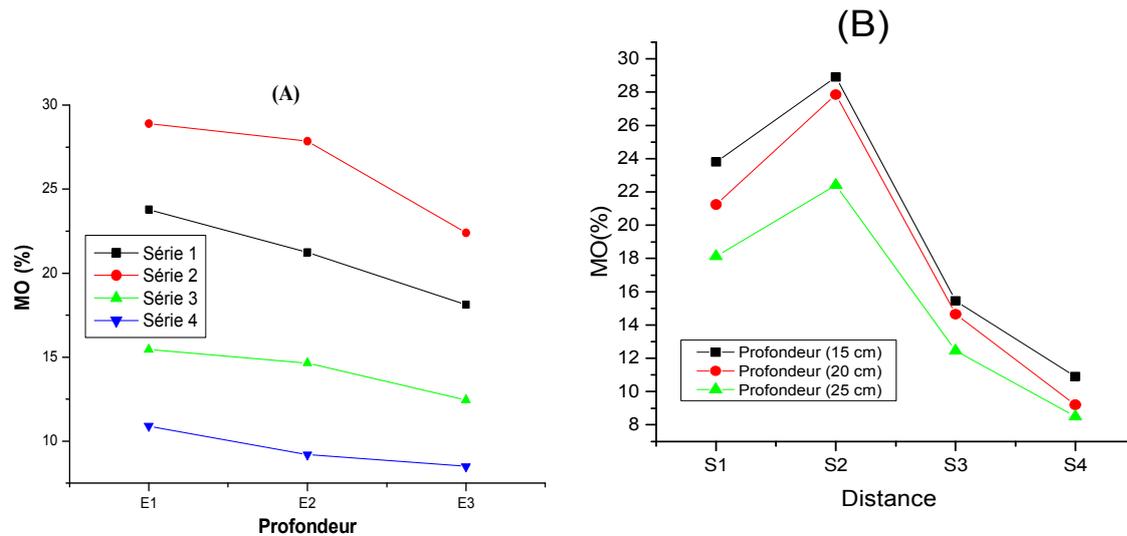


Figure III.6 : Les teneurs de matière organique des échantillons du sol: A) En profondeur et B) En distance.

III.1.5 Matière en suspension (MES)

D'après les résultats illustrés sur la figure III.7 on remarque que la matière en suspension en fonction de distance et de profondeur présente presque les mêmes teneurs. La première filtration faite prends un temps plus supérieur par rapport aux autres filtrations et la matière en suspension diminue vis à vis le temps de filtration qui devient plus rapide.

Les matières en suspension permettent de quantifier la teneur en matières retenues par le média filtrant après une filtration.

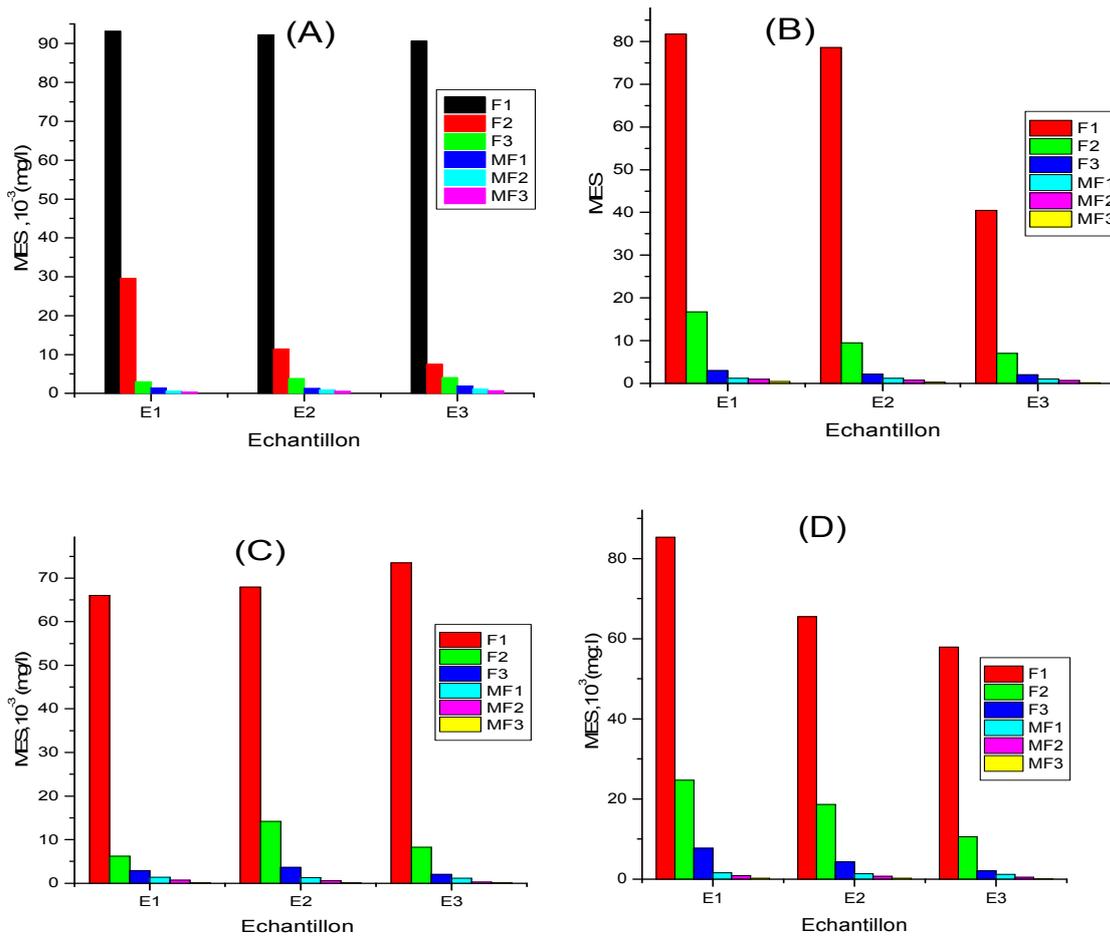


Figure III.7: Les teneurs de la matière en suspension en fonction de la distance entre les échantillons: A) Série N°1, B) Série N°2, C) Série N°3 et D) Série N°4.

III.1.6 Caractérisation des sols contaminés par spectrométrie infrarouge IR

III.1.6.1 Spectrométrie d'infrarouge pour les échantillons solide (poudre)

Les résultats d'analyses par spectrométrie infrarouge pour les sols contaminés par les eaux de purges de la SONATRACH-RTC-Bejaia avant traitement thermique sont représentés sur la Figure III.8 et après traitement thermique sur la Figure III.9. On remarque qu'il y a la présence du même profil dont les mêmes positions et formes des bandes pour les six échantillons. Les différences d'intensités observées entre les spectrogrammes sont dues à l'épaisseur plus au moins importante de la pastille analysée.

Ces spectres IR révèlent l'existence de composés aromatiques polycycliques identifiés par une seule bande d'absorption à 1620 cm^{-1} (forte) des doubles liaisons des cycles aromatiques de structures présentant une symétrie (cas du naphthalène).

Entre 2500 et 2000cm^{-1} , on montre qu'il existe une bande caractéristique de vibration de valence (faible à moyenne) des triples liaisons $\text{C}\equiv\text{C}$ attestant de la présence d'alcynes. La bande qui se situe entre 3550 - 3500cm^{-1} correspond aux liaisons O-H [73].

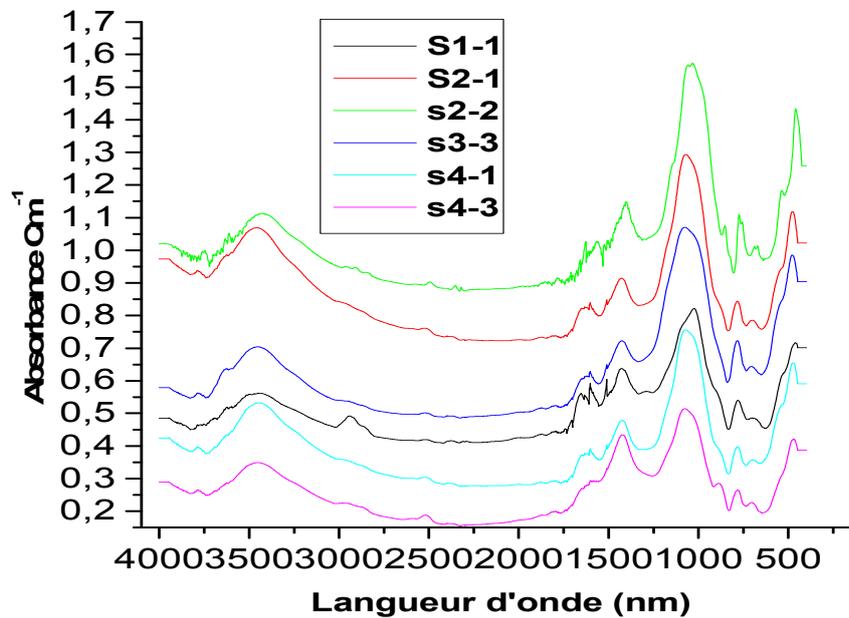


Figure III.8 : Les spectres infrarouges des échantillons du sol après calcination

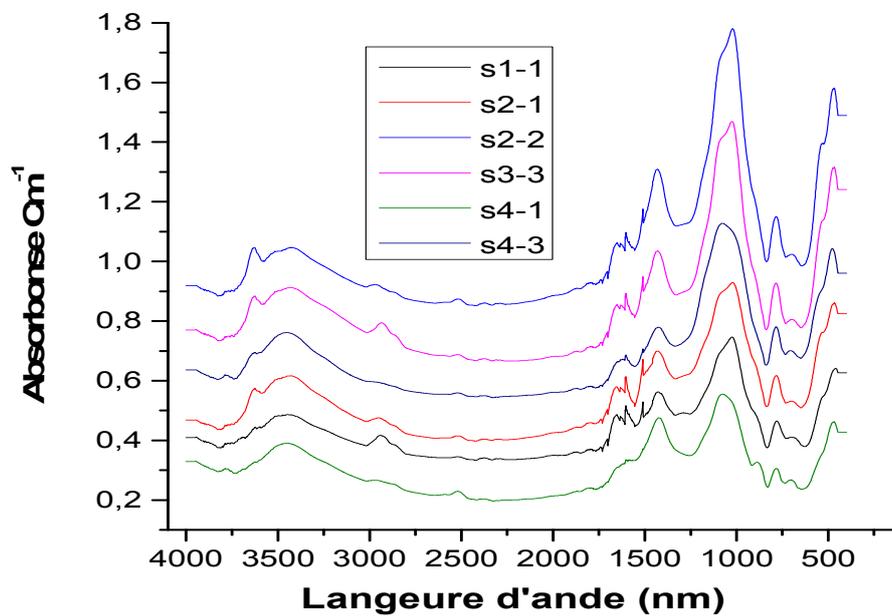


Figure III.9 : Les spectres infrarouges des échantillons du sol avant calcination

III.1.6.2 Spectrométrie d'infrarouge pour les échantillons liquide après filtration

Les résultats d'analyses IR des liquides récupérés après la filtration de nos échantillons qui sont représentés dans la figure III.10 montre une grande différence dans la position et la forme des bandes d'absorptions pour tous les échantillons. On peut signaler clairement que la grande partie de la matière organiques viennent de la suspension pétrolière est bloquer par les différents points de filtrations.

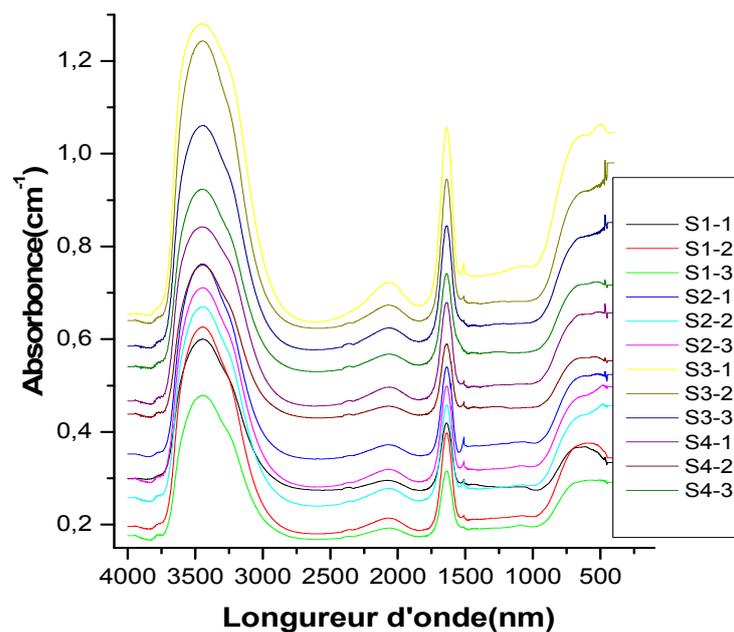


Figure III.10 : Les spectres infrarouges des échantillons liquides après filtration des sols contaminés.

III.1.7 Microscopie électronique à balayage (MEB)

Les analyses par microscopie électronique à balayage (MEB) ont été faites dans le but de déterminer et de détecter les différentes phases que l'on peut retrouver dans nos échantillons stabilisé et dont les temps de séjours diffère.

D'après les images qu'on a obtenues au MEB (Figure III.11), on remarque que le sol étudiée est propre et ne contient pas de cristal (cristallite homogène en fonction de la distance et la profondeur).

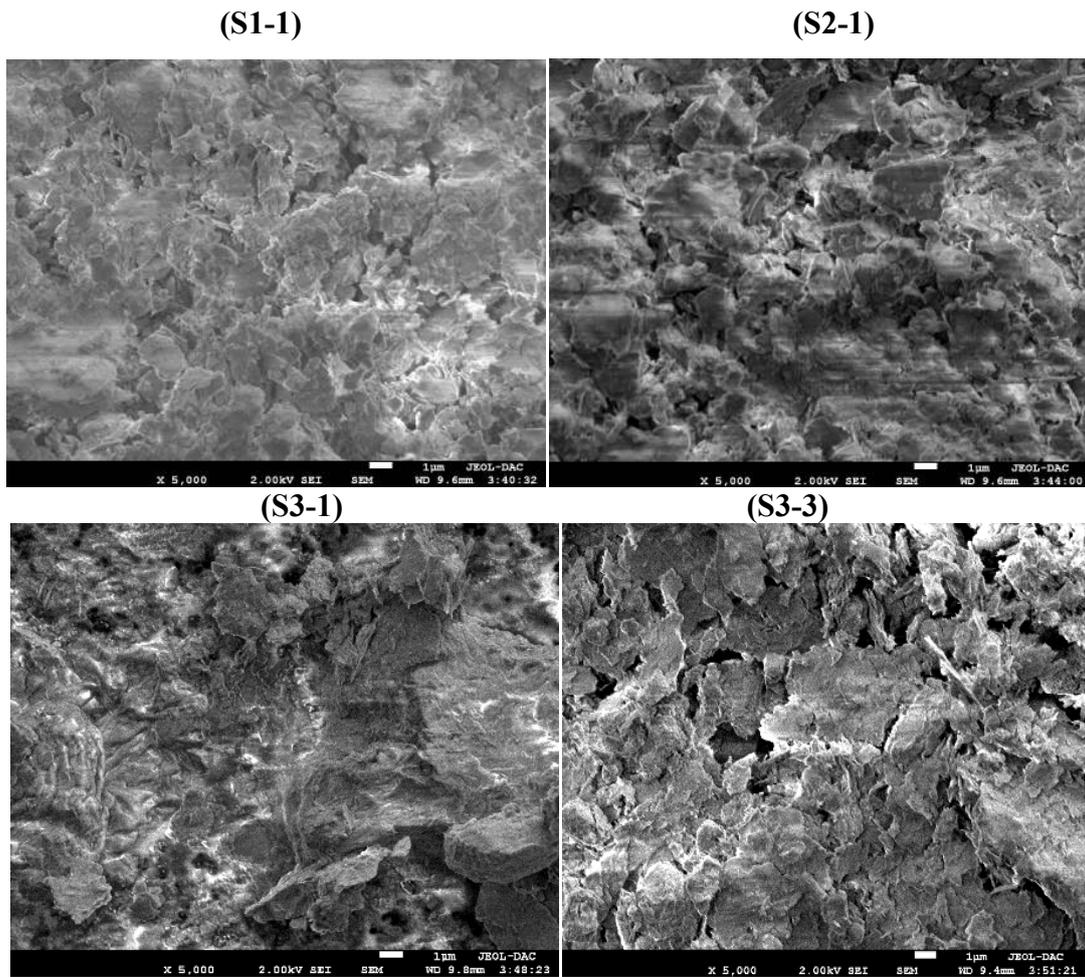


Figure III.11: Les images obtenues au MEB pour des échantillons pris en distance et en profondeur.

III.1.8 Dosage des métaux lourde par SAA

Les résultats d'analyses par SAA sont regroupés dans le tableau III.1. On remarque que les valeurs de concentration de ces métaux étudiés varient entre 0.008 et 0.001 mg/l qui sont des très faibles teneurs. Ce qui montre que les sols traités ne sont pas contaminés par ces métaux lourds. Signifier que le pétrole algérien ne contient pas de la matière minérale et il est de très bonne qualité ainsi il est classé parmi les meilleurs pétroles à l'échelle mondiale.

Tableau III.1 : Résultats de dosage de métaux lourds par SAA

Ech	S1-E1	S1-E2	S1-E3	S2-E1	S2-E2	S2-E3	S3-E1	S3-E2	S3-E3	S4-E1	S4-E2	S4-E3
[Cr ³⁺]	0.003	0.003	0.008	0.004	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003
[Pb ²⁺]	0.003	0.004	0.002	0.005	0.003	0.002	0.004	0.001	0.005	0.003	0.002	0.003
[Cu ²⁺]	0.006	0.002	0.001	0.003	0.004	0.002	0.003	0.005	0.003	0.002	0.003	0.003
[Ni ²⁺]	0.005	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003

III.1.9 Résultats de la chromatographie liquide à haute Performances

La figure III.12 représente les spectres de douze échantillons qu'on a récupéré via l'HPLC. Selon ce dernier on a pu récupérer trois pics. Le 1^{ère} apparaît dans les deux premiers minute de l'exécution. Par contre le 2^{ème} pic apparaît dans la 22 min concerne le 3^{ème} pic il apparaît à 32 min. Cela est identique pour l'ensemble des échantillons.

D'après les résultats récupérer on a trois pic, qui confirme la présence de la matière organique. Chacun des pics apparaît dans un temps différent. Le pic qui apparaît $t=22$ min correspond au pyrène. L'autre pic qui apparaît $t=32$ min correspond au benzo(k) fluoranthène. Ces deux éléments sont des hydrocarbures aromatiques polycycliques [74]

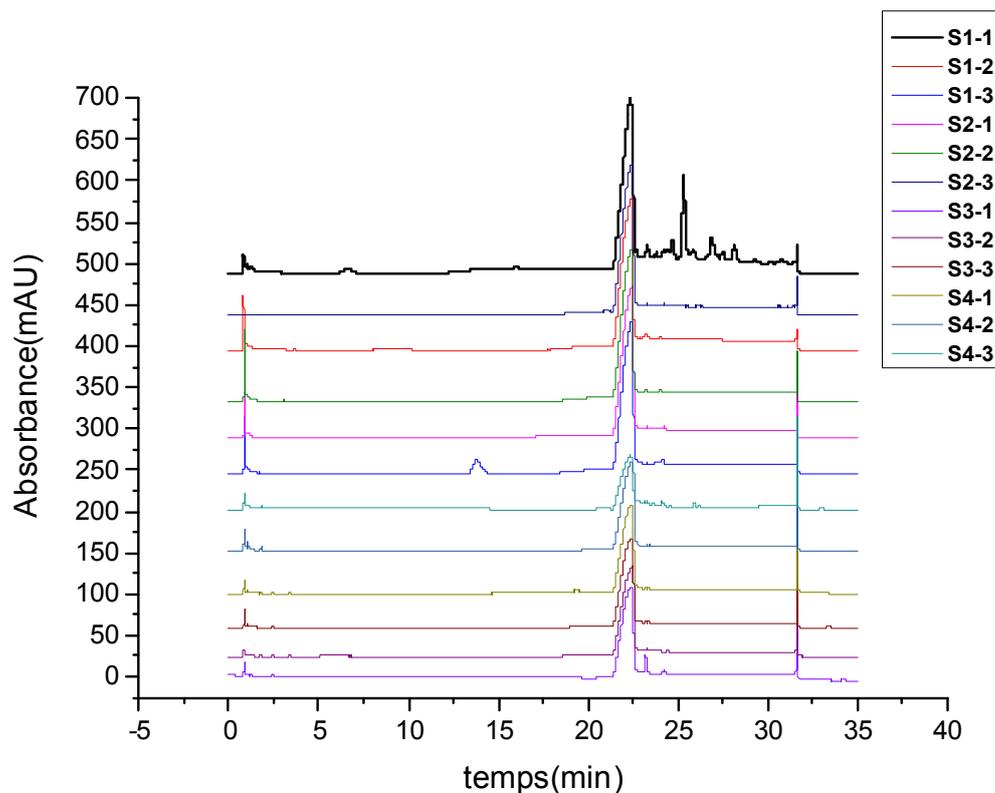


Figure III.12 : Chromatogramme obtenue pour les échantillons contenant des HAP.

Conclusion

L'objectif de ce présent travail est d'étudier les effets des rejets des eaux de purges dans l'environnement de l'entreprise SONATRACH-RTC-BEJAIA sur les paramètres physico-chimiques des sols. Ceci a mis en évidence l'influence des hydrocarbures sur les douze prélèvements du sol.

D'après les résultats obtenus au cours de notre travail, nous pouvons conclure que l'action des hydrocarbures se traduit par une modification remarquable des propriétés physico-chimiques du sol.

La contamination des sols et des eaux souterraines par des déversements d'hydrocarbure pétroliers est fréquente. Elle entraîne des risques pour l'environnement et la santé humaine. Souvent la contamination est associée aux défaillances des réservoirs de stockage souterrain dans les stations de service. Lorsque les substances dangereuses contenues dans les hydrocarbures sont pressées activités humaines, elles peuvent altérer l'eau potable et les sols agricoles et causer des odeurs désagréables.

La dépollution ou décontamination des sols consiste à rendre le sol et les eaux souterraines polluées par d'anciens dépôts de déchets ou par l'infiltration de substances polluantes, aptes à un nouvel usage (agricole, résidentiel ou industriel).

D'après notre étude nous pouvons conclure que SONATRACH de Bejaia représentent une importante source de pollution ponctuelle des sols et les résultats ont clairement montrés que leurs effets est néfaste sur les propriétés pédologiques. Et aussi on peut dire que ce dernier présente un potentiel polluant dangereux et peut être classé parmi les sols contaminés par les matières inorganiques.

- [1].**Robert, M.**, Le sol : Interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Paris : Masson.1996
- [2].**PIERRICK, H.**,Sol (pédologie) - Définition issu de Sante-Medecine (santemedecine.commentcamarche.net). 2014
- [3].**Robert, M. and Juste, C.**, Enjeux environnementaux et industriels-Dynamiques des éléments traces dans d l'écosystème sol. In : spéciation des métaux dans le sol, les cahiers du club Crin, Paris, 1999
- [4].**Sposito, G.**,The Chemical Composition of Soils. The Chemistry of Soils. Oxford University Press .New-York.1997
- [5].**Nortcliff, S.**, StandardisationOf SoilQualityAttribuets. griculture. Ecosystems&Environment 88(2) P161-168.2002
- [6].**NF ISO 15799 (X31-603)**, Qualité du sol Lignes directrices relatives à la caractérisation écotoxicologique des sols et des matériaux du sol.2004
- [7].**Bourrelief, P.H. and Berthelin, J.**Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion. Académie des sciences, rapport n° 42. TEC & DOC (Ed), Londres, 1998
- [8].**Berthelin, J. et Bourrelief, P.H.**, Contamination des milieux par les éléments en traces.Les conséquences sur les sols et les eaux superficielles. C.R. Agric. Fr.1998
- [9].**OADES J.M.**,the role of biology in the formation, stabilization and degradation of soilstructure.Geoderma, 1993
- [10].**El Titi A.**, Soil tillage in agroecosystems. CRC Press, New-York (USA) 2003.
- [11].**YOUNG I.M.**, al the interaction of soil biota and soil structure under global change. Global Change Biology.1998
- [12].**Cornu S., et Clozel B.L.**, Extractions séquentielles et spéciation des éléments trace Métalliques dans les sols naturels. Analyse critique. Étude et gestion des sols.
- [13].**GOBAT** Le sol vivant. Bases de pédologie-Biologie des sols.3e edition presses polytechniques et universitaires romandes. 2010
- [14].**CALLOT G.**, Les interactions sol – racine, incidences sur la nutrition minérale. Ed. INRA, Paris. 1982
- [15].**ARAGNO M., GOBAT. JM., MATTHEY W.**, Le sol vivant, base pédologie/Biologie des sols. 2ed, imprimé en France, 2003
- [16].**CALLOT G.** Les interactions sol – racine, incidences sur la nutrition minérale. Ed. INRA, Paris, 1981
- [17].**Guymon, G.L.**, Unsaturated Zone Hydrology. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.1994

- [18].**Hillel** introduction to environnement soil physics, Elsevier a cademic press, 2004
- [19].**Clapp, R.B. etHornberger, M.**, Empirical equations for some soil hydraulic properties, Water Resources Research.1978
- [20].**Morel-Seytoux, Kluwer.** NatoAdvanced Research Workshop, Arles (France) Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling, Theory and Practice éd. AcademicPublishers. 1989
- [21].**Nemar W.** Etude pédologique et floristique de différents sols selon un gradient de pollution. Thèse de (MAG). Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 2015
- [22].**Diaea.,Drha., Seen.** Direction de l'irrigation et de l'aménagement de l'espace agricole, Service des Expérimentation, des Essais et de la Normalisation-Rabat.2008
- [23].**Thanh NGO DUC.** Evolution de l'humidité du Sol, Rapport de stage, Ecole Doctorale des Sciences de l'Environnement DEA Océanologie, Météorologie et Environnement, Laboratoire de Météorologie Dynamique UPMC/CNRS, 2002
- [24].**Durand J.H.**, Les sols irrigables, Techniques vivantes, Pesse, Université de France., .1983
- [25].**Aubert G.**Les sols en Afrique du Nord. Annale de l'INA, Alger. 1978
- [26].**Bonneau, M.** Pedologie. Masson, Paris; New York; Barcelone...etc.1979
- [27]. **Andreux, et al** Sur une méthodologie de fractionnement physique et chimique des agrégats des sols: origine de la matière organique des fractions obtenues. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'académie des ciences série D. 1980
- [28].**Calvet, R.** Le sol: propertés et fonctions. Ed. France agricole; Dunod, Paris. 2003
- [29].**Sebastia, J.**,Prise en compte de la réactivité de différentes fractions des matières organiques du sol dans la prévision de la spéciation des métaux: cas du cuivre. 2007
- [30].**Charfi, A.**, Etude d'un procédé membranaire de traitement des eaux usées : effet des paramètres biotiques et abiotiques sur le colmatage de la membrane in l'école doctorale Sciences et Technologies pour l'Ingénieur, Université de Carthage: Tunisie. 2014
- [31].**Colin F.**, Pollution localisé des sols et sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés. Edition TEC et DOC.2000
- [32].**Guemaz F.**, Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées des trois sites de la ville de Biskra (Chaabet Roba, Oued Biskra et Oued Zemour). Thèse Magister. Inst. d'agro. Annaba. 2006
- [33].**Nieboer E., Richardson D.**, The replacement of the descript term «Heavy Metals" with biologically and chemically significant classification of metal ions, J. Environ Pollution. 1980

- [34].**Baker A.J.M., ET P. L.,** Walker P.L. Eco physiology of metal up take by tolerant plants. In J. Shaw (Ed). Heavy Metal Tolerance in plants: Evolutionary aspects. CRC Press, Boca Raton, Florida, . 1990
- [35].**Huynh T.M. D.,** Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante/ ver de terre/ microflore tellurique. Thèse de Doctorat. Université de Paris Est. 2009
- [36].**Bliefert C., et Perraud R.,** Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. 1èreéd. Espagne.1997
- [37].**Jean-C laude GUIBET,** Emmanuelle Faure, live, carburants et moteurs : technologies, énergie, environnement, Volume1 Editions TECHNIP, Paris, 1997
- [38].**ChaabiF. Z.,** Caractérisation physico-chimique d'un désémulsifiant (le chimec R 899) mémoire de master, université KasdiMerbah-OUARGLA 2011.
- [39].**COPINSCHI, P.,** Le pétrole une ressource stratégique. Paris .2012
- [40].**Mathieu S.,** Analyse historiques des accidents dans les dépôts hydrocarbures. 2008
- [41].**Tarayre C.,** Bioremédiation de sols pollués aux hydrocarbures. Editions Universitaires Européennes. 2012.
- [42].**Lemière B. Et al.** Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. BRGM/RP-50662-FR. 2001
- [43].**Jánská, Et al.** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Fruits and Vegetables Grown in the Czech Republic. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2006
- [44].**Kipopoulou, Et al.,**Bioconcentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetables grown in an industrial area. Environmental Pollution, 1999
- [45].**Jeannot R. Et al.** Guide méthodologique pour analyse des sols pollués (Document du BRGM). 2001
- [46].**Faccendini J-P.,** caractérisation d'une pollution des sols granulaires par des hydrocarbures issus de la pyrolyse de la houille .Thèse doctorat. Ecole nationale des ponts et chaussées. 1995
- [47].**Battaz S.,** Etude comparative de la dégradation d'une terre polluée par des hydrocarbures lourds. Mémoire de Magister.2009
- [48].**Bertrand J.C. Et al,** (Devenir de la matière organique exogène. Un modèle: les hydrocarbures. In : Bianchi M. ; Marty D. ; Bertrand J.C. ; Gauthier M.J. Microorganismes dans les écosystèmes océaniques. Edition Masson, Paris, chapitre . 1989
- [49].**koller E.,** Traitement des pollutions industrielles (eau, air, déchets, sols, boues). Edition DUNOD, Paris. 2004
- [50].**Fattal P.,** Pollution des cotes par les hydrocarbures. Presseuniversitaire de Rennes..2008

- [51].**Morgan P.; Watkinson R.J.**, Microbiological methods for the clean-up of soil and ground water contaminated with halogenated hydrocarbons. FEMS Microbiologyreviews. Vol.63. 1989
- [52].**Rouquerol T. Et al** .Effet de l'épandage de résidu pétrolier de raffinerie sur l'évolution de la matière organique. L'activité de densité microbienne d'un sol agricole, Revue d'écologie et e biologie du sol. 1987
- [53].**Chaineau C.H. Et al**,Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbon .J. environ. Qual. V 26. 1996
- [54].**Woodard, F.**, Industrial Waste Treatment Handbook, WOODARD & CURRAN,ed, Waste Management. Butterworth-Heinemam, United StatesOf America.2001
- [55]. **Lahcen NABZAR, Jean-Luc DUPLAN**, Manuscrit, L'eau dans la production de carburants, Production pétrolière et raffinage, PANORAMA, France, décembre 2010.
- [56].**CLAUDE CARDOT**, « les traitements de l'eau », Procédés physico-chimiques et biologiques. Ellips, nouvelle édition. Février 2013
- [57].**VIOLAINE.M**, « Modification de la composition de déchets métallifères, miniers et industriels, stabilisés par liant hydrauliques et soumis à des tests de lixiviation » Thèse Doctorat,, (2007).
- [58].**Rodier J., Legube B., Merlet N.** L'analyse de l'eau, 9ème édition, Ed. Dunod,.2009
- [59].**F.A. Batzias, D.K. Sidiras***.Simulation of methylene blue adsorption by salts-treated beech sawdust in batch and fixed-bed systems. Journal of Hazardous Materials.2007
- [60]. **F.M. BOROUMAND**, "Spectroscopie FTIR quantitative de réflectance et transmittance diffuses", Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1991.
- [61].**I. ENACHE**, "Etude expérimentale et modélisation du transfert de matière dans des décharges de Townsend a pression atmosphérique en mélange HMDSO-N₂O-N₂ et SiH₄-N₂O-N₂", Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, 2007.
- [62].**Groupe G.-M. Et Brisset F.**Microscopie électronique à balayage et Microanalyses EDP Sciences, Paris. 2008
- [63].**PRADYT.Patnaik** .Dean's Analytical Chemistry Handbook (McGraw-Hill Handbooks). Second edition. 2004
- [64].**Pradyt, Patnaik** .Dean's Analytical Chemistry Handbook (Mcgraw-Hill Handbooks). Second Edition. 2004.
- [65].**Hernandez Ochoa L.**, thèse doctorat « substitution de solvants et matières actives de synthèse par un combine « solvant/actif » d'origine végétale, l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 2005.

- [66]. **Yost**, Et al. Practical liquid chromatography. An introduction. Perkin Elmer, U.S.A. 1980
- [67]. **Benaissa A.**, thèse doctorat « Etude de la dégradation photocatalytique d'un colorant synthétique et d'un tensioactif », Université Mentouri Constantine, 2011.
- [68]. **Hlavackova, P.**, Evaluation du comportement du cuivre et du zinc dans une matrice de type sol à l'aide de différentes méthodologies. Thèse de Doctorat, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005.
- [69]. **Chiou, C.T & Shoup, T.D.**, Soil Sorption of Organic Vapors & Effects of Humidity on Sorptive Mechanism & Capacity. Env. Sci. Technol. 1985.
- [70]. **Guessoum, A.**, L'effet de l'irrigation sur la salinité du sol dans la région de Saada - Biskra. ,Thèse Ing, Agro, UnivBatna.2001
- [71]. **Sayyad, G., Afyuni ET al.**, Transport of Cd, Cu, Pb and Zn in a calcareous soil under wheat and safflower cultivation-A column study. Geoderma, 2010.
- [72]. **Drouet Th.** Pédologie BING-F-302, 137. (2010)
- [73]. **SHIN H. S., MOON H., YANG H. B & YUN S.S.**, Bulletin of the Korean Chemical Society, 15. 1994.
- [74]. **Purcaro, G., Moret, S., Conte, L.S.**, Optimisation of microwave assisted extraction (MAE) for polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) determination in smoked meat. Meat Science, 81,2009

Annexe 1

Tableau.1 : Résultat du pH des échantillons

Séries	S 1			S 2			S3			S4		
Échantillon	E1	E2	E3									
PH	7.04	7.24	6.69	7.55	7.69	7.57	7.61	7.78	7.66	7.68	7.93	7.93

Tableau.2 : Résultat de la variation du pH en fonction des filtrations

Filtration	S1			S 2			S 3			S 4		
Echantillon	S1-E1	S1-E2	S1-E3	S2-E1	S2-E2	S2-E3	S3-E1	S3-E2	S3-E3	S4-E1	S4-E2	S4-E3
pH avant Filtration	7.98	7.89	7.81	7.79	7.40	7.32	7.29	7.23	7.19	7.10	7.05	7.00
pH après F1	7.73	7.64	7.63	7.59	7.30	7.24	7.22	7.18	7.00	6.89	7.76	7.64
PH après F2	7.60	7.56	7.49	6.94	6.89	6.77	7.1	7.12	6.80	6.74	6.67	6.58
pH après MF1	7.49	7.45	7.31	6.65	6.64	6.62	7.03	6.89	6.74	6.68	6.59	6.49
pH après MF2	6.92	6.65	6.53	6.44	6.40	6.41	6.98	6.79	6.62	6.55	6.47	6.41
pH après MF3	6.52	6.49	6.41	6.38	6.29	6.22	6.5	6.66	6.45	6.41	6.39	6.28

Tableau.3 : Résultats de la conductivité des échantillons

Séries	S 1			S 2			S3			S4		
Ech	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
CE ($\mu\text{s/cm}$)	142	134.2	101.8	381	338	274	273	257.2	234	223	180.6	170.6

Tableau .4 : Résultats de la variation de la conductivité en fonction des filtrations

Filtration	S1			S2			S3			S4		
Echantillon	S1-E1	S1-E2	S1-E3	S2-E1	S2-E2	S2-E3	S3-E1	S3-E2	S3-E3	S4-E1	S4-E2	S4-E3
CE avant Filtration	86.5	90.3	113.5	195.4	197	173.3	277	259.3	314	341.4	345.1	351.7
CE après F1	99.3	102.3	115.3	236	278.6	291.5	295	302	336.3	347	366	377
CE après F2	119.1	121.4	136.9	247	302	311	323	373	376	391	399	416.8
CE après MF 1	120.6	160.2	172.2	257	336	348	354	385	395	400.2	414.6	429.4
CE après MF2	138.2	248	259.3	269	352	378	389	396	410	414.5	425.9	466.3
CE après MF3	160.4	316.1	333.3	345	378	385	398	405	422	445.3	456.7	489.1

Tableau.5 : Les résultats de l'humidité des échantillons

Séries	S 1			S 2			S3			S4		
Echantillon	S1-E1	S1-E2	S1-E3	S2-E1	S2-E2	S2-E3	S3-E1	S3-E2	S3-E3	S4-E1	S4-E2	S4-E3
M ₀	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
M ₁	4.108	3.987	4.138	4.630	4.010	4.157	4.399	4.448	4.479	4.630	4.629	4.615
H (%)	23.63	20.24	17.23	21.92	19.8	16.86	12.02	11.01	10.42	7.40	7.42	7.7

Tableau.6 : Les Résultats de la matière organique des échantillons

Séries	S 1			S 2			S3			S4		
Ech	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
M ₀ (g)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
M ₁ (g)	1.5242	1.5752	1.5418	1.422	1.443	1.552	1.691	1.707	1.751	1.782	1.816	1.83
MO(%)	23.79	21.24	18.12	28.9	27.85	22.4	15.45	14.65	12.45	10.9	9.2	8.5

Tableau.7 : Résultat de la matière en suspension de la série 1

Filtration	F1			F 2			F3		
Echantillon	S1-E1	S1-E2	S1-E3	S1-E1	S1-E2	S1-E3	S1-E1	S1-E2	S1-E3
M ₀ (g)	1.3970	1.1073	1.189	0.7286	0.7857	0.7862	0.8522	1.005	0.9756
M ₁ (g)	6.0551	5.7209	5.7123	1.8522	1.254	1.1050	0.9520	1.1551	1.110
V (ml)	50	50	50	36	41	42	33	39	38
T (min)	119 :15	104 :16	118 :16	44 :04	30 :40	25 :39	9 :56	5 :15	3 :54
MES.10 ⁻³ (mg/ l)	93.17	92.27	90.60	29.61	11.429	7.533	3.0242	3.8487	4.0894
Microfiltration	MF 1			MF 2			MF 3		
Echantillon	S1-E1	S1-E2	S1-E3	S1-E1	S1-E2	S1-E3	S1-E1	S1-E2	S1-E3
M ₀ (g)	5.9520	4.756	5.3386	5.9856	5.0110	5.3896	6.003	5.0393	5.4198
M ₁ (g)	5.9856	5.0110	5.3896	6.003	5.0393	5.4198	6.0109	5.0475	5.4380
V (ml)	24	27	27	28	29	28	22	25	25
MES .10 ⁻³ (mg /l)	1.400	1.3111	1.8888	0.6214	0.9758	1.0785	0.3628	0.5456	0.7312

Tableau.8 : Résultats de la matière en suspension de la série 2

Filtration	F 1			F 2			F3		
Echantillon	S2-E1	S2-E2	S2-E3	S2-E1	S2-E2	S2-E3	S2-E1	S2-E2	S2-E3
M ₀ (g)	1.1759	1.3611	0.9905	0.7521	0.7891	0.7833	1.4513	1.3386	1.1210
M ₁ (g)	5.2618	5.2921	3.0165	1.3386	1.1210	1.0210	1.1210	1.4006	1.1813
V (ml)	50	50	50	35	35	34	33	29	30
T (min)	116 :36	95 :22	97 :18	15 :02	9 :68	7 :30	7.53	2.30	2.35
MES.10 ⁻³ (mg /l)	81.71	78.62	40.52	16.757	9.4828	6.9911	3.0333	2.1379	2.020
Microfiltration	MF 1			MF 2			MF 3		

Echantillon	S2-E1	S2-E2	S2-E3	S2-E1	S2-E2	S2-E3	S2-E1	S2-E2	S2-E3
M ₀ (g)	4.3692	1.6584	1.8541	4.4053	1.6880	1.8807	4.4297	1.8950	1.8983
M ₁ (g)	4.4053	1.6880	1.8807	4.4279	1.8950	1.8983	4.4381	1.9005	1.9017
V (ml)	29	25	26	23	20	27	20	17	22
MES.10 ⁻³ (mg /l)	1.2450	1.1871	1.0235	0.9852	0.7521	0.6548	0.4231	0.3256	0.1587

Tableau.9 : Résultats de la matière en suspension de la série 3

Filtration	F 1			F 2			F3		
Echantillon	S3-E1	S3-E2	S3-E3	S3-E1	S3-E2	S3-E3	S3-E1	S3-E2	S3-E3
M ₀ (g)	1.1386	1.0887	1.1604	1.7337	0.7812	0.7803	0.9822	1.3216	1.1012
M ₁ (g)	4.4403	4.4859	4.8359	1.9822	1.3216	1.0210	1.0937	1.4457	1.1732
V (ml)	50	50	50	40	38	39	38	34	36
T (min)	74 :36	90 :26	105 :30	6 :46	5 :36	10 :16	3 :16	4:45	3 :52
MES .10 ⁻³ (mg /l)	66.03	67.94	73.51	6.212	14.221	8.222	2.935	3.651	2.001
Microfiltration	MF 1			MF 2			MF 3		
Echantillon	S3-E1	S3-E2	S3-E3	S3-E1	S3-E2	S3-E3	S3-E1	S3-E2	S3-E3
M ₀ (g)	1.0645	1.2340	1.6545	1.1160	1.2554	1.6912	1.1392	1.2625	1.6985
M ₁ (g)	1.1160	1.2554	1.6912	1.1392	1.2625	1.6985	1.1430	1.2636	1.7012
V (ml)	38	17	31	34	13	29	31	10	27
MES.10 ⁻³ (mg /l)	1.356	1.259	1.184	0.6852	0.5514	0.2524	0.1241	0.1191	0.1026

Tableau.10 : Résultats de la matière en suspension de la série 4

Filtration	F 1			F 2			F3		
Echantillon	S4-E1	S4-E2	S4-E3	S4-E1	S4-E2	S4-E3	S4-E1	S4-E2	S4-E3
M ₀ (g)	1.3095	1.2657	0.8282	0.8184	0.9974	0.7739	0.8208	0.9134	0.9970
M ₁ (g)	5.5757	4.5454	3.7229	1.7304	1.6502	1.0698	1.0747	1.0526	1.0473
V (ml)	50	50	50	37	35	28	33	32.5	25
T (min)	79 :11	100 :24	130 :02	7 :01	9 :03	20 :16	3 :07	3 :49	13 :25
MES .10 ⁻³ (g /ml)	85.32	65.49	57.89	24.65	18.6524	10.5682	7.6956	4.2841	2.0145

Microfiltration	MF 1			MF 2			MF 3		
Echantillon	S4-E1	S4-E2	S4-E3	S4-E1	S4-E2	S4-E3	S4-E1	S4-E2	S4-E3
M ₀ (g)	4.7127	0.7801	0.7890	4.7548	0.8073	0.8162	4.7760	0.8189	0.8250
M ₁ (g)	4.7548	0.8073	0.8162	4.7760	0.8189	0.8250	4.7816	0.8216	0.8265
V (ml)	27	20	23	25	17	21	23	15	18
MES.10 ⁻³ (mg /l)	1.5612	1.3622	1.1845	0.8518	0.6854	0.4235	0.2435	0.1845	0.0873

Annexe II

➤ Cas de chrome

Tableau 1 : Données expérimentales de la courbe d'étalonnage du chrome

Concentration	0.5	1	2	3	4	5	10
Absorbance	1.25	2.5	5	7.5	10	12.5	25

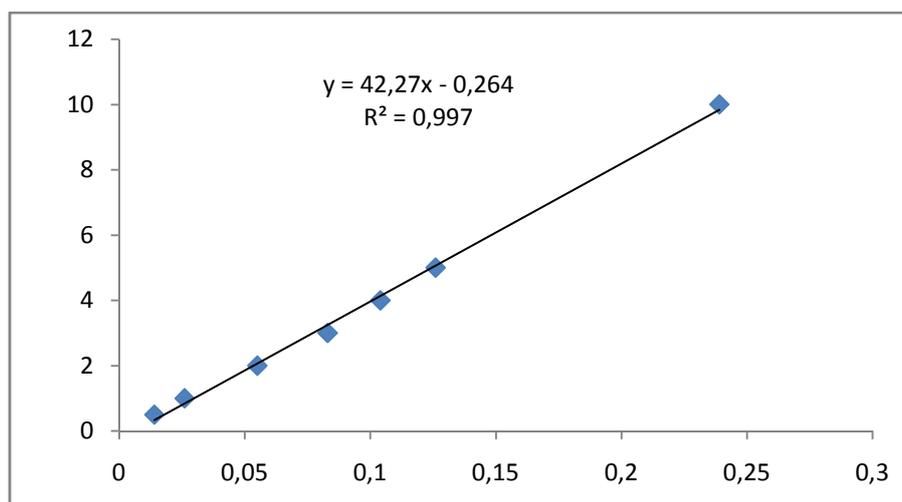


Figure I : Courbe d'étalonnage du chrome

➤ Cas de plomb :

Tableau 2 : Données expérimentales de la courbe d'étalonnage du plomb

Concentration	2.5	5	10	12.5	15	15.5	20
Absorbance	5	10	2.5	6.25	7.5	7.75	4

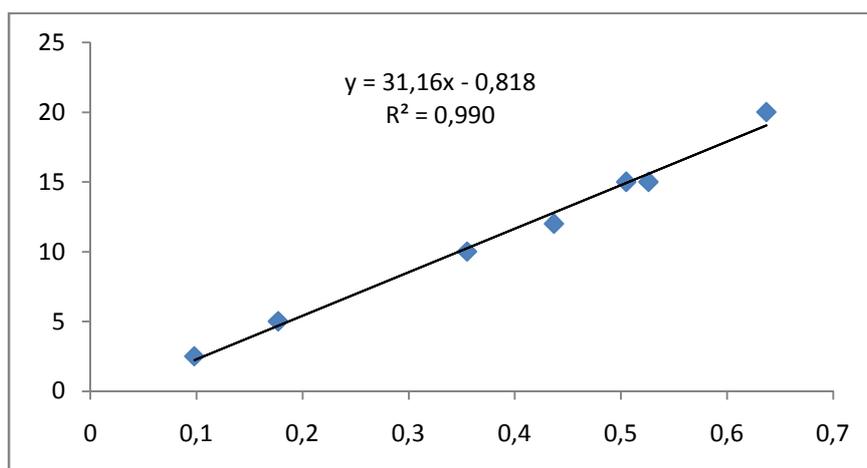
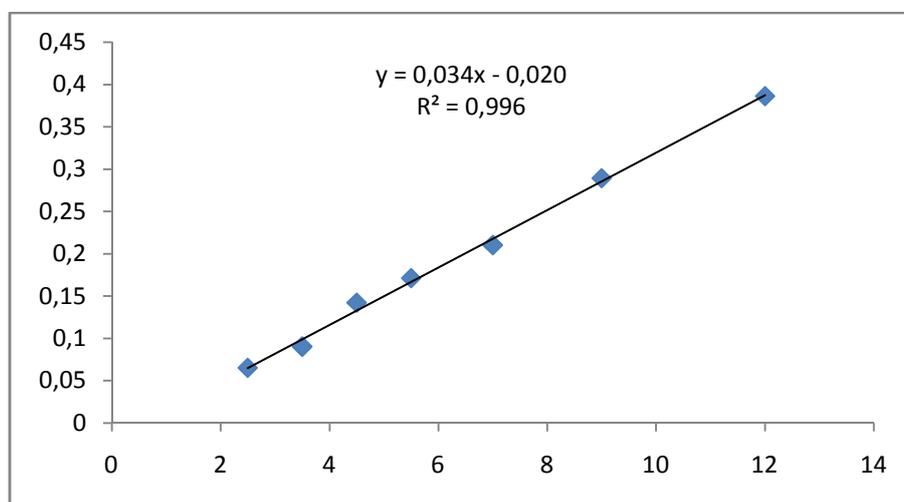


Figure II: Courbe d'étalonnage du plomb

➤ Cas de cuivre :

Tableau 3 : Données expérimentales de la courbe d'étalonnage du cuivre

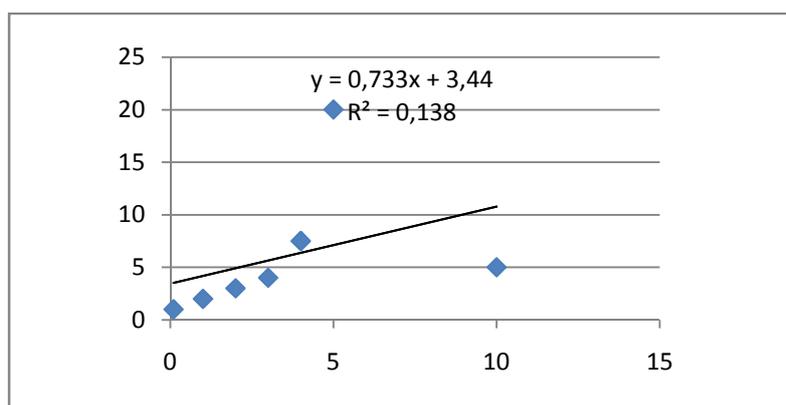
Concentration	0.5	2.5	4.5	7	9	12	15
Absorbance	0.023	0.066	0.146	0.235	0.337	0.412	0.515

**Figure III** : Courbe d'étalonnage du cuivre

➤ Cas de Nickel :

Tableau 4 : Données expérimentales de la courbe d'étalonnage du Nickel.

Concentration	0.1	1	2	3	4	5	10
Absorbance	1	2	3	4	7.5	20	5

**Figure IV** : Courbe d'étalonnage du nickel