



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

Kouidri Mohammed Lamine & Dridi Houssem Eddine

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie des Procédés

OPTION : Pétrochimie

Thème

**Etude expérimentale du lavage des sols contaminés par les
hydrocarbures et son effet sur les propriétés des
hydrocarbures récupérés**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
Mme Hadjadj Asma	MC-B	Président
Mr Mahdjoubi Hadj Aissa	MA-A	Examineur
Mme Brahimi Djamila	MC-B	Rapporteur

Promotion : Mai 2022



Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé, la patience et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mme Brahimi Djamila**, on la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Merci à tous les employés de laboratoires de génie des procédés à l'université de Laghouat qui nous ont accueillis avec beaucoup de gentillesse et une bonne humeur.

On voudrait également remercier les membres du jury :

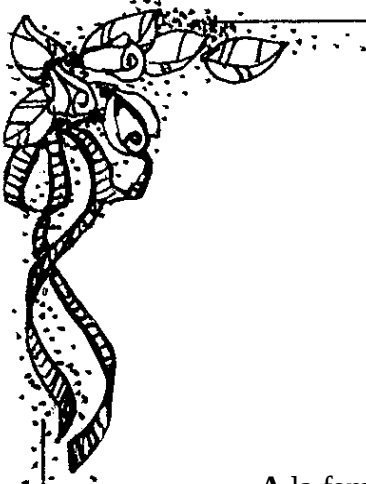
Mme Hadjadj Asma et Mr Mahdjoubi Hadj Aissa

Pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques, ainsi que les enseignants et toute l'équipe administrative et pédagogique du département de génie des procédés à l'université de Laghouat pour leur soutien inestimable.

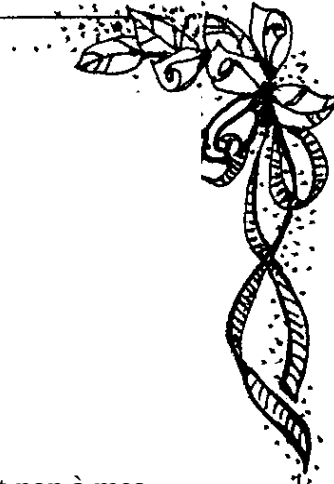
A tous mes enseignants qui m'ont initié aux valeurs authentiques, en signe d'un profond respect et d'un profond amour.

Finalement, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à vous tous.



Dédicaces



Du profond de mon cœur, je dédie ce travail :

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui na jamais dit non à mes exigences pour me rendre heureuse, a flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur : **ma chère mère.**

A l'homme qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, qui n'as cessé de me donner : **mon cher père.**

A mes frère : **Salah, Nasrou, Nadjemeddine, Kheireddine.**

A tous mes amis, tout particulièrement Aissa, Hadj Aissa , Chemsou , Mohamed, Bahi , adnane que dieu vous bénisse et vous guide vers le bon chemin.

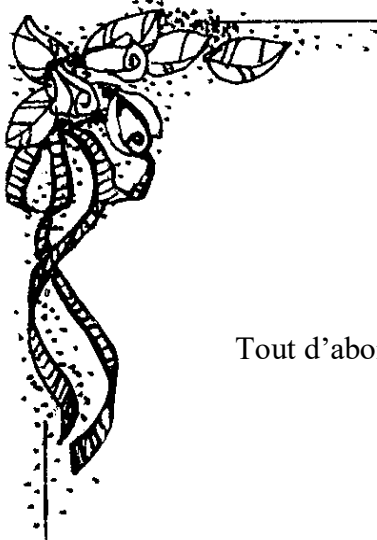
A Lamine, cher ami avant d'être binôme.

A tous ceux qui me sont chers.

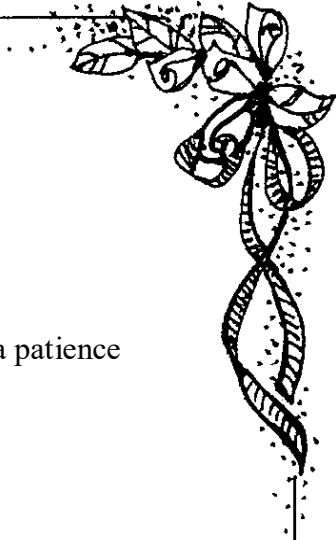
Merci.

Houssein





Dédicaces



Tout d'abord, je tiens à remercier **DIEU** de m'avoir donné la force, la patience et le courage.

Je dédie ce modeste travail :

À la mémoire de mon défunt père. Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, que ce travail traduit ma gratitude. Paix à son âme.

À ma mère la plus belle créature que Dieu a créée sur terre. À cette source de tendresse, de patience et de générosité.

À mes frères : Abdelkrim et Sofiane. À ma sœur : Samira, et mes belles sœurs : **Ibtissam et Hassiba.** Qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études, que dieu les protège et leurs offre plein du bonheur.

À mon ami et mon binôme : Housseem.

À mes camarades de la promotion (2021/2022).

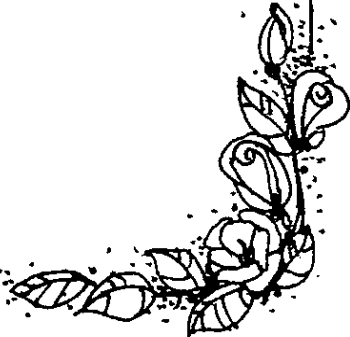
À tous mes amis : Abdou, Anis, Abdelhak, Omar, Ahmed, Taha, Adnane, Ibrahim, Mohammed, Chemsou, Aissa, Raouf, Hadj aissa, Messoud.

À Tout ceux qui m'aiment et que j'aime.

À toute ma famille.

Merci à tous.

Lamine



Liste des figures

Figure I.1 : Dispositif du système de tamisage.....	04
Figure I.2 : Appareil de mesure de point de trouble et d'écoulement (ASTM D2500).....	08
Figure I.3 : Mesure de point de trouble et d'écoulement.....	09
Figure I.4 : Appareil de mesure du point d'éclair (NCL440)	10
Figure I.5 : Appareil de mesure du point d'aniline (NAE 440).....	11
Figure I.6 : Appareil de distillation ASTM automatique (Diana700)	12
Figure I.7 : Les étapes du protocole de lavage du sol.....	14
Figure I.8 : La récupération d'hydrocarbure après le protocole de lavage des sols.....	15
Figure I.9 : Sable après la décontamination de pétrole.....	15
Figure I.10 : Argile après la décontamination du gazole.....	15
Figure I.11 : Sable contaminé avec les hydrocarbures.....	17
Figure II.1 : Distribution de la taille des particules du sable.....	19
Figure II.2 : Distribution de la taille des particules de l'argile.....	20
Figure II.3 : Rendement de pétrole récupéré en fonction de la vitesse d'agitation.....	22
Figure II.4 : Rendement d'hydrocarbure récupéré en fonction de la vitesse d'agitation.....	23
Figure II.5 : Rendement de pétrole récupéré en fonction de différents sels.....	24

Figure II.6 : Rendement d’hydrocarbure récupéré en fonction de la vitesse d’agitation (sur différent type du sol)	25
Figure II.7 : Rendement du gazole récupéré en fonction de la température.....	26
Figure II.8 : Évolution de la masse en fonction du temps d’altération (a et c : à l’air.) (b : à 50 °C)	27
Figure II.9 : Point d’éclair en fonction du temps d’altération	28
Figure II.10 : Point d’aniline en fonction du temps d’altération	29
Figure II.11 : Point d’écoulement et trouble en fonction du temps d’altération.....	30
Figure II.12 : Courbe de distillation ASTM (température en fonction du volume récupéré).....	31

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les conditions expérimentales utilisées pour réaliser le lavage de sol.....	16
Tableau I.2 : Les conditions expérimentales utilisées pour réaliser l'altération du sable contaminés.....	18
Tableau II.1 : Propriétés physiques des particules du sable.....	19
Tableau II.2 : Propriétés physiques des particules de l’argile.....	20
Tableau II.3 : Caractéristiques physiques du pétrole.....	21
Tableau II.4 : Caractéristiques physiques du gazole.....	21

Liste des abréviations et symboles

T_{ec} : Point d'éclaire

T_{an} : Point d'aniline

ASTM : American society for testing and materiel

D_{moy} : Diamètre moyen

ρ_{absol} : Masse volumique absolue (kg/m³)

ρ_{appar} : Masse volumique apparente (kg/m³)

ρ : Masse volumique (kg/m³)

H(%) : Teneur en eau

φ : Porosité de sol

T (°C) : Température

R (%) : Rendement d'hydrocarbure récupéré

pH : Potentiel d'hydrogène

pH_{moy} : Potentiel d'hydrogène moyenne

m(i) : Masse initiale utilisée (g)

m(P) : Masse du creuset rempli après le séchage (g)

m(v) : Masse du creuset rempli avant le séchage (g)

m₀ : Masse de pycnomètre vide (g)

m₁ : Masse (pycnomètre +échantillons) (g)

m₂ : (Masse pycnomètre + échantillons + eau) (g)

m₃ : Masse (pycnomètre + eau) (g)

m : Masse de sol en (g)

V : Volume en (ml)

t : Temps en (min)

S : Salinité en (mg/l)

β : Degré de contamination

KCl : Chlorure de potassium

v : volume de sols en (m^3)

V (hyd)_r : volume d'hydrocarbure récupéré en (ml)

V (hyd)_i : volume d'hydrocarbure initiale en (ml)

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations et symboles

Introduction générale :1

Chapitre I : Partie expérimentale

I.1. Introduction :3

I.2. Produits :3

 I.2.1. Sols :3

I.2.2. Propriétés des sols :3

 I.2.2.1. Distribution de taille des particules de sols3

 I.2.2.2. Masse volumique apparente et absolue:4

 - Masse volumique apparente :4

 - Masse volumique absolue :5

 I.2.2.3. Détermination de la teneur en eau :5

 I.2.2.4. Détermination de la porosité :6

 I.2.2.5. Détermination du pH :6

I.3. Hydrocarbures :7

I.3.1. Caractéristiques des hydrocarbures :7

 I.3.1.1. Mesure de point de trouble et point d'écoulement:7

Caractéristiques d'appareil de mesure:.....	7
Appareillage :.....	7
I.3.1.2. Détermination du point d'éclair :.....	9
- Description :.....	9
- Caractéristique :.....	9
I.3.1.3. Détermination du point d'aniline :.....	10
Description :.....	10
Caractéristiques :.....	11
I.3.1.4. Distillation ASTM des hydrocarbures :	11
I.4. Procédure expérimentale :	13
I.4.1. Contamination du sol :	13
I.4.2. Lavage de sol :	13
I.4.3. Principe de l'opération :.....	13
I.4.4. Rendement d'hydrocarbure récupéré :	14
I.4.5. Paramètres du lavage de sol :	16
I.5. Altération :.....	17

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1. Caractéristiques des produits utilisées :	19
II.2. Effet de différents paramètres sur le rendement d'hydrocarbure récupéré :	22
II.2.1. Influence de la vitesse d'agitation :	22
II.2.2. Influence du type d'hydrocarbure :	23
II.2.3. Effet de différents sels :	24
II.2.4. Influence du type de sol :	25
II.2.5. Influence de la température :.....	26
II.3. Altération :.....	26
II.4. Influence de l'altération sur les propriétés d'hydrocarbure récupéré :	28

II.4.1. Point d'éclair :	28
II.4.2. Point d'aniline :	29
II.4.3. Point d'écoulement et trouble :	30
II.4.4. Distillation ASTM :	30
Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.
Références Bibliographiques.....	Erreur ! Signet non défini.

Introduction générale

La pollution est comme l'introduction dans l'air, l'eau et le sol, des matières solides ou des fluides qui entraînent l'altération de ces environnements, et présentant des effets néfastes pour les êtres humains ou les écosystèmes. Les activités anthropiques sont souvent à l'origine de la pollution impactant la qualité de l'air, de l'eau et du sol, avant de rejoindre des récepteurs biologiques. Avec plus de 7,5 milliards d'individus et une croissance annuelle de 1.2 %, la pression anthropique sur l'utilisation de ces ressources ne cesse d'augmenter. [1]

Dans ce cas et sur notre recherche c'est la pollution du sol avec les hydrocarbures. L'hydrocarbure ou le pétrole brut est une source d'énergie rapide et facilement accessible, rendant notre vie confortable et augmente le niveau de vie. Il se trouve naturellement dans des nombreuses régions dans le monde [2]. Les industries pétrolières génèrent des milliards tonnes de pétrole brut et ses dérivés chaque année. Tous ces dérivés sont ensuite soumis à un traitement ultérieur pour la production de produits raffinés tels que (le kérosène, l'essence, le gazole et les lubrifiants) [3]. Il est enregistré par l'agence internationale de l'énergie que la demande du pétrole dans le monde entier en 2015 était de 97 millions de barils par jour, ce qui devrait être de 100 millions de barils par jour jusqu'à 2022 [4].

La recherche des hydrocarbures en Algérie a commencé en janvier 1956, avec l'augmentation de la production de pétrole brute et la découverte d'importantes réserves de pétrole, plus d'efforts ont été ajoutés pour exploiter cette ressource, les opérations de recherche et de production comprennent (l'exploitation et la production pétrolière, transformation de pétrole, stockage et transport de pétrole) [5].

Les activités d'exploration et de production d'hydrocarbures possèdent des conséquences environnementales importantes qui se produisent, des nombreux déversements accidentels de pétrole brut ont menacé la nature suite à des accidents (des puits explosés, sabotage et rupture accidentelle de canalisations), résultant la libération des hydrocarbures dans les milieux terrestre ou aquatiques, le plus grand accident dans l'histoire de l'humanité qui a causé une catastrophe environnementale est la « marée noire de la guerre du Golfe.» en 1991, cet accident a causé le déversement de millions de gallons de pétrole brut provenant du puits de pétrole détruit dans l'eau et les terres pour une zone de 49 km au Kuwait [6]. « accident de Keystone pipeline.» en 2017 est une autre catastrophe de déversement de pétrole presque de 210 000 gallons d'huile sur la zone agricole au sud-est de la petite ville d'Amherst dans le nord-est du Dakota au États-Unis [7].

Introduction générale

Le pétrole brut est composé d'hydrocarbures liquides volatils et il contient (des paraffines, Naphtènes et des Hydrocarbures aromatiques polycycliques). Les hydrocarbures aromatiques polycycliques présents dans le pétrole brut sont déclarés comme le polluant primaire de l'environnement par les États-Unis (L'Agence de protection de l'environnement), la fuite de ces contaminants dans les milieux terrestre ou aquatiques peut présenter des risques pour la santé humaine (mutagènes et cancérigènes), la végétation et l'environnement biologique [8].

Il est donc très important de nettoyer le sol de ces substances nocives pour protéger la vie de leurs effets mortels. Une des méthodes de traitement de ces sites pollués consiste à laisser les hydrocarbures se dégrader au contact de la mer et du soleil. Une autre solution consiste au débarrassage de ces sables suivi d'un stockage ou d'une combustion. Cependant cette solution n'est pas satisfaisante au regard des obligations de ne mettre en décharge que les déchets ultimes non valorisables. Une troisième solution consiste à employer des solvants pour retirer les hydrocarbures des sables. Mais, cette solution est à la fois délicate et coûteuse. De plus elle présente le risque de migration des solvants dans l'environnement et impose un traitement ultérieur du solvant contaminé tel qu'une incinération. Une quatrième solution consiste à la technique du lavage qui est une méthode chimique d'extraction et de séparation couramment utilisée dans l'industrie pétrolière pour récupérer les hydrocarbures [9].

Ce projet de recherche a pour objectif de polluer le sol avec les hydrocarbures (gazole et pétrole) et puis le décontaminer et aussi de connaître certaines propriétés d'hydrocarbure récupéré, le but recherché est à la fois écologique et économique, c'est-à-dire décontaminer un sol contenant des hydrocarbures et récupérer ces derniers pour une éventuelle valorisation dans le secteur énergétique. Pour cela, la technique de lavage par l'eau salée a été adoptée afin de conserver un procédé écologique et à moindre coût. Cette mémoire est structurée en deux chapitres :

Le premier chapitre : présente la partie expérimentale qui est consacrée aux expériences effectuées avec différents paramètres, leurs modes opératoires ainsi qu'au matériel utilisé dans chaque expérience.

Le deuxième chapitre : présente l'interprétation des résultats obtenus et les discussions.

I.1 Introduction :

La méthode expérimentale et l'analyse théorique sont deux approches qui permettent de faire avancer les connaissances scientifiques, l'étude expérimentale de ce travail a été réalisée au niveau du laboratoire de départements de génie des procédés à l'université Amar Thelidji, nous avons étudié les différents propriétés du sol et les caractéristiques d'hydrocarbures avant et après la contamination. Nous avons été amenés à d'écrire les méthodes et les matériels utilisés et évaluer les différents paramètres relatifs aux essais pour avoir un rendement maximale après le lavage du sol.

I.2 Produits :

I.2.1 Sols :

Les sols utilisés dans le cadre de cette étude sont un sable provenant d'Oued M'zi et une argile provenant de la région de Laghouat.

I.2.2 Propriétés des sols :

I.2.2.1 Distribution de taille des particules de sols :

Ce matériau est un mélange de particules sphériques de tailles très variées, la distribution de taille des particules des sols est une caractéristique fondamentale qui influence ses propriétés. Souvent une mesure de la distribution de la taille des particules s'effectué à l'aide d'une granulométrie laser, en raison du manque d'appareillage, un système du tamisage (**figure I.1**) a été mis en place pour déterminer la distribution de taille des particules des sols. Il est composé des tamis reliés à un moteur à arbre désaxé. Ce système permet de générer un mouvement périodique permettant la vibration des tamis. La caractérisation granulométrique consiste à définir la masse, le volume ou le nombre de chaque classe de taille de particules.

[10]



Tamis inox
6300 µm
2000 µm
500 µm
250 µm
20 µm

Figure I.1 : Dispositif du système de tamisage.

I.2.2.2 Masse volumique apparente et absolue:

Masse volumique apparente :

La mesure de la masse volumique apparente a été effectuée à l'aide d'une éprouvette graduée de 100 ml et d'une balance de précision. Un volume de sol est mesuré à l'aide de l'éprouvette graduée et pesé. La masse de l'échantillon est divisée par le volume pris depuis l'éprouvette pour donner la masse volumique apparente des sols.

$$\rho_{app} = \frac{m}{v}$$

ρ_{app} = masse volumique apparente en (kg/m³).

m = masse des sols en (g).

v = volume de sols en (ml).

Masse volumique absolue :

La mesure de la masse volumique absolue a été effectuée à l'aide d'un pycnomètre de 50 ml et d'une balance de précision. Le principe de cette mesure est de combler les pores ouverts de sols et l'espace inter particulaire avec un volume d'eau mesuré. Une masse de sol est mesurée à l'aide de pycnomètre et pesée. Dans un second pycnomètre de 50 ml de masse connue, le sol est versé en pluie dans une masse d'eau. Cette technique permet de limiter au maximum les poches d'air présentes entre les particules. Le pycnomètre est ensuite complété avec de l'eau jusqu'à atteindre les 50 ml. La masse de l'ensemble est mesurée. Ces données permettent de déduire plusieurs données caractéristiques du sol. La masse volumique du lit, qui correspond à la masse volumique d'un lot de particule sol tassé. La masse volumique réelle est calculée d'après la relation suivante : [11]

$$\rho_{absol} = \frac{m_1 - m_0}{(m_3 - m_0) - (m_2 - m_1)}$$

ρ_{absol} = Masse volumique absolue en (kg/m³) .

m_0 : Masse de pycnomètre vide (g).

m_1 : Masse (pycnomètre + sol) (g).

m_2 : Masse (pycnomètre + sol + eau) (g).

m_3 : Masse (pycnomètre + eau) (g).

I.2.2.3 Détermination de la teneur en eau :

La teneur en eau est un rapport exprimé en pourcentage. Une masse de sol $m(i)$ est mise dans un creuset et puis pesée, elle est ensuite séchée dans une étuve à 105 °C, l'échantillon est pesé après 24 heures. Le teneur est déterminé par la formule suivante: [12]

$$H = 100 \times \frac{m(v) - m(P)}{m(i)}$$

m(i): La masse initiale utilisée (g).

m(P): La masse du creuset rempli après le séchage (g).

m(v): La masse du creuset rempli avant le séchage (g).

H : la teneur en eau (%).

I.2.2.4 Détermination de la porosité :

Cette méthode permet d'évaluer le pourcentage du vide dans le matériau. Elle est due alors à la présence dans la structure du solide des pores, de canaux et des cavités de différentes dimensions. Elle influence la diffusion des molécules à l'intérieur des solides, on utilise la relation suivante : [13]

$$\varphi = \left[1 - \left(\frac{\rho_{abso}}{\rho_{appar}} \right) \right] \times 100$$

φ : La porosité (%).

ρ_{abso} : la masse volumique absolue (kg/m³).

ρ_{appar} : la masse volumique apparente (kg/m³).

I.2.2.5 Détermination du pH :

Il représente la mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'une solution ou d'un milieu. Plus précisément, le pH mesure la concentration d'une solution aqueuse en ions oxonium H₃O⁺. Une masse de 5 g du sol sèche avec 12.5 ml d'eau distillé mise dans un bécher 25 ml, ensuite une agitation pendant 15 min, puis il est filtré à l'aide d'un papier filtre , le pH a été mesuré avec un pH-mètre, La procédure est répétée trois fois. [14]

I.3 Hydrocarbures :

Le pétrole utilisé dans le cadre de cette étude est issu des champs pétroliers provenant de la région de Hassi Messoud sud Algérien, et le gazole utilisé dans cette étude est le gazole de la marchandise achetée de la station Aiouaz située de la région de Laghouat.

I.3.1 Caractéristiques des hydrocarbures :

I.3.1.1 Mesure de point de trouble et point d'écoulement :

Les mesures de point de trouble et point d'écoulement sont effectués sur l'appareil CPP Classique. Normes : ASTM D 2500 (**figure I.2**).

Caractéristiques d'appareil de mesure :

Quatre régulateurs de la température électroniques, réfrigéré par des gaz sans CFC (Chlorofluocarbure), avec quatre compartiments (0, -18, -33, -51 ° C) chacun avec quatre puits (Total seize trous), Stabilité en température : (+/- 1 °C), avec précision de réglage pour chaque compartiment de 1° C.

Appareillage :

Les postes de test (tube à essai en verre avec les supports), un thermomètre ASTM 5C / ASTM 6C avec des bouchons en liège, un thermomètre destiné au tube d'essai et d'un thermomètre ordinaire pour le bain réfrigérant.



Figure I.2 : Appareil de mesure de point de trouble et d'écoulement (ASTM D2500).

Un volume de 50 ml d'hydrocarbure est introduit dans le tube à essai pour mesurer les points de trouble et d'écoulement, La diminution de la température pourrait conduire à la formation de cristaux visibles ($d > 0,5 \mu\text{m}$) dans les hydrocarbures à une limite de température appelée point trouble. [15] Le point d'écoulement est défini comme la température à laquelle l'hydrocarbure ne coule plus (**figure I.3**).

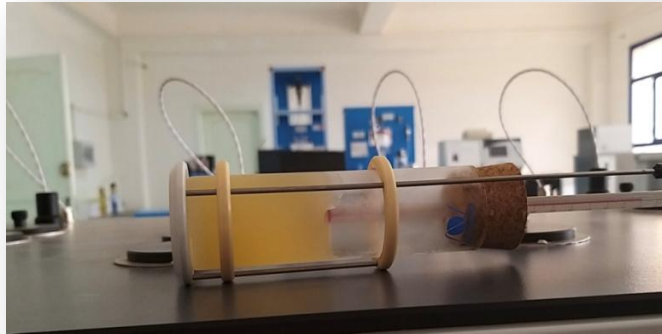


Figure I.3 : Mesure du point de trouble et d'écoulement.

I.3.1.2 Détermination du point d'éclair :

La mesure de point d'éclair est effectuée sur l'appareil NORMALAB (NCL 440) (**figure I.4**).

- Description :

L'appareil de mesure du point d'éclair est (NCL 440) combine le flash et la détection du point de feu avec une interface conviviale. Entièrement automatique. L'évolution du test est affichée en temps réel sur l'écran.

- Caractéristique :

Gamme de température de l'ambient à +400 °C, double système de détection par ionisation : un anneau pour le point d'éclair et un second anneau pour le point de feu, allumage automatique de la flamme par veilleuse électrique.



Figure I.4 : Appareil de mesure du point d'éclair (NCL 440).

Le point d'éclair (PE) est la température la plus basse, à laquelle les substances volatiles sont produites à un rythme qui leur permet d'être enflammées au contact d'une source de chaleur: flamme ou étincelle. Si l'on retire la source de chaleur, l'inflammation s'arrête mais pas pour entretenir la combustion. En d'autres termes c'est un indice de la présence des matières volatiles et inflammables dans le carburant. Le point d'éclair est déterminé à l'aide de l'appareil NORMALAB (NCL 440) (**figure I.4**).

I.3.1.3 Détermination du point d'aniline :

La mesure de point d'aniline est effectuée sur l'appareil NORMALAB (NAE 440) Normes : ASTM D 611 **figure I.5**.

Description :

Le point d'aniline NAE 440 est le seul testeur équipé de deux postes autonomes et indépendants conçu avec un chauffage par bain sec.

Le NAE fonctionne dans une plage de -10°C à $+150^{\circ}\text{C}$. Le NAE 440 peut également être utilisé en version manuelle. Pour la sécurité, l'élément chauffant est protégé en cas de rupture d'un tube.

Caractéristiques :

Deux stations indépendantes (deux tubes en U, deux sondes), plage de température d'essai : de -10 à 150°C (une source de refroidissement externe est nécessaire pour les basses températures), détection de produits clairs, colorés et sombres, système de chauffage par bain sec, possibilité de contrôle visuel.



Figure I.5 : Appareil de mesure du point d'aniline (NAE 440).

On utilise 10 ml d'un échantillon d'hydrocarbure avec 10 ml d'aniline dans un tube en U mis à l'appareil (NAE 440) pour mesurer la température à laquelle le mélange équimolaire d'aniline et d'hydrocarbure devient homogène.

I.3.1.4 Distillation ASTM des hydrocarbures :

La distillation (A.S.T.M) = (American Society of Testing Materials) est utilisée pour les fractions pétrolières (Essence, Kérosène, Gazole...), la mesure des points de la distillation ASTM est effectuée sur l'appareil Anton Paar Diana700, (**figure I.6**). L'unité de distillation Diana 700 Anton Paar est la solution la plus pratique pour effectuer

automatiquement des tests de distillation atmosphérique de haute précision sur des produits pétrochimiques à la pression atmosphérique. La distillation se fait avec un rebouilleur pour augmenter la température d'hydrocarbure les vapeurs de la fraction sont condensées par un condenseur, utilisent 100 ml d'hydrocarbure dans une fiole de 250 ml qui est après mise dans l'appareil pour commencer la distillation qui se fait d'une manière automatique. La température d'apparition de la première goutte du condensat, cette température set le point initial de la distillation, ensuite les températures sont relevées lorsque 5, 10, 20, ..., 90 et 95% du produit sont distillés. Enfin la température maximale enregistrée avant son décroissement est appelée le point final de la distillation. [16]

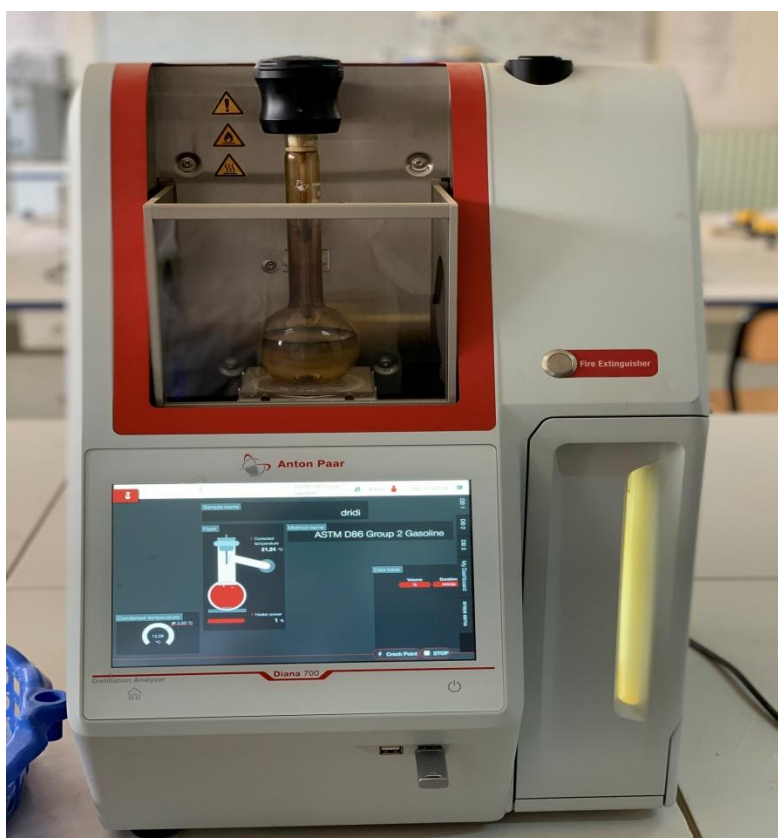


Figure I.6 : Appareil de distillation ASTM automatique (Diana700).

I.4 Procédure expérimentale :

I.4.1 Contamination du sol :

Afin de pouvoir déterminer expérimentalement le taux de récupération de l'hydrocarbure et le degré de contamination des échantillons de sol, une contamination artificielle a été réalisée, en mélangeant au sol des hydrocarbures. Les teneurs en hydrocarbure dans le sol ont été choisies conformes aux valeurs communément observées par des organismes de contrôle en analysant des échantillons issus de zones industrielles réellement contaminées[17]. Il est important de noter que les teneurs en hydrocarbure dans les échantillons sont définies comme le rapport entre la masse d'hydrocarbure mélangée au sol et la masse de sol propre.

I.4.2 Lavage du sol :

Tous les essais préliminaires de lavage réalisés dans un bécher ont été effectués sur les sols contaminés par hydrocarbure et visent à définir des conditions opératoires optimales pour l'enlèvement des hydrocarbures dans un premier temps, cents neuf expériences au total ont été réalisées. (Voir **tableau I.1** **tableau I.2**).

I.4.3 Principe de l'opération :

50 g de sol contaminé par 22 % d'hydrocarbure est mis dans un bécher, il est lavé avec 70 ml d'eau salée de degré de salinité de 0.18 mg/l, le mélange été soumis à l'agitation dans un agitateur axial pendant 30 min, l'ensemble est alors versé dans une éprouvette de 100 ml et le laissé pendant 24 heures dans le but de séparer les constituants du mélange obtenu par une simple décantation. Après 24 heures, les trois couches apparaissent clairement dans l'éprouvette selon leur densité (la couche d'hydrocarbure, puis la couche d'eau, et la couche de sol), ensuite le volume d'hydrocarbure récupéré du haut d'éprouvette a été pris, pour calculer le rendement d'hydrocarbure récupéré (**figure I.7**).

I.4.4 Rendement d'hydrocarbure récupéré :

Le rendement est défini comme étant le rapport entre le volume d'hydrocarbure obtenu après le lavage et le volume initial utilisé. Il est calculé par la relation suivante :

$$R(\%) = \frac{V(hydr)r}{V(hyd)i} \times 100$$

$R(\%)$ = Rendement d'hydrocarbure récupéré.

$V(hyd)_r$ = volume d'hydrocarbure récupéré en (ml).

$V(hyd)_i$ = volume d'huile initiale en (ml).

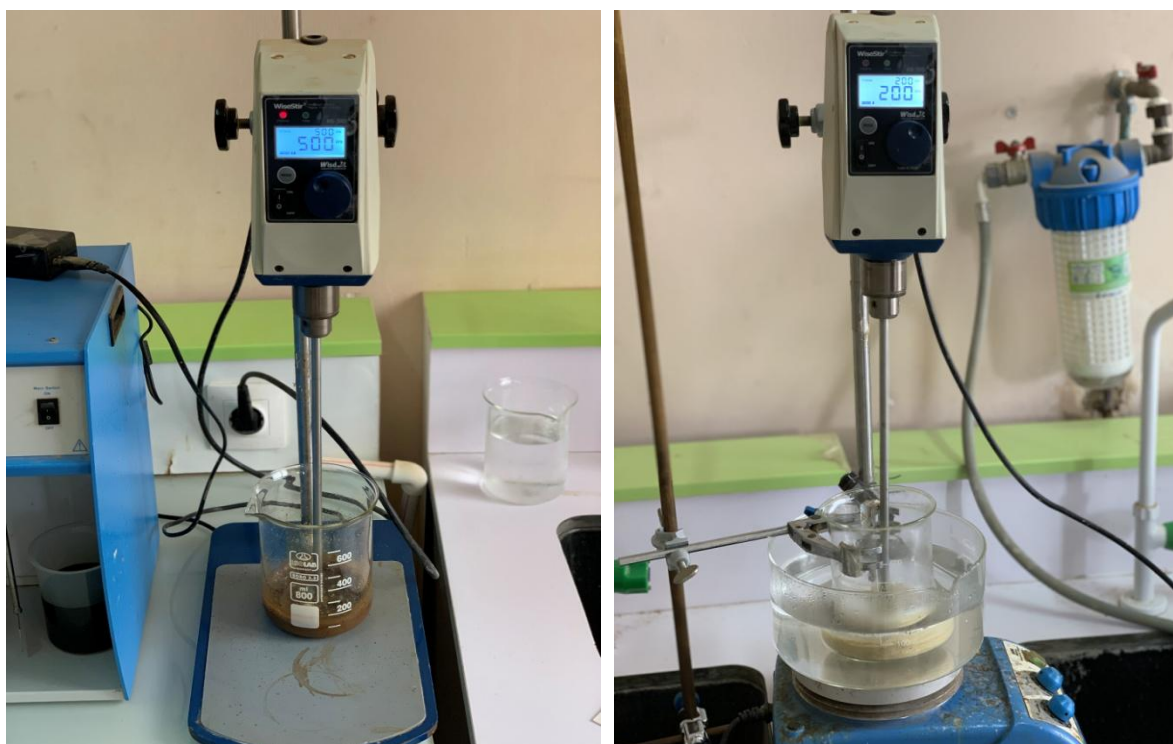


Figure I.7 : Les étapes du protocole de lavage des sols à l'aide d'un agitateur axial.



Figure I.8 : La récupération d'hydrocarbure après le protocole de lavage des sols.



Figure I.9 : Sable après la décontamination de pétrole.

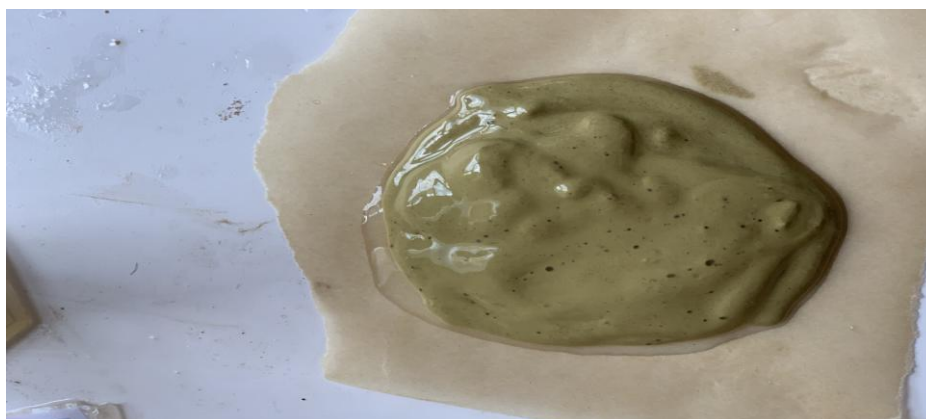


Figure I.10 : Argile après la décontamination du gazole.

I.4.5 Paramètres de lavage du sol :

Afin de bien comprendre l'influence des plusieurs paramètres sur la performance de procédé de lavage du sol et les caractérisations d'hydrocarbure, plusieurs séries d'essais ont été réalisées. Le **tableau I.1** résume les conditions expérimentales utilisées pour réaliser le lavage de sol contaminé par les hydrocarbures.

Tableau I.1 : Les conditions expérimentales utilisées pour réaliser le lavage de sol.

	Type de sol	Type de sel	Type d'hydrocarbure	Température (°C)	Vitesse d'agitation (tr/min)
Série 1 (A₁-A₆)	sable	KCl	pétrole	20	0-300-400-500-600-700
Série 2 (B₁- B₆)	sable	KCl	gazole	20	0-250-350-450-550-550
Série 3 (C₁-C₆)	sable	KCl, NaCl MgCl ₂ CaCl ₂	pétrole	20	500
Série 4 (D₁-D₅)	argile	KCl	gazole	20	0-250-350-450-550
Série 5 (E₁-E₅)	sable	KCl	gazole	20	0-250-350-450-550
Série 6 (F₁-F₅)	argile	KCl	gazole	13-35-50-65-85	500

I.5 Altération :

Des échantillons du sable contaminés par les hydrocarbures à un degré de contamination de 22 %, comme montré sur la **figure I.8**. Ils ont été altérés sous différentes conditions expérimentales afin de simuler au mieux les conditions réelles environnementales (hiver et été) et de déterminer l'influence de ces paramètres sur le rendement des hydrocarbures récupérés et ses propriétés. Des séries d'essais d'altération ont été réalisées : quatre étaient maintenues à température comprise entre 9 et 15 °C, en exposant les échantillons à de l'air pendant sept jours, et trente jours respectivement. Et deux autres à 50 °C, en plaçant les échantillons dans une étuve à 50 °C pendant sept jours. Les conditions d'altération de sable contaminés sont résumées dans le **tableau I.2** :



Figure I.11 : Sable contaminé avec les hydrocarbures

Tableau I.2 : Les conditions expérimentales utilisées pour réaliser l'altération du sable contaminés.

	Type d'hydrocarbure	Température (°C)	Durée (jours)
Série 7 (G₁-G₁₂)	pétrole	9-15	7 à l'air
Série 8 (H₁-H₁₂)	gazole	9-15	7 à l'air
Série 9 (I₁-I₁₄)	pétrole	50	7 à l'étuve
Série 10 (J₁-J₁₄)	gazole	50	7 à l'étuve
Série 11 (K₁-K₁₂)	pétrole	9-16	30 à l'air
Série 12 (L₁-L₁₂)	gazole	9-16	30 à l'air

II.1 Caractéristiques des produits utilisés :

Les tableaux II.1 et II.2 présentent les principales propriétés des produits utilisés dans ce travail.

Tableau II.1. Propriétés physiques des particules du sable.

$\rho_{\text{absol}} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3} \right)$	2.49
$\rho_{\text{appar}} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3} \right)$	1.53
φ (%)	38.14
H (%)	0.33
pH (-)	8.16
D_{moy} (μm)	101.73

Les figures II.1 et II.2. Représentent la distribution de tailles des particules de sable et d'argile utilisées. La distribution granulométrique de chaque lot est représentée par répartition en fraction par classe granulométrique ainsi qu'en fraction cumulé de l'échantillon analysé. La taille des particules du sable est variable avec un diamètre compris entre 20 et 375 μm , et son diamètre moyen égal à 101.73 μm . Alors que, la taille des particules de l'argile varie entre 375 et 1250 μm , avec un diamètre moyen de 702.84 μm .

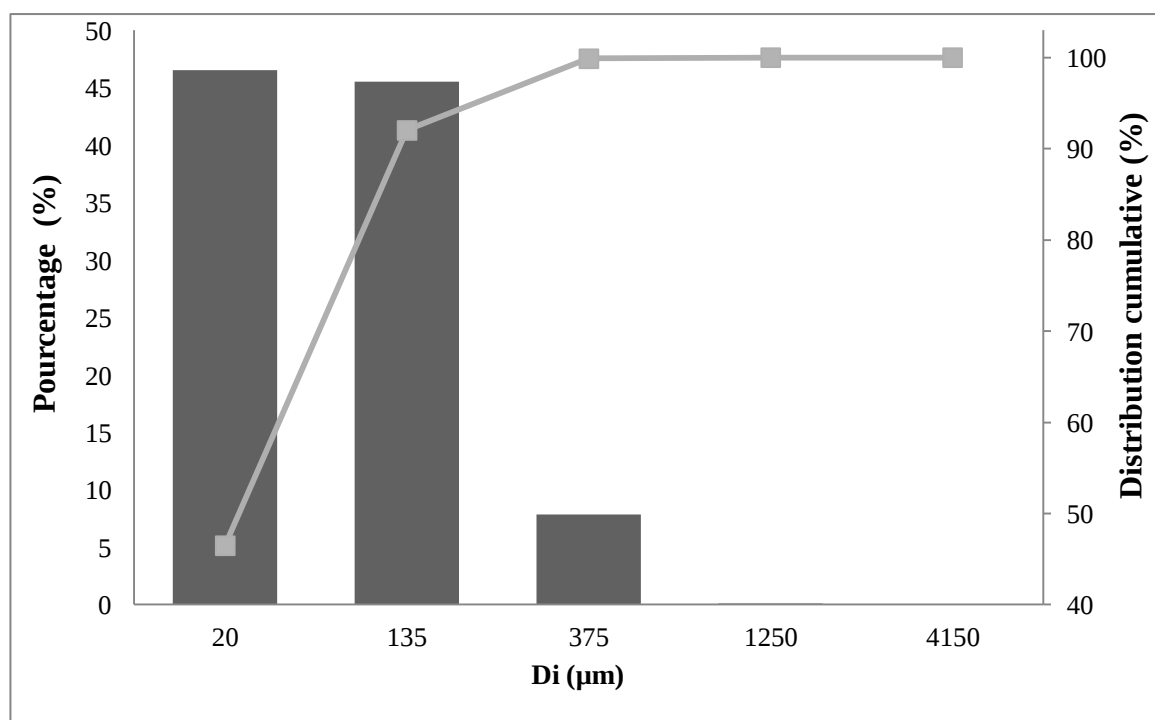


Figure II.1 : Distribution de la taille des particules du sable.

Tableau II.2. Propriétés physiques des particules de l'argile.

$\rho_{\text{absol}} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3} \right)$	2.34
$\rho_{\text{appar}} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3} \right)$	1.48
φ (%)	36.73
H (%)	6.22
pH (-)	8.53
D_{moy} (μm)	702.84

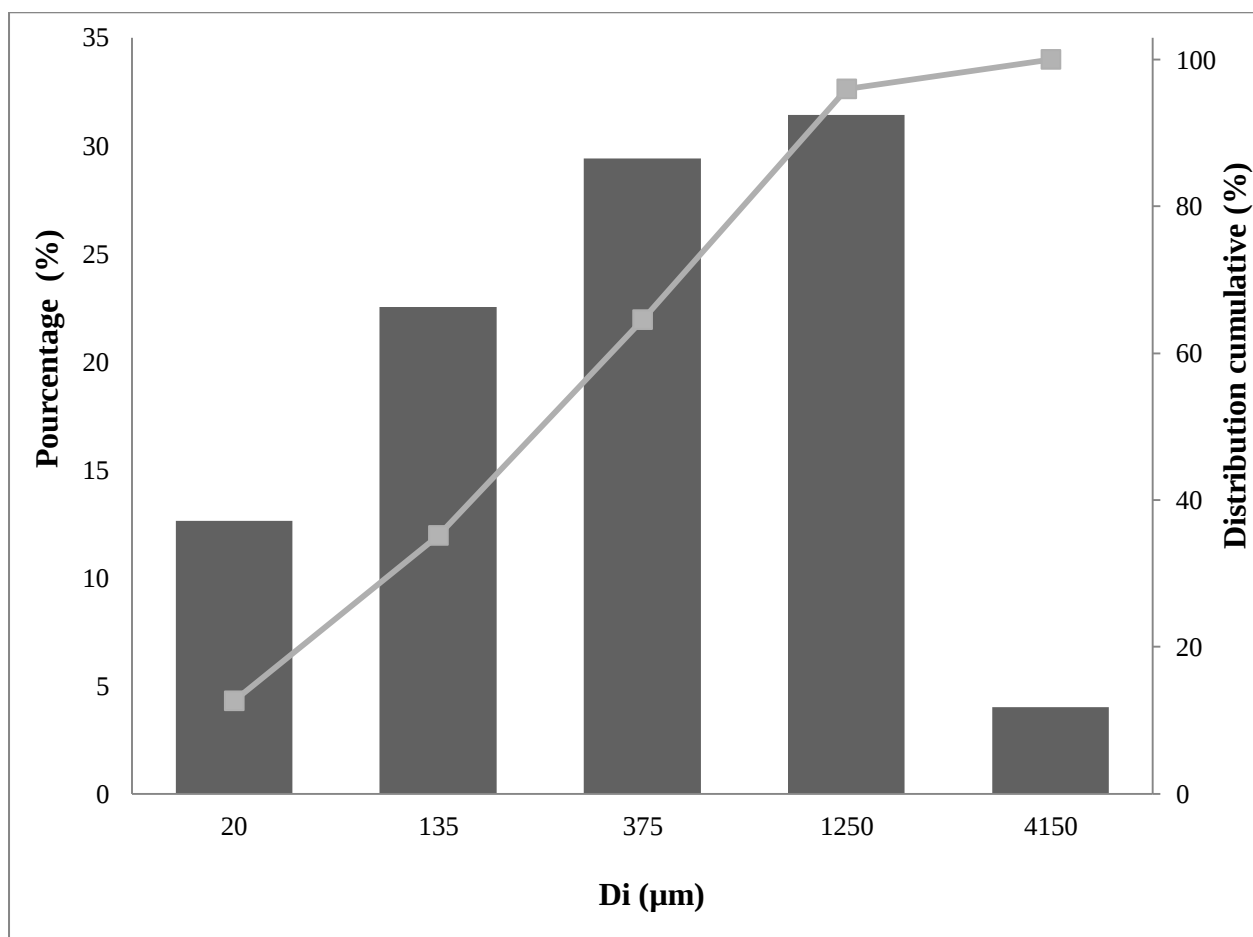


Figure II.2 : Distribution de la taille des particules de l'argile.

L'identification des hydrocarbures aussi nécessite d'effectuer une série d'expériences de reconnaissance au laboratoire, parmi ces expériences la détermination du (Point d'écoulement et point d'aniline, point de trouble, point d'éclair et la masse volumique). Les **tableaux II.3 et II.4** présentent les principales propriétés des hydrocarbures utilisés dans ce travail en se basant sur le critère d'évaluation Comparer au référence [18] la densité du pétrole léger est entre 0.78 et 0.88 g/ml, et la densité du pétrole lourd est entre 0.88 et 1.00 g/ml, le point d'éclair est inflammable si le point d'éclair est inférieur à 61 °C, pour une huile à 75 % de teneur en aromatiques, le point d'aniline serait entre 32.2 °C et 48.9 °C, pour un type naphhténique contenant 40 % de structures aromatiques, il serait entre 65,5 et 76,5 °C et pour une huile paraffinique à 15 % d'aromatiques il serait entre 93,3 et 126,7 °C, le pétrole caractérisé est léger et riche en produit volatile, d'un type naphhténique de 40 % de structures aromatiques. [23]

- le gazole léger a les propriétés suivantes ; la densité est inférieure à 0,84. Le Point d'éclair est inflammable si le point d'éclair est inférieur à 220 °C donc le gazole étudié est léger et d'un type naphhténique de 40 % de structures aromatiques.

Tableaux II.3. Caractéristiques physiques du pétrole.

		Normes
Point d'aniline (°C)	74	-
Point d'éclair (°C)	36.3	<61
Masse volumique (g/ml)	0.78	0.78-1

Tableaux II.4. Caractéristiques physiques du gazole.

		Normes
Point d'écoulement (°C)	-6	-
Point de trouble (°C)	-21	-
Point d'aniline (°C)	71.75	-
Point d'éclair (°C)	96.6	<220
Masse volumique (g/ml)	0.77	0.77-0.86

II.2 Effet de différents paramètres sur le rendement

d'hydrocarbure récupéré :

Des séries d'expériences ont été réalisées pour étudier l'effet de différents paramètres tels que (la vitesse d'agitation, la température, type de sol, type de sel) sur la performance de procédé de lavage de sol et les caractérisations des hydrocarbures récupérés.

II.2.1 Influence de la vitesse d'agitation :

Une série d'expériences (A_1 à A_6) a été réalisée avec un sable contaminé par du pétrole à 22 %, pour montrer l'effet de la vitesse d'agitation sur le rendement du pétrole récupéré à partir des échantillons de sable contaminé à travers le lavage avec l'eau salée de 0,18 g/l, en variant la vitesse d'agitation entre 0 à 700 tr/min, le temps de lavage a été fixé à 30 min, et la température à 20 °C. Les résultats sont présentés sur la **figure II.3**, qui montre l'évolution du taux de la récupération en fonction de la vitesse d'agitation. Ces résultats montrent que le rendement de récupération de pétrole augmente de 24 à 94 % avec la vitesse d'agitation, puis il diminue à 65 %, il atteint sa valeur maximale de 94 % à 500 tr/min, c'est pour cela 500 tr/min est considéré comme une vitesse d'agitation optimal pour assurer une récupération du pétrole maximale. Ces résultats signifient qu'une augmentation de vitesse d'agitation est bénéfique pour le détachement des hydrocarbures attachée dans le sable. [9]

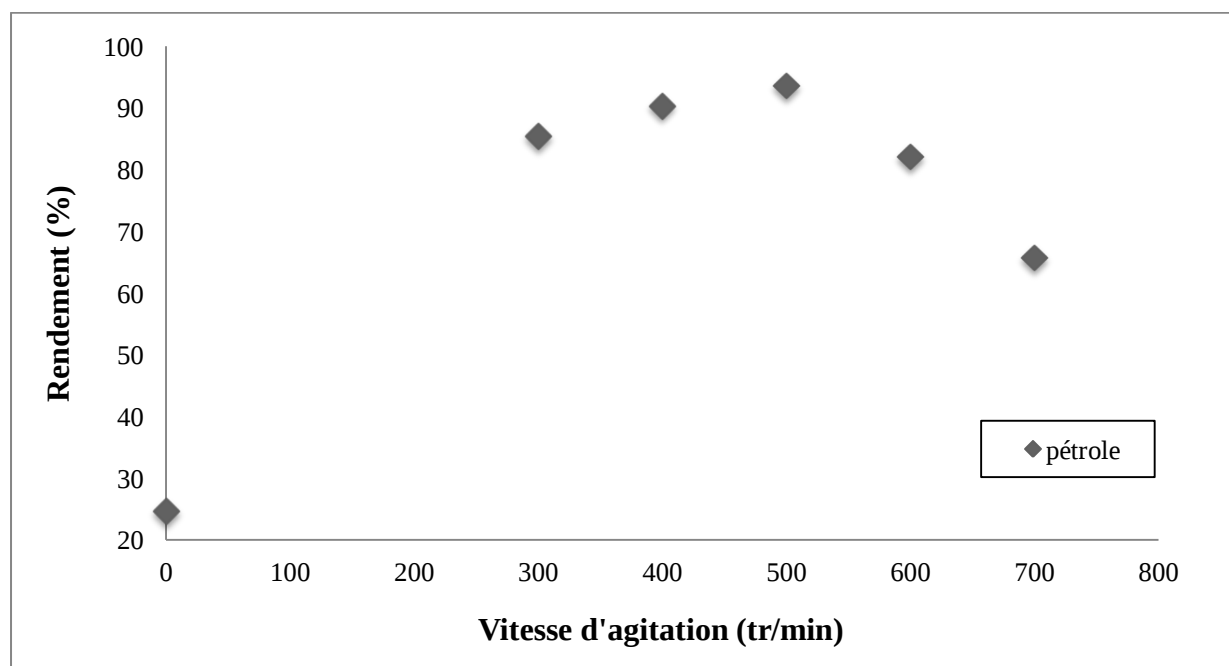


Figure.II.3 : Rendement de pétrole récupéré en fonction de la vitesse d'agitation (sur sable).

($t = 30$ min, $T = 20$ °C, $V_{\text{eau}} = 70$ ml, $\beta = 22$ %, $S_{\text{kl}} = 0.18$ g/l).

II.2.2 Influence du type d'hydrocarbure :

Une autre série d'expériences (A_1 à A_6) (B_1 à B_6) a été réalisée avec un sable contaminé par du gazole à 22 % dans les mêmes conditions précédentes, pour montrer l'influence du type d'hydrocarbure sur le lavage du sable contaminé. Les résultats sont rassemblés sur la **figure.II.4**, ces résultats expérimentaux révèlent que la vitesse d'agitation augmente le rendement de récupération de gazole et aussi du pétrole, mais l'augmentation du rendement de récupération du pétrole est plus importante par rapport au rendement du gazole, cela peut être due à la viscosité de pétrole qui est plus importante par rapport au gazole, donc l'agitation est nécessaire et bénéfique pour récupérer le maximum de pétrole par contre si la vitesse dépasse 500 tr/min le rendement diminue.

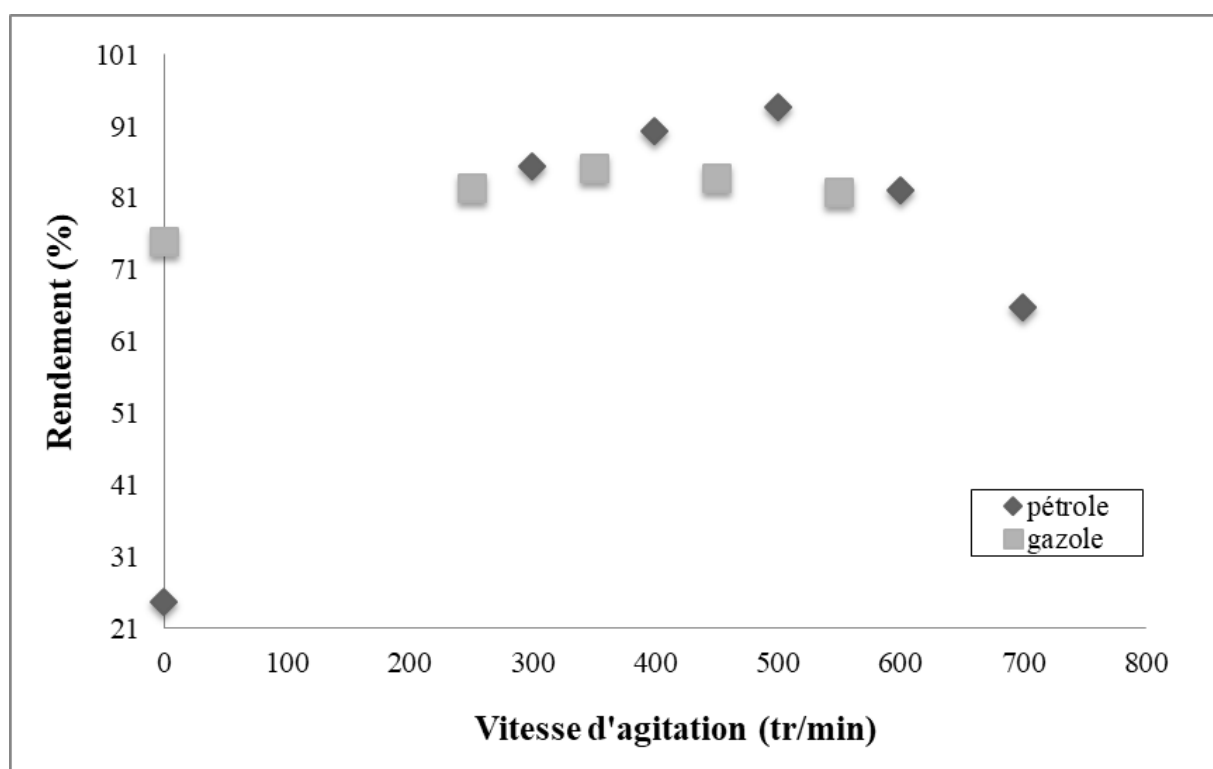


Figure.II.4 : Rendement d'hydrocarbure récupéré en fonction de la vitesse d'agitation (sur sable).

($t = 30$ min, $T = 20$ °C, $V_{\text{eau}} = 70$ ml, $\beta = 22$ %, $\phi_{\text{KCl}} = 0.18$ g/l).

II.2.3 Effet de différents sels :

Une série d'expériences (C_1 à C_6) a été réalisée pour montrer l'effet des différents sels, la performance du procédé de lavage du sable contaminé à 22 % dans les conditions précédentes, le mélange est agité à 500 tr/min pendant 30 min à une température ambiante. Les résultats obtenus sont rassemblés sur la **Figure.II.5**, qui montre que le rendement de récupération du pétrole est amélioré par l'addition de sel de façon significative, il atteint son maximum de 94 % avec KCl, suivie de NaCl avec un rendement de 93.67 %, puis du $MgCl_2$ avec un rendement de 82.16 %, alors que le $CaCl_2$ présente un rendement plus faible de 65.73 %. La présence de sels accélère la saturation des sites poreux et décolle et extraire les molécules d'hydrocarbure [19]. C'est pour cela le sel KCl est considéré comme le meilleur sel pour assurer une récupération du pétrole maximale et un nettoyage profond des particules du sable.

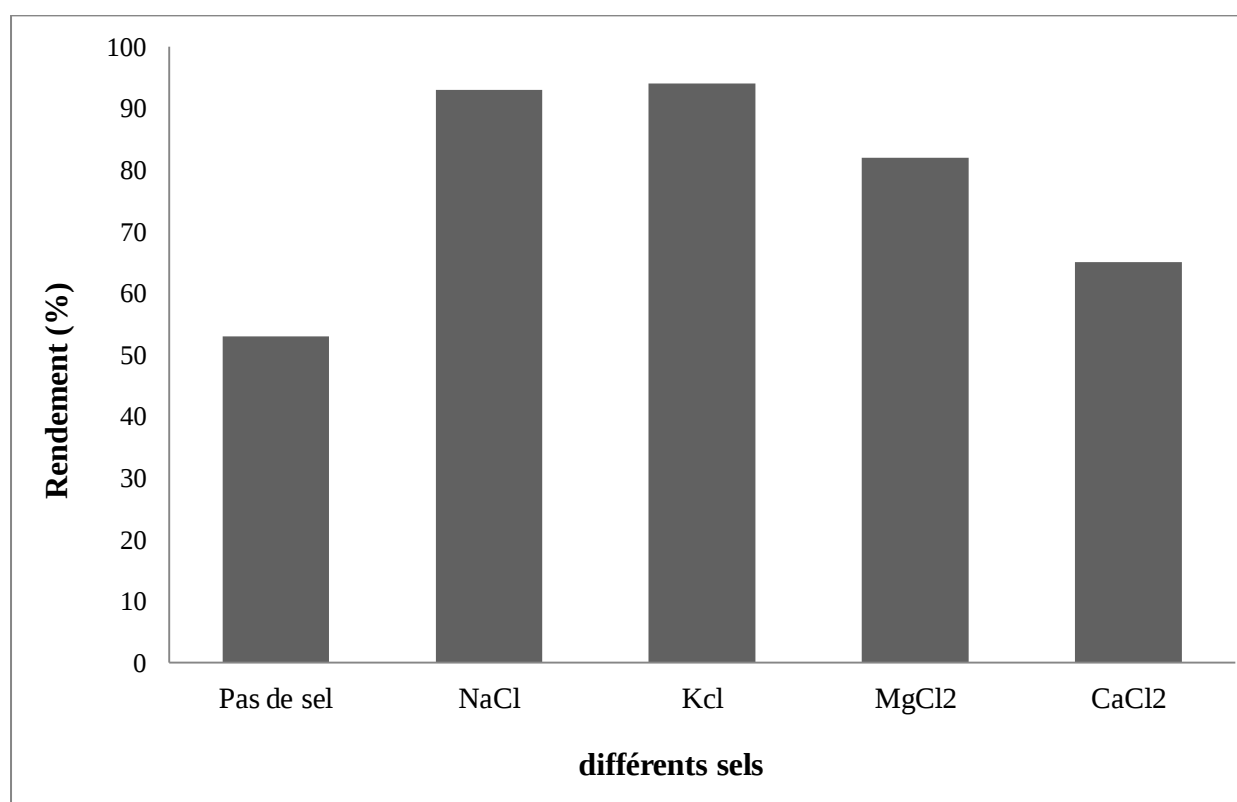


Figure.II.5 : Rendement de pétrole récupéré en fonction de différents sels (sur sable).

($t = 30$ min, $T = 20$ °C, $V_{\text{eau}} = 70$ ml, $\beta = 22$ %, $S = 0.18$ g/l, $v = 500$ tr/min).

II.2.4 Influence du type de sol :

Deux séries d'expériences (D1 à D5) et (E1 à E5) ont été réalisées Pour montrer l'effet de type de sol (argile et sable) dans les conditions suivant : un mélange de 50 g de (argile et sable) avec 11 g du gazole, le taux de contamination est 22 % et 70 ml volume d'eau ensuite une agitation pendant 30 min à différente vitesse (0-250-350-450-550 (tr/min)). Les résultats obtenus sont présentés sur la **Figure. II.6** qui montre l'augmentation du rendement de sable augmente avec la vitesse d'agitation, par contre le rendement d'argile se diminue quand la vitesse augmente, mais le taux de récupération dans le sable est plus élevé que dans l'argile cela est due à l'adsorption des hydrocarbures dans l'argile, parce que l'argile a grande surface spécifique, la plasticité, la capacité d'adsorption et la faible perméabilité [22] une fois l'hydrocarbure a l'intérieur il est piéger [19], alors le sable est beaucoup facile à décontaminé que l'argile cependant la vitesse d'agitation

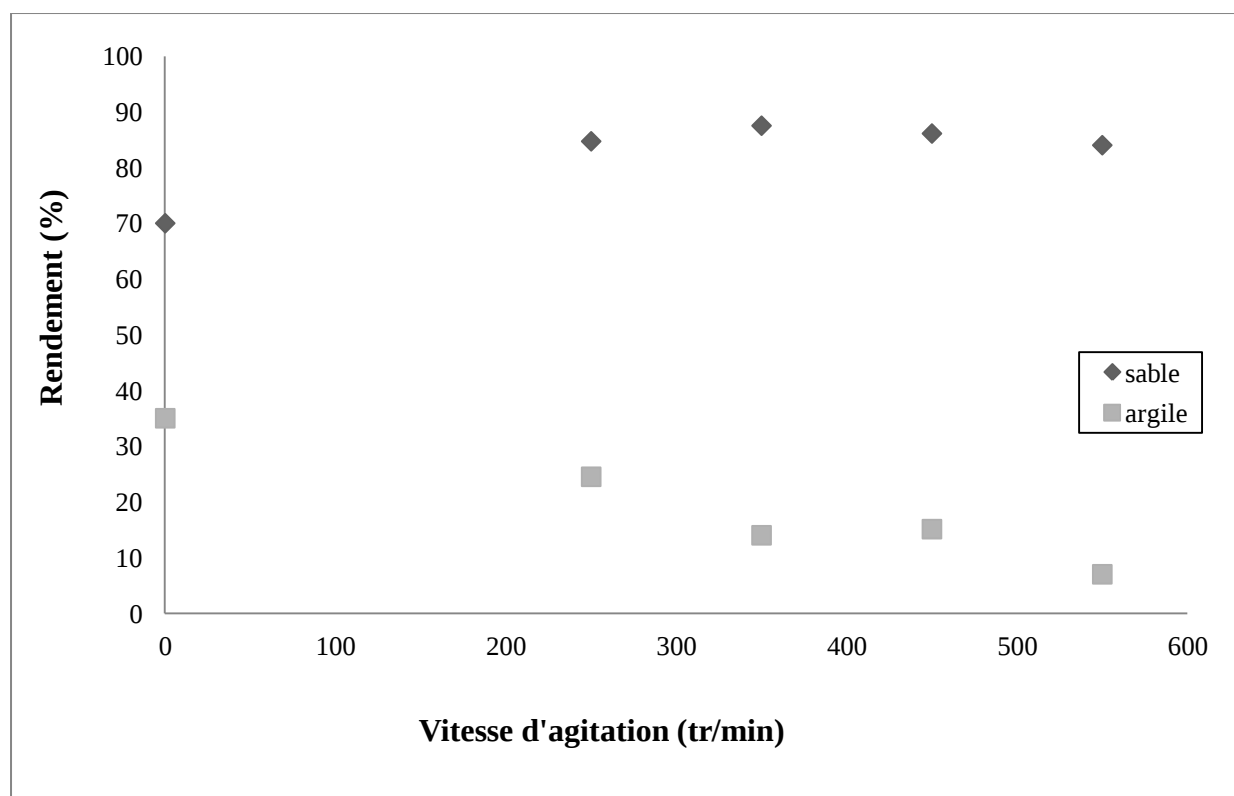


Figure.II.6 : Rendement d'hydrocarbure récupéré en fonction de la vitesse d'agitation (sur sable et argile).

($t = 30$ min, $T = 20$ °C, $V_{\text{eau}} = 70$ ml, $\beta = 22$ %, $S_{\text{kcl}} = 0.18$ g/l).

II.2.5 Influence de la température :

Une série d'expériences (F₁ à F₅) a été réalisée pour montrer l'effet de la température sur le lavage des échantillons d'argiles contaminées par le gazole, en variant la température de 13°C à 85°C, la vitesse d'agitation a été fixée à 500 tr/min pendant 30 min. Les résultats sont présentés dans la **figure II.7**, le taux de récupération reste stable autour 35 % jusqu'à une température de 50 °C, puis s'augmente avec la température. Cette dernière aide à détacher les hydrocarbures du sol, l'extraction d'hydrocarbures augmente avec l'augmentation de la température. L'augmentation de la température a permis d'obtenir de meilleures performances de lavage des sols, une température plus élevée devrait augmenter le diamètre de la micelle et améliorer la solubilisation des composants d'hydrocarbures. [9]

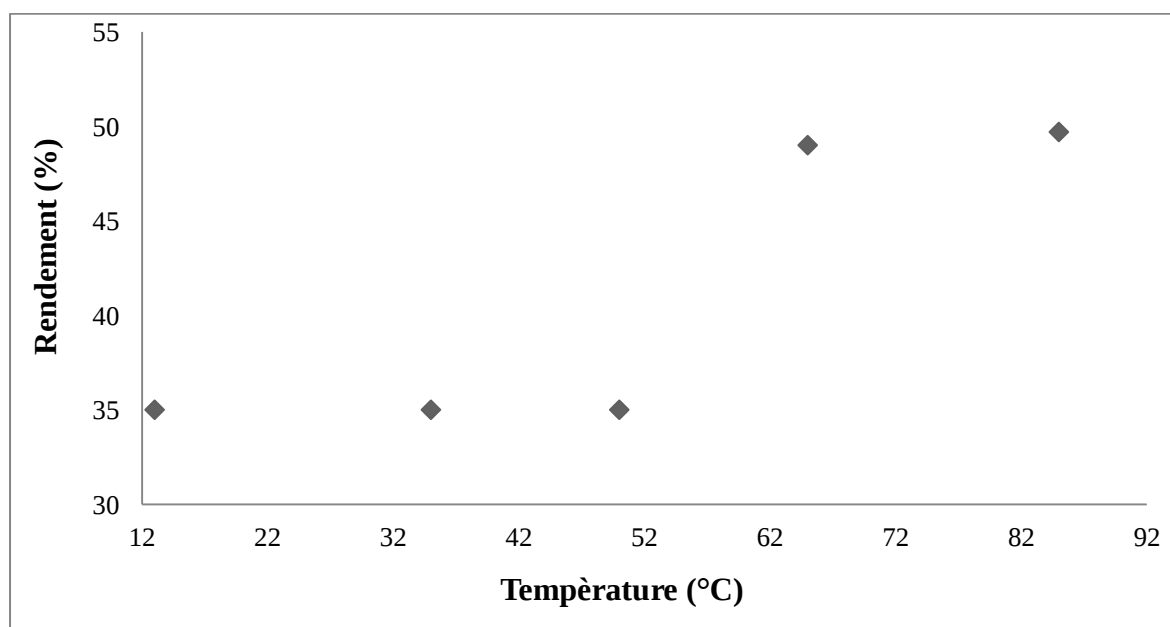


Figure.II.7 : Rendement du gazole récupéré en fonction de la température (sur argile).

($t = 30$ min, $V_{\text{eau}} = 70$ ml, $\beta = 22$ %, $S_{\text{kcl}} = 0.18$ g/l, $v = 500$ tr/min).

II.3 Altération :

Afin d'étudier l'effet de l'altération sur la performance de ce procédé, des échantillons de sable contaminé ont été exposés à l'air pendant 7 jours et 30 jours, et une autre ont été placés dans une étuve à la température de 50 °C pendant 7 jours. Les résultats obtenus sont rassemblés dans la **figure. II.8**, qui montre la masse en fonction du temps d'altération. La masse diminue avec le temps dans les deux types d'hydrocarbures (pétrole plus que gazole),

cette diminution est due à la volatilisation des composé volatile dans les deux hydrocarbures (pétrole contient plus de composé volatile que gazole), plus la durée est longue plus la diminution est plus importante, a propos l'essai de 7 jr à 50 °C, la diminution est plus rapide que les autres échantillons, cela veut dire que la température a joué un grand rôle dans la diminution de la masse à cause de la volatilisation des composés légères dans l'hydrocarbure.[19]

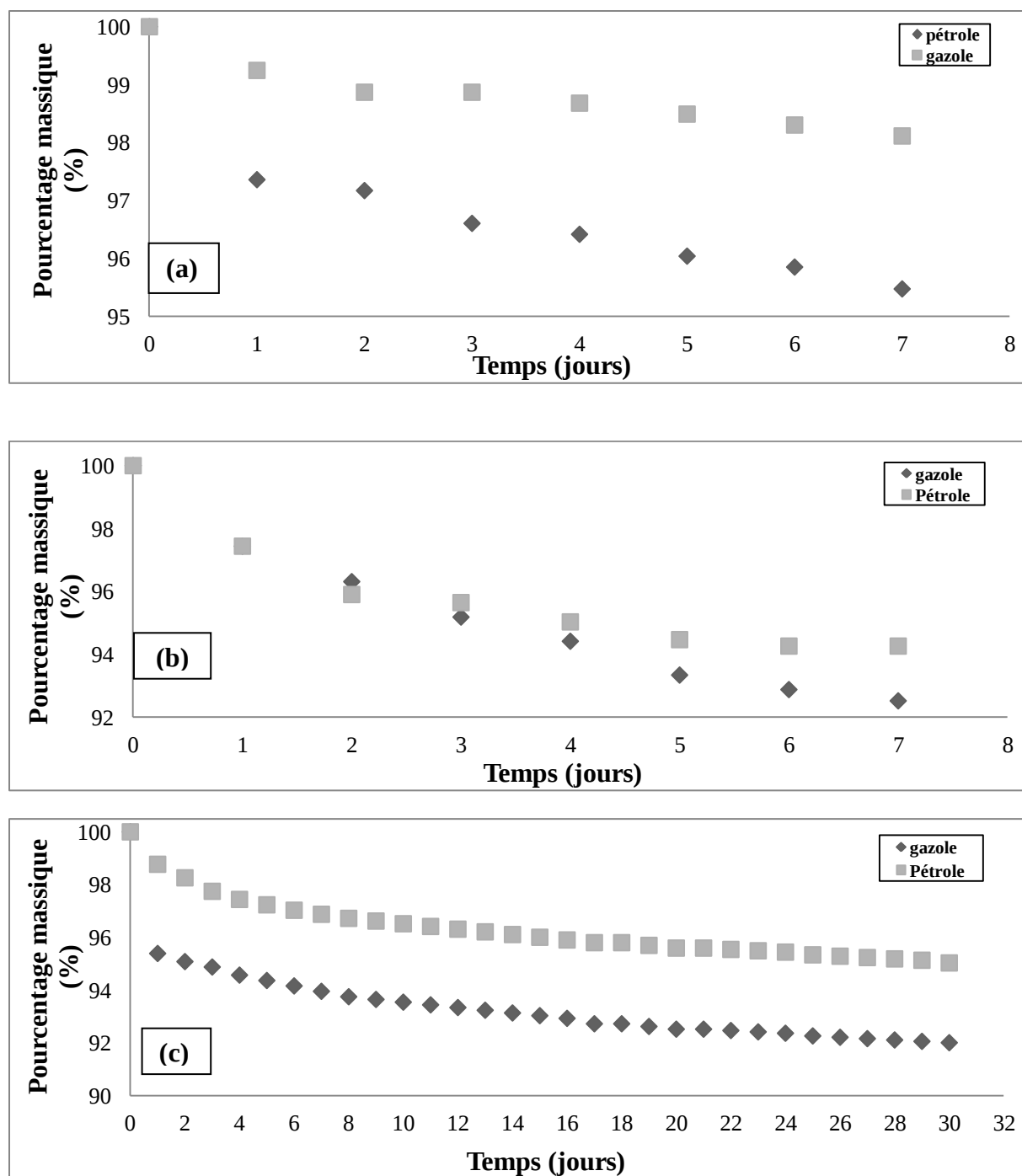


Figure.II.8 : Évolution de la masse en fonction du temps d'altération (a et c: à l'air.) (b: à 50 °C).

II.4 Influence de l'altération sur les propriétés d'hydrocarbure récupéré :

Les échantillons ont été lavés après altération et les hydrocarbures ont été récupérées pour la détermination de ses propriétés tel que : le point d'éclair, le point d'aniline, et le point de trouble.

II.4.1 Point d'éclair :

Les points d'éclair des hydrocarbures récupérés en fonction du temps d'altération sont représentés sur la **figure II.9**, qui montre d'une manière générale que le point d'éclair du gazole augmente significativement avec le temps, il atteint 114 °C après 7 jours d'altération à 50 °C. La tendance des résultats explique la diminution de la fraction légère au cours de l'altération à cause des pertes par évaporation et adsorption par le sol des molécules de petite taille [19]. Presque la même allure est obtenue pour le point d'éclair du pétrole, mais il semble que l'altération a la plus grande influence sur le point d'éclair du pétrole, puisque il contient une fraction importante de produits légers que celle-ci de gazole. La température et la durée d'altération influence le point d'éclair du pétrole (augmentation) c'est due à l'évaporation des composés plus légers.

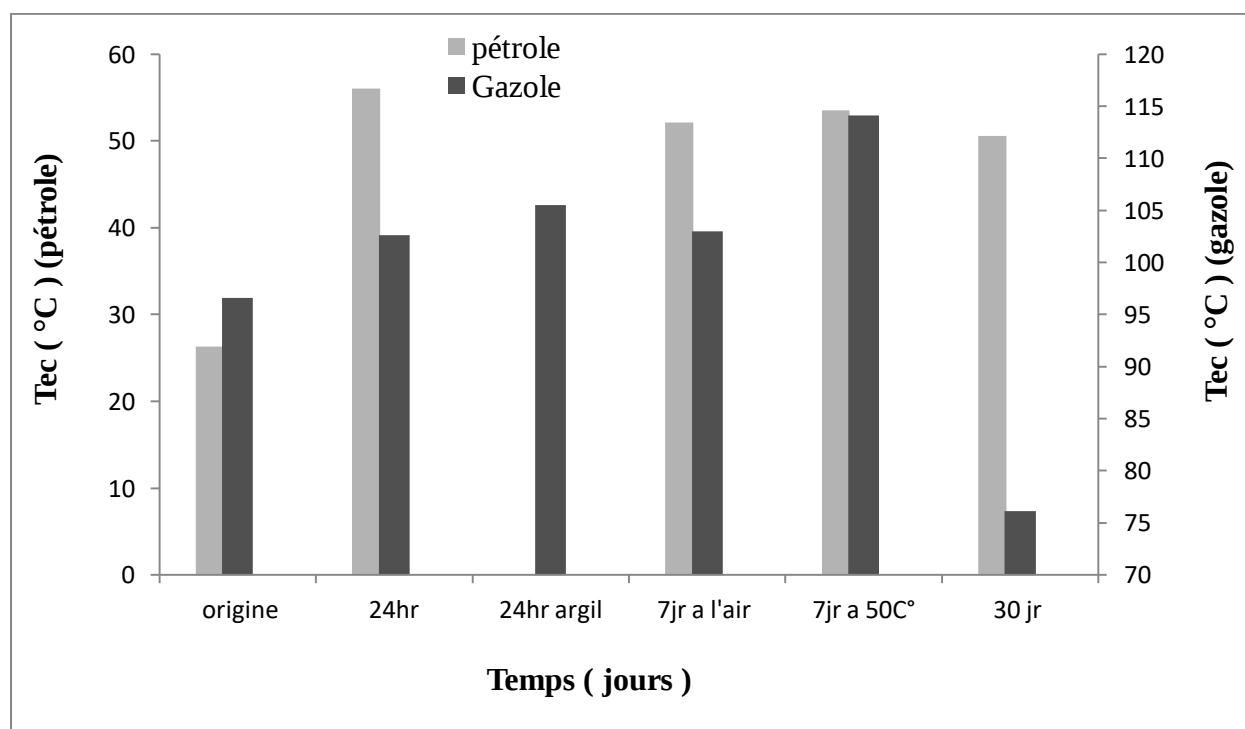


Figure.II.9 : Point d'éclair en fonction du temps d'altération.

II.4.2 Point d'aniline :

La figure. II.9 montre l'évolution de point d'aniline en fonction du temps, le point d'aniline d'une manière générale augmente avec le temps, cette augmentation est due à la diminution de la teneur en aromatiques, cela peut s'expliquer par l'adsorption des aromatiques dans le sol ou son évaporation. [22] Il est important de noter que l'argile présente de bonne capacité d'adsorption des hydrocarbures aromatique. Le temps est donc considéré comme un facteur clé pour accélérer la récupération des hydrocarbures et le lavage des particules du sol.

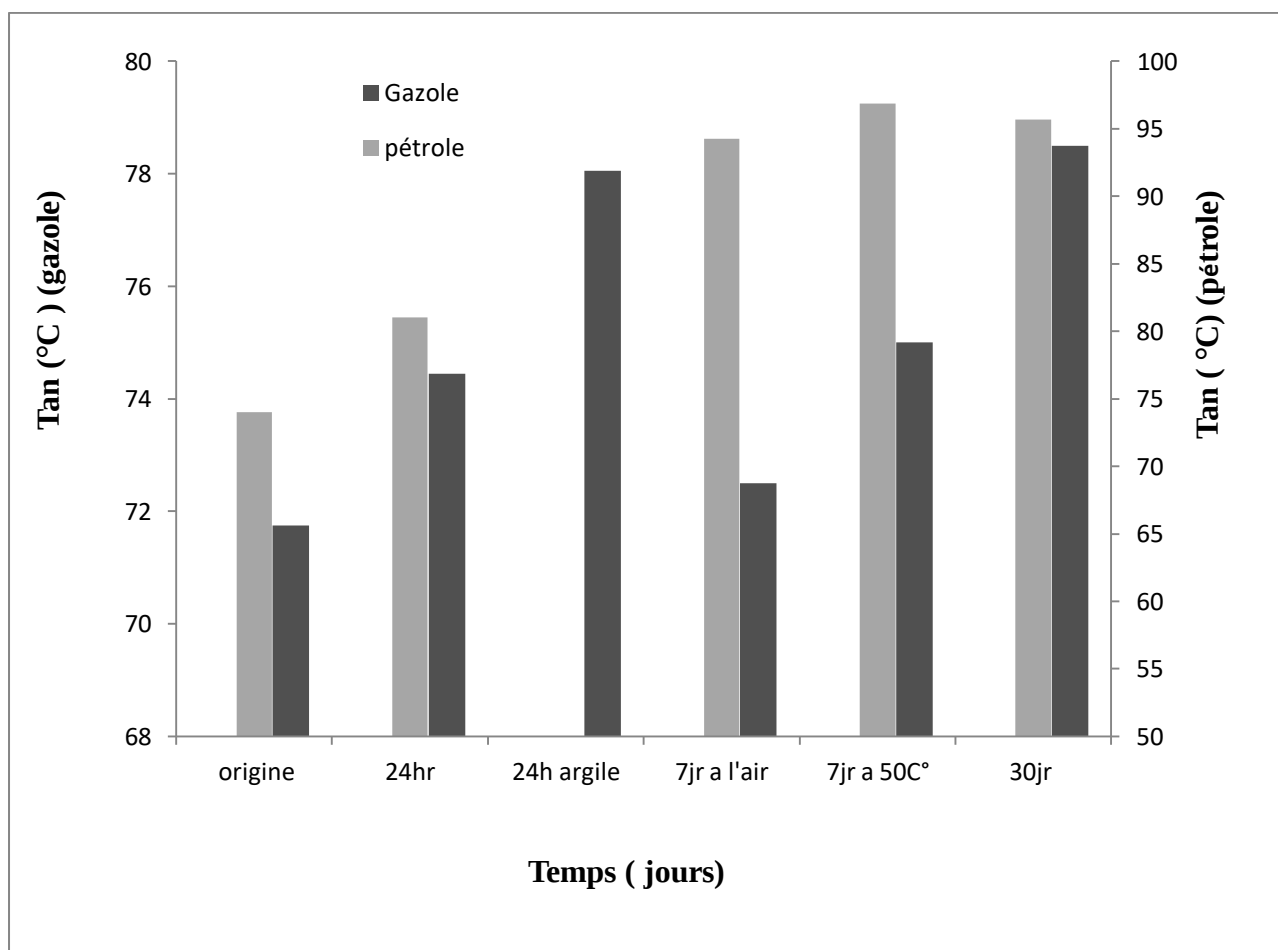


Figure.II.10 : Point d'aniline en fonction du temps d'altération.

II.4.3 Point d'écoulement et trouble :

La **figure. II.10** montre l'évolution du point de trouble et d'écoulement du gazole récupéré en fonction du temps d'altération, le point d'écoulement et le point de trouble diminuent légèrement avec le temps d'altération, reflétant la diminution de teneur en paraffine. Il est important de noter l'augmentation du point de trouble du gazole récupéré à partir de l'échantillon qui a été altéré dans une étuve à 50 °C pendant 7 jours. En effet, l'augmentation de la température favorise la désorption des paraffines par le sol. [19]

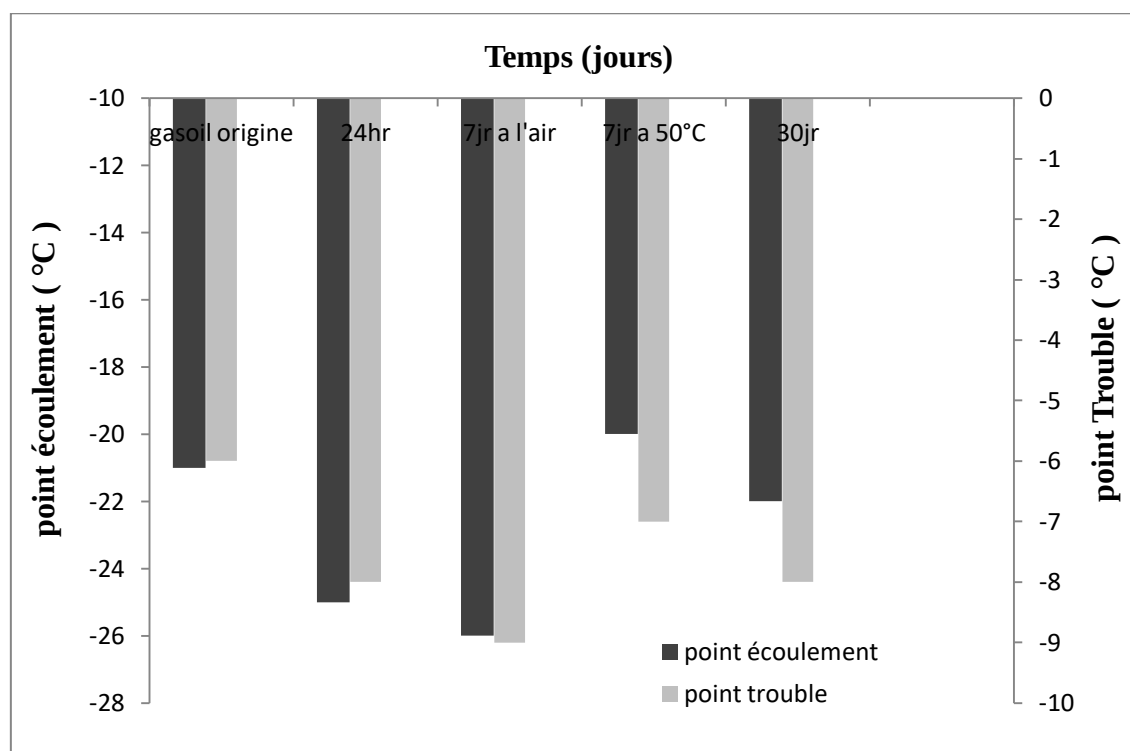


Figure. II.11 : Point d'écoulement et trouble en fonction du temps d'altération.

II.4.4 Distillation ASTM :

La **Figure.II.12** montre les résultats de la distillation ASTM des hydrocarbures récupérés, qui signifie la température (°C) en fonction du volume récupéré (%), l'allure de la courbe de distillation ASTM situe la volatilité des constituants qui se trouvent dans l'hydrocarbure, une exigence de volatilité est souvent traduite par un pourcentage distillé minimum à une température donnée, d'après ces normes, on remarque que toutes les températures sont fortement décalées dans le temps de 10 °C au minimum vers les températures plus élevées pour toutes fractions volumiques du pétrole, tandis que les températures du gazole sont

légèrement décalées dans le temps de 10 °C au maximum vers les températures plus élevées, cette augmentation est expliquée par les pertes de la fraction légère au cours de l'altération par évaporation. Autres échantillons, les températures de distillation ASTM augmentent beaucoup plus sur l'effet de l'altération surtout l'altération dans l'étuve à 50 °C alors on dit que l'hydrocarbure est devenu plus lourd. [21]

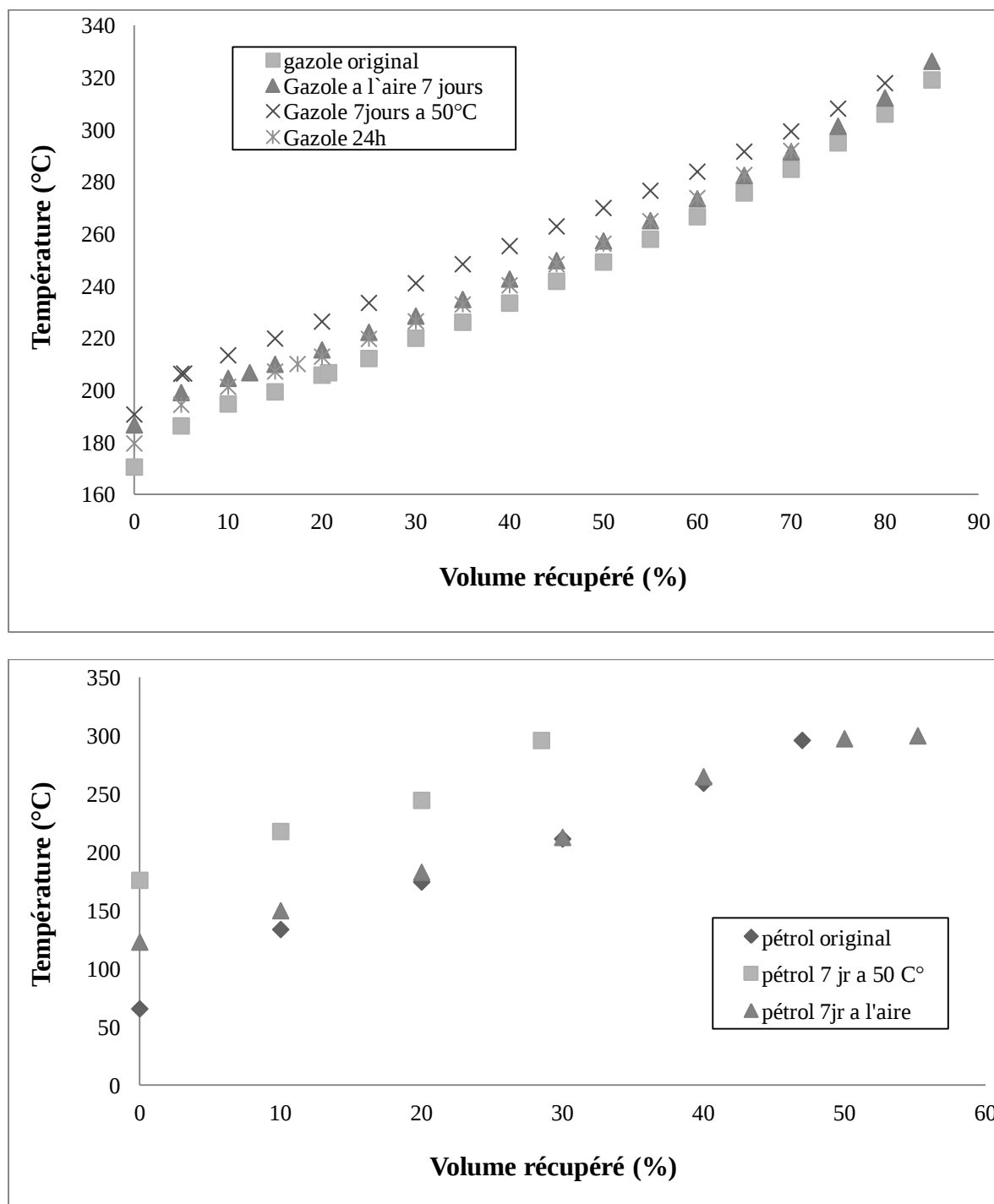


Figure. II.12 : Courbe de distillation ASTM (température en fonction du volume récupéré).

Conclusion

Les hydrocarbures sont récupérés avec succès à partir des particules du sable au moyen de lavage des particules de sable contaminé par les hydrocarbures. Tandis que les particules de l'argile ont été difficiles à nettoyer, et de débarrasser les hydrocarbures avec un rendement maximum de 49 % à 65 °C.

Les résultats expérimentaux montrent clairement que le rendement des hydrocarbures récupérés augmente significativement avec la température et la vitesse d'agitation.

Les conditions expérimentales optimales pour maximiser la récupération sont déterminées: la vitesse d'agitation est 500 tr/min, le meilleur sel qui permet d'obtenir un rendement maximal de 94% est le sel KCl avec un degré de salinité de 0.18 g/l.

L'altération affecte fortement les propriétés des hydrocarbures récupérées tel que : le point d'éclair, le point d'aniline, et le point de trouble.

Plus le procédé de lavage est rapide, plus le rendement des hydrocarbures récupérés est grand, et plus leurs propriétés deviennent plus sont proches de celui d'hydrocarbure original.

Références bibliographiques

- [1]. Bouzid ihab. 2019 : Développement et évaluation d'une méthode à base de mousse pour l'oxydation améliorée de sols insaturés contaminés par des hydrocarbures.
- [2]. Ezeji U, Anyadoh SO, Ibekwe VI (2007) Cleanup of crude oil-contaminated soil. *Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology* 1(2): 54-59.
- [3]. Das N, Chandran P (2011) Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview. *Biotechnol Res Int* 2011:941810.
- [4]. Dos Santos JJ, Maranhão LT (2018) Rhizospheric microorganisms as a solution for the recovery of soils contaminated by petroleum: A review. *J Environ Manage* 210: 104-113.
- [5]. Malti H (2012), Histoire secrète du pétrole algérien, Editions la Découverte, Paris, p.7.
- [6]. Balba MT, Al Awadhi N, Al Daher R (1998) Bioremediation of oil-contaminated soil: microbiological methods for feasibility assessment and field evaluation. *Journal of Microbiological Methods* 32(2): 155-164.
- [7]. Smith MJB (2017) Keystone Pipeline Leaks 210,000 Gallons of Oil in South Dakota, the New York Times. *Soil terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology* 1(2): 54-59.
- [8]. Marinescu M, Toti M, Veronica T, Carabulea V, Georgiana P, et al. (2010) An Assessment of the effects of crude oil production on soil properties. *Annals: Food Science and Technology*, Vol 11.
- [9]. Mounia OULD SAADI et Salah DOUNIT (2014) « lavage des sables contaminés par les hydrocarbures en colonne à lit fluidisé : Approche expérimentale », *Déchets sciences et technique*, N°67, p.4-11.
- [10]. Daroui. C (2019) Mémoire présenté en vue l'obtention du diplôme de master en génie civil. Universités BADJI MOKHTAR- ANABA.
- [11]. KATTAB.R ; ENP 2007. Thèse doctorat, Alger « Valorisation de sable de dune ».
- [12]. Ajmia CHOUCHE 2010 : « Etude expérimentale et théorique de procédés de Valorisation de sous-produits oléicoles par voies thermique et physico-chimique».
- [13]. E. Jack, Clay John Wiley et Sons (1984): *Gillot Engineering geology*.
- [14]. PARFITT R.L. GILTRAP D.J, WHITTON J.S, 1995, contribution of organic matter and clay minerals to the cation exchange capacity of soils. *Commun, soil. Sci. Plant Anal*.
- [15]. Knothe, G K h Gerpen, V, (2005) .*Voyo biodiesel the bod ESE handbook* pp.81-82 AOCs Press, Champaign llinoi USA.
- [16]. Hamidi.M, Laribi M. Mémoire de master 2016 « amélioration de la teneur en précurseurs d'aromatique de la NAPHTA B au niveau du splitter de l'unité Topping de la raffinerie de skikda RA1/K , Resultat ASTM Products, A.C.D.o.P. and Lubricants, Standard

Références bibliographiques

Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure: ASTM International.

[17]. RSKenvironmentltd, BHT consultbeleghouini& Cie 2010. Etude d'évaluation dans le but de bonification du site contaminé de ROM Wilaya de Ouargla Algérie.150941-R01, Ouargla: Groupement Sonatrach-Agip, 148p.

[18]. Centre d'expertise en analyse environnementale de Québec Septembre 2015 , HYDROCARBURES PÉTROLIERS : CARACTÉRISTIQUES, DEVENIR ET CRIMINALISTIQUE ENVIRONNEMENTALE.

[19]. R. GOURDON (1997) : Etude de l'adsorption-désorption de polluants organiques dans les sols Approche méthodologique et application au pentachlorophénol et aux hydrocarbures aromatiques polycycliques.

[20]. Hnia.R 2021 : étude de quelques paramètres visant l'optimisation des conditions de lavage des sables contaminés par le pétrole brut.

[21]. Walter Spieksma 1998 : Prediction of ASTM Method D86 Distillation of Gasolines and Naphthas according to the Fugacity-Filmmodel from Gas Chromatographic Detailed Hydrocarbon Analysis.

[22].Y. BENTAHAR, le 28 octobre 2016 « Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse », UNIVERSITE DE NICE-SOPHIA ANTIPOLIS - UFR sciences.

[23]. Niaz salih.M 19 avril 2012 « Aniline point for petroleum products » university of sulaimani.

Résumé

عنوان المذكرة: دراسة تجريبية لغسل التربة الملوثة بالهيدروكربونات وتأثيرها على خواص الهيدروكربونات المستعادة

المؤطر: الاستاذة براهيمى جميلة

الاسم: محمد لمين

اللقب: قويدري

الاسم: حسام الدين

اللقب: دريدي

الملخص: تم التعرف على التربة الملوثة بالهيدروكربونات على نطاق واسع على أنها مشكلة بيئية رئيسية بسبب آثارها القاتلة المحتملة على صحة الإنسان وسلامة البيئة. الهدف الأساسي من هذا البحث هو استخراج الملوثات من التربة ، لذلك من الضروري اختيار أفضل الظروف لغسل التربة الملوثة بالهيدروكربونات (بترو ، ديزل) بدرجة تلوث تصل إلى 22% ، عن طريق الغسيل بالماء المملح. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن الشروط الموضوعية لغسل التربة ممتازة ، حيث تراوحت نسبة الاسترداد بين 80% و 93%. من بين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للهيدروكربونات المستعادة التي تم فحصها: . سمح لنا تحليل هذه الخصائص بمقارنة الهيدروكربون الأصلي مع ASTM نقطة الانسكاب ، نقطة الوميض ، نقطة الضباب ، نقطة الأنيلين وتقطير الهيدروكربون المستعاد.

الكلمات الدالة: غسل، تربة، هيدروكربونات، الملوثات، بترول، ديزل.

Titre du mémoire: Etude expérimentale du lavage des sols contaminés par les hydrocarbures et son effet sur les propriétés des hydrocarbures récupérés.

Nom: Kouidri **Prénom:** Mohammed Lamine

Encadreur: Professeur Brahimi Djamila

Nom: Dridi **Prénom:** Housseem Eddine

Résumé: Le sol contaminé par les hydrocarbures a été largement reconnu comme constituant d'un problème environnemental majeur en raison de ses effets fatals sur la santé humaine et la sécurité écologique. L'objectif principal de cette recherche est extraire le polluant depuis le sol pour cela il faut choisir les meilleures conditions de lavage de sols contaminés par les hydrocarbures (pétrole, gazole) avec un degré de contamination 22%, au moyen de lavage avec eau salée. Les résultats obtenus montrent que la méthode pratique du lavage de sol est excellente, le pourcentage de rendement récupéré est de l'ordre 80% à 93%. Parmi les propriétés physiques et chimiques des hydrocarbures récupérés examiné sont: point d'écoulement, point de trouble, point d'éclair, point d'aniline et la distillation ASTM. Une analyse de ces caractéristiques nous a permis de comparer entre hydrocarbure original et hydrocarbure récupéré.

Mots clés : contaminé, sol, hydrocarbures, pétrole, gazole, rendement.

Memory title: Experimental study of the washing of soils contaminated by hydrocarbons and its effect on the properties of recovered hydrocarbons.

Family name: Kouidri **First name:** Mohammed Lamine

Directed by: Professor Brahimi Djamila

Family name: Dridi **First name:** Housseem Eddine

Abstract: Hydrocarbon contaminated soil has been widely recognized as a major environmental problem due to its fatal effects on human health and ecological safety. The main objective of this research is to extract the pollutant from the soil, for this it is necessary to choose the best conditions for washing soils contaminated by hydrocarbons (petroleum, diesel) with a degree of contamination of 22%, by means of washing with salt water. The results obtained show that the practical method of soil washing is excellent, the percentage of hydrocarbon recovered is around 80% to 93%. Among the physical and chemical properties of the recovered hydrocarbons examined are: pour point, cloud point, flash point, and aniline point and distillation ASTM. An analysis of these characteristics allowed us to compare between original hydrocarbon and recovered hydrocarbon.

Key words: Contaminated, extract, soil, hydrocarbon, petroleum, diesel.