

N° d'ordre :

N° de série :



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
جامعة الشهيد حمدة لخضر الوادي
Université Echahid Hamma Lakhdar - El OUED
كلية علوم الطبيعة والحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم البيولوجيا
Département de biologie

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences

Biologiques

Spécialité : BIODIVERSITE et ENVIRONNEMENT

THEME

Etude de l'effet du forage pétrolier sur les propriétés physicochimiques du sol dans la région de Haoud El-Hamra (Hassi Messaoud - Ouargla)

Présenté Par :

NESRI Afif El Islam

KOUIDRI Nessorine

Devant le jury composé de :

Président : BEN ALI Abed Elhay M.A.A Université Echahid Hamma Lakhdar- El 'Oued

Examinatrice : M^{me} BOUSBIA BRAHIM Aida M.A.A Université Echahid Hamma Lakhdar- El 'Oued

Encadreur : M^{lle} GUEMMOUDA Messaouda M.C.B Université Echahid Hamma Lakhdar- El 'Oued

Année universitaire : 2018/2019

Remerciement

*Merci à **Dieu** de nous a donné le courage et la force de finir ce travail*

*Nous voulons de manière particulière exprimer ma profonde gratitude à Madame **GUEMMOUDA MESSAOUDA**, maitre de conférence à l'université de **HAMMA LAKHDAR El Oued**, notre promotrice, tout d'abord pour avoir cru en nous. Nous lui restons reconnaissant pour avoir accepté de diriger avec dévouement notre travail, Ses conseils et sa rigueur scientifique ont été d'un apport inestimable pour la réalisation de ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance.*

Toute notre profonde gratitude aux membres du jury :

*Monsieur **BEN ALI ABED ELHAY**, pour l'honneur qu'il nous 'a fait en acceptant de présider le jury.*

*Madame **BOUSBIA BRAHIM AIDA**, pour avoir bien voulu examiner ce travail. Sa contribution nous sera très bénéfique.*

*Un grand merci à tous les membres de laboratoire de la société Sonatrach/Division Centre de Recherche et Développement (**CRD**) Hassi Messaoud*

*Nous remercions également tous les membres de laboratoire de pédologie, département d'agronomie université **MOHAMED KHIDER BISKRA**. Pour leurs aides.*

Finalement nous tenons à remercier très sincèrement toutes les personnes ressources ayant contribué de manière directe ou indirecte à la réalisation de ce travail.

Dédicace

« Louange au Bon Dieu, le seul, l'unique et le tout puissant »

A mon très cher père, KOUIDRI Kouider

A ma très chère mère, MOHAMMADI Fatima

A mes oncles, KOUIDRI Abdelaziz

A mes frères, Hamza, Bakar, Bilal, Abd el Kader

A mes sœurs, Amal, Wafa, Cherifa, Chahed

*Mes deux grands-pères et ma grand-mère, Ali (Rahimah ALLAH) et
Hada*

Toute la famille KOUIDRI et MOHAMMADI

A mes proches grands et petits

Tous mes chers amis, Halima, Ikram, Radia

*A tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de ce
travail.*

Dédicace

« Louange au Bon Dieu, le seul, l'unique et le tout puissant »

A mon très cher père, NESRI Ibrahim

A ma très chère mère, TINIOU Sabrina

A mes frères

A mes sœurs

Mes deux grands-pères et ma grand-mère

Toute la famille NESRI

A mes proches grands et petits

Tous mes amis

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Résumé :

La pollution des sols est l'un des problèmes environnementaux les plus graves dans le monde, causée par l'activité humaine ou naturelle, les plus importantes sont les activités industrielles, et notamment l'activité pétrolière et leurs effets sur l'homme et l'environnement en général. Notre étude réalisée pour identifier les effets des forages pétroliers sur les propriétés physiques et chimiques du sol dans le bassin de Haoud El-Hamra (Hassi Messaoud). Dans cette étude, nous avons effectué une analyse des propriétés physiques et chimiques du sol (granulométrie, pH, conductivité électrique, humidité résiduelle, teneur en ETM, teneur en huile, matière organique, taux de calcaire), dans deux échantillons de sols (contaminé et témoin), une station contaminée, caractérisée par la présence des activités de forage pétrolier, et autre considérée comme une référence qui est éloignée de toute source de la pollution. Nos résultats révèlent une élévation des paramètres suivants : pH, conductivité électrique, humidité résiduelle, teneurs en ETM, taux de calcaire, matière organique, teneurs d'huile, dans le sol contaminé en comparant avec le sol témoin. Les changements des paramètres physicochimiques peuvent être entraînés des effets/déséquilibres sur la faune et flore du sol en disparaissant certaines espèces vivantes et en conséquence diminution de la biodiversité dans la région contaminée, ainsi qu'une modification de la qualité des eaux souterraines.

Mots clés : forage pétrolier, pollution, contamination, paramètres physicochimiques du sol, sol.

ملخص:

يعد تلوث التربة أحد أخطر المشكلات البيئية في العالم، والتي يسببها النشاط البشري أو الطبيعي، وأهمها الأنشطة الصناعية، بما في ذلك النشاط النفطي وتأثيراته على الإنسان والبيئة، والبيئة بشكل عام. أجريت دراستنا لتحديد آثار الحفر البترولي على الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة في حوض الحمراء (حاسي مسعود). في هذه الدراسة، أجرينا تحليلاً للخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة (درجة الحموضة، النخل الحبيبي، الموصلية الكهربائية، الرطوبة المتبقية، محتويات المعادن الثقيلة، محتويات الزيت، المواد العضوية، الحجر الجيري) ، في عينتين من التربة (ملوثة والشاهد) ، محطة ملوثة، تتميز بوجود أنشطة التنقيب عن النفط (حفر البترولي)، وغينة الأخرى تعتبر مرجعاً بعيداً عن أي مصدر للتلوث. تكشف نتائجنا عن ارتفاع في المعايير التالية: (درجة الحموضة، الموصلية الكهربائية، الرطوبة المتبقية، محتويات المعادن الثقيلة، الحجر الجيري، المادة العضوية، محتويات الزيت)، في التربة الملوثة من خلال المقارنة مع تربة الشاهد. قد تؤدي التغيرات في المعايير الفيزيائية والكيميائية إلى آثار واختلالات تؤثر على الحيوانات والنباتات في التربة من خلال اختفاء بعض الأنواع الحية وبالتالي انخفاض التنوع البيولوجي في المنطقة الملوثة، وكذلك حدوث تغيير في نوعية المياه الجوفية.

الكلمات المفتاحية: التنقيب عن النفط، التلوث، العوامل الفيزيائية والكيميائية للتربة، التربة.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicace

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figure

Introduction

PREMIERE PARTIE : PARTIE TEORIQUE

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LES FORAGES PETROLIERS

I. Définition	5
II. Fluides de forage	5
II.1. Définition.....	5
II.2. Types de fluide de forage.....	5
II.2.1. Fluides à base d'eau	6
II.2.2. Fluides à base d'huile	7
II.2.3. Fluides de forage gazeux	7
II.3. Composition des fluides de forage	8
II.4. Rôle des fluides de forage.....	8
III. Effets sur l'environnement.....	10

CHAPITRE 2 : PROPRIETES PHYSICOCHIMIQUE DU SOL

I. Généralité et structure du sol	17
I.1. Définition du sol	17
I.2. Phases du sol.....	17
I.2.1. Phase liquide du sol.....	17
I.2.2. Phase gazeuse du sol	18
I.2.3. Phase solide du sol.....	18
I.2.4. Fractions constitutives du sol	19

I.2.5. Différents horizons d'un sol	20
II. Propriétés physicochimiques du sol.....	22
II.1. Propriétés physiques du sol.....	22
II.1.1. Structure.....	22
II.1.2. Texture.....	22
II.1.3. Porosité.....	23
II.1.4. Connectivité.....	23
II.2. Propriétés chimiques du sol.....	23
II.2. 1. Ions.....	23
II.2.2. Complexe argilo-humique.....	23
II.2. 3. Capacité d'échange cationique.....	24
II.2. 4. Taux de saturation en cations basiques.....	24
II.2. 5. pH.....	24
III. Pollution du sol.....	24
III.1. Définition de la pollution.....	24
III.2. Pollution du sol.....	25
III.3. Types de pollutions.....	25
III.3.1 Pollution organique.....	25
III.3.2. Pollution minérale.....	26

CHAPITRE 3 : PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

I. Caractéristique général de la région d'étude.....	28
I.1. Historique sur les gisements pétroliers à Hassi Messaoud	28
I.2. Cadre administratif.....	28
I.3. Situation géographique.....	29
I.4. Géomorphologie.....	30

I.5. Hydrographie.....	30
I.6. La faune et la flore.....	30
I.7. Climatologie de la région de Hassi Messaoud	31
I.7.1. Température.....	31
I.7.2. L'humidité.....	31
I.7.3- L'évaporation.....	32
I.7.4. Les précipitations.....	32
I.7.5. Le vent.....	33

PREMIERE PARTIE : PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE 4 : MATERIELS ET METHODS

I. Présentation des sites et prélèvement des échantillons.....	36
II. Préparation des échantillons.....	36
III. Caractérisations physico-chimiques des sols.....	37
III.1. Granulométrie.....	37
III.1.1 Méthode de dosage.....	37
III.1.2 Calcul et expression des résultats.....	37
III.2 Détermination de l'humidité résiduelle.....	37
III.3 Détermination du pH.....	38
III.4 Détermination de la conductivité électrique.....	39
III.5 Matière organique.....	40
III.6 Détermination du taux de calcaire.....	41
III.7 Détermination de la quantité de bleu de méthylène	41
III.7.1 Principe.....	42

III.7.2. Mode opératoire.....	43
III.8. Dosage des métaux lourds.....	44
III.8.1. Extraction des métaux lourds.....	44
III.8.2. Dosage des métaux dans le sol.....	45
III.8.3. Gammes d'étalonnage.....	45
III.9. Dosage des huiles dans le sol.....	46
IV. Traitement statistique.....	47

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. Caractérisation physicochimique du sol.....	49
I.1 Texture (composition granulométrique)	49
I.2. Valeur de bleu de méthylène (VBS).....	50
II. Paramètres physicochimique.....	50
II.1. Potentiel d'hydrogène pH.....	50
II.2. Conductivité électrique.....	51
II.3. Humidité résiduelle.....	52
II.4. Matière organique.....	53
II.5. Taux de calcaire.....	54
II.6. Teneur en métaux lourds	55
II.7. Teneurs des huiles totales dans le sol.....	57
CONCLUSION.....	60

RESUME

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LISTE DES ABREVIATIONS

MO : Matière Organique

θ_t : Porosité Total

PH : Potentiel Hydrogène

H : taux d'Humidité

Vs : Volume Solide

Va : Volume Apparent

VBS : La valeur de bleu de méthylène

SAA : Spectroscopie D'adsorption Atomique

CAH : Le complexe argilo-humique

CEC : La capacité d'échange cationique

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

HDP : Hydrocarbures, Diphényles Poly-Chlorés

BETX: Benzène/Ethyle-benzène/Toluène/Xylène

HMD: Hassi Messaoud

API: American Petroleum Institute

WBM: Water-Based Muds.

CMC : carboxyméthylcelluloses

PAC : polyanioniques

PHPA : polyacrylamide partiellement hydrolysé

PAG : polyalkylène glycols

HC : hydrocarbures

MO : matière organique

DDT : dichloro-diphényle-trichloro

PCB : polychlorobiphényles.

HMD : Hassi Messaoud

Liste Des Tableaux

Tableau 01 : Principaux additifs utilisés dans les fluides de forage.....	8
Tableau 02 : Représentation des données climatiques (2008- 2018).....	32
Tableau 03 : La gamme de pH des sols selon.....	39
Tableau 04 : Echelle de salinité du sol	39
Tableau 05: Classification des sols d’après leur teneur en matière organique.....	40
Tableau 06 : Classification des sols d’après leurs teneurs en calcaire	41
Tableau 07 : Valeurs du bleu de méthylène associé à chaque type de sol.....	42
Tableau 08 : Dosage du Pb, réalisation de la gamme d’étalonnage.....	46
Tableau 09: Dosage du Cd, réalisation de la gamme d’étalonnage.....	46

Liste des figures

Figure 01. Les types des fluides de forage (IPEHU,2005).....	6
Figure 02. Bourbiers avant l'opération de forage (A. Hadj Abbas, 2011).....	11
Figure 03. Bourbiers après l'opération de forage (A. Hadj Abbas, 2011).....	11
Figure 04. Transfert des polluants du sol dans l'environnement (A. Hadj Abbas, 2011)...	12
Figure 05. Pollution par infiltration de fluide de forage. (SSRHMD).....	13
Figure 06. Pollution des sables de la région de Hassi-Messaoud dû à cause des bourbiers (MI SWAKO, 2011).....	14
Figure 07. Pollution des sables de la région de Hassi-Messaoud dû à cause des bourbiers (MI SWAKO, 2011).....	14
Figure 08. Situation géographique de la région d'étude (Google, 2019).....	29
Figure 09. Présentation des sites de prélèvement (Google Earth,2018).....	36
Figure 10. Essai au Bleu de Méthylène.....	43
Figure 11. Retort ofite.....	46
Figure 12: Répartition des fractions granulométriques (en %) dans les sols étudiés.....	49
Figure 13. Valeur de VBS dans les sols étudiés.....	50
Figure 14. pH des sols étudiés.....	51
Figure 15. Conductivité électrique des deux échantillons.....	52
Figure 16. Teneur en humidité résiduelle des deux échantillons.....	53
Figure 17: la matière organique des deux échantillons.....	54
Figure 18. Taux de calcaire des sols étudiés.....	55
Figure 19. Teneur en ETM des sols étudiés.....	57
Figure 20: Teneur des huiles totaux.....	58

INTRODUCTION

Introduction générale

Le développement de l'industrie pétrolière a créé de nombreux problèmes environnementaux qui contribuent à la dégradation de certains écosystèmes naturels, de certaines couches de sol et de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques. Les lois environnementales exigent un traitement adéquat de ces déchets industriels afin d'éviter toute dégradation potentielle. L'industrie pétrolière dans la région de Hassi Messaoud est très sophistiquée et produit des déchets industriels contenant des éléments nocifs. Au cours du forage et de l'exploitation des unités de production et de raffinage, une grande quantité de rejets industriels solides et liquides endommageant les caractéristiques naturelles du sol. Ces rejets contiennent des produits toxiques tels que des métaux lourds et des polluants organiques, qui posent les problèmes récents qui menacent les êtres humains, les animaux et les plantes (**Belhabib et al, 2013**).

Plusieurs problèmes interviennent lors du forage, on peut citer :

Les pertes de fluides, l'instabilité sous diverses conditions de température et de pression, gonflement des argiles, l'instabilité contre la contamination des fluides par divers contaminants (l'eau salée, le sulfate de calcium, etc....) (**Benseghier, 2009**).

Dans le cadre d'étude de la pollution de l'environnement par les hydrocarbures et les fluides de forage pétrolier, plusieurs études ont été réalisées, (**Loukil 2016**) fait une étude sur l'énergie et le développement durable face à l'environnement cas de Hassi-Messaoud, d'autre étude sur l'état de l'environnement de la région d'Ouargla en déterminant les différents types de pollution et leurs impacts (**Kaddouri & Laib, 2016**).

(**Belhabib et al 2013**), faire une recherche pour but d'évaluer l'impact des fluides de forage à base d'huile sur l'environnement, et de trouver des solutions pour réduire ou arrêter les effets des éléments toxiques (les métaux lourds et les polluants organiques) sur l'environnement.

Ce travail a été réalisé pour but d'évaluer l'influence des forages pétroliers sur quelques paramètres physico- chimiques du sol dans la région de Haoud el Hamra (Hassi Messaoud). Pour atteindre à notre objectif, nous avons choisis plusieurs caractéristiques physico-chimiques du sol qui sont importantes pour expliquer et prévoir les interactions/effets polluants-sol et sol-polluants.

Notre travail est subdivisé en deux parties à savoir :

Une partie bibliographique renferme trois chapitres ; le premier chapitre : sera consacré à la présentation d'une revue bibliographique sur les forages et les fluides des forages et leurs effets sur l'environnement et le sol.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des propriétés physico-chimiques du sol, avec des généralités sur la pollution du sol. Les caractéristiques géo-climatologiques de la région de Hassi Messaoud ont été présenté dans le troisième chapitre

Une partie pratique renferme deux chapitres ; Dans le premier nous présentons l'ensemble des protocoles expérimentaux, l'ensemble de nos résultats et leurs Interprétations, sont présenté dans le deuxième chapitre ; et on termine par une conclusion générale.

PARTIE

THEORIQUE

CHAPITRE 1

1. Définition de forage pétrolier

On appelle "forage pétrolier" l'ensemble des opérations permettant de forer les roches poreuses et perméables du sous-sol, susceptibles de contenir des hydrocarbures liquides ou gazeux.

L'implantation d'un forage est des études géologique et géophysiques effectuées sur un bassin sédimentaire, ceci nous permet de nous faire une idée de la constitution de sous-sol et des possibilités de gisements, sans pour autant préciser la présence d'hydrocarbures. L'opération de forage peut alors confirmer les hypothèses faites et mettre en évidence la nature des fluides contenus dans les roches (Askri, 2003).

II. Fluides de forage

II.1. Définition

Le fluide de forage, appelé aussi boue de forage, est un système composé de différents constituants liquides (eau, huile) et/ou gazeux (air ou gaz naturel) contenant en suspension d'autres additifs minéraux et organiques (argiles, polymères, tensioactifs, déblais, ciments).

Le fluide de forage était déjà présenté en 1933 lors du premier congrès mondial du Pétrole, où il a fait l'objet de cinq communications (Belhabib, 2013).

Le premier traité sur les fluides de forage a été publié en 1936 par Evans Et Reid. En 1979, l'American Petroleum Institute (API) définit le fluide de forage comme un fluide en circulation continue durant toute la durée du forage, aussi bien dans le sondage qu'en surface. Le fluide est préparé dans des bacs à boues, il est injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil d'où il remonte dans l'annulaire, chargé des déblais formés au front de taille. A la sortie du puits, il subit différents traitements, tamisage, dilution, ajout de produits, de façon à éliminer les déblais transportés et à réajuster ses caractéristiques physicochimiques à leurs valeurs initiales. (Khodja, 2008)

II.2. Types de fluide de forage

Les fluides de forage se subdivisent en (Figure 01) :

- Boue de forage à base d'huile.
- Boue de forage à base d'eau.
- Boue de forage à gazeux

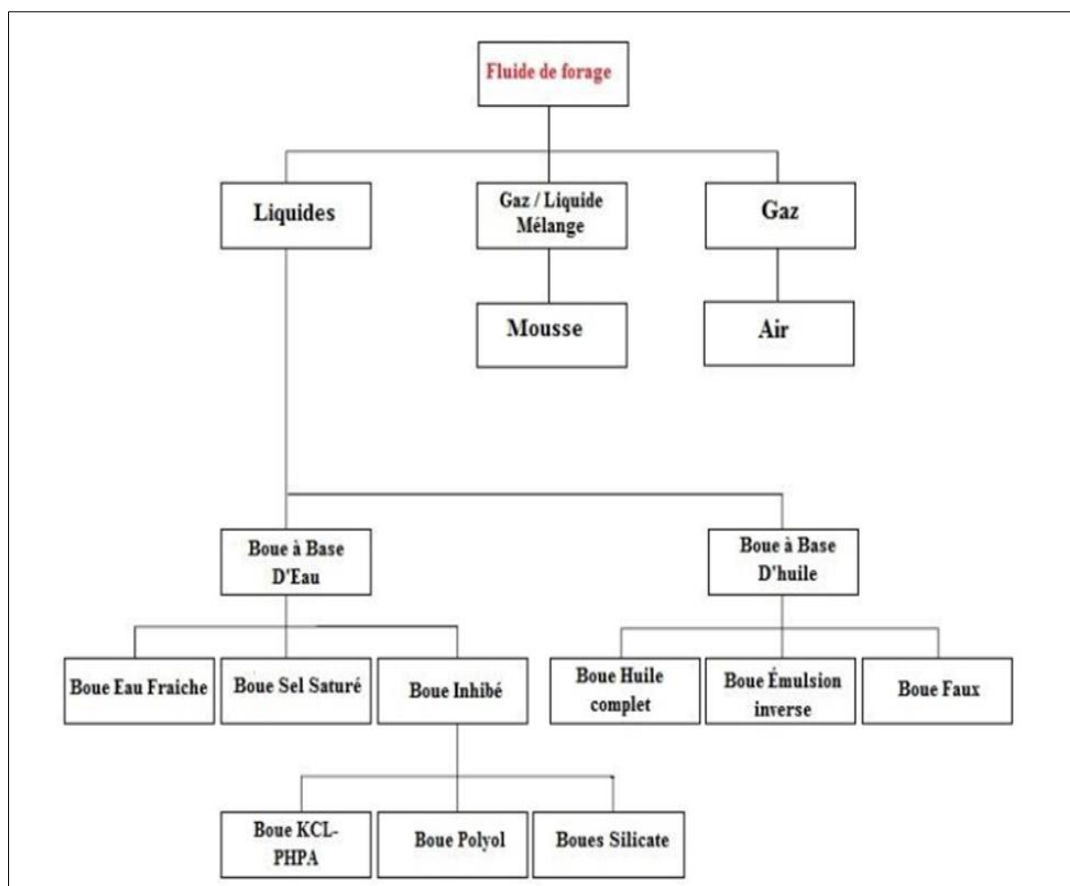


Figure 01. Les types des fluides de forage. (IPEHU,2005)

II.2.1. Fluides à base d'eau

Ces fluides sont souvent désignés par "Water-Based Muds" ou **WBM**. Ils sont dans la plupart des cas constitués par des suspensions de bentonites dans l'eau (30 à 60 g/L) dont les caractéristiques rhéologiques et de filtration sont souvent ajustées par des polymères. La nature des électrolytes et leur concentration dans les formulations de boues à l'eau sont choisies en prenant en compte les caractéristiques de la formation (activité de l'eau des formations argileuses, dissolution des formations salines).

Parmi les additifs on peut trouver) des viscosifiants: argiles naturelles (souvent des bentonites), polymères synthétiques ou biopolymères) des réducteurs de filtrat servant à consolider le cake de filtration pour limiter l'invasion par le fluide: amidons, carboxyméthylcelluloses ou CMC, celluloses polyanioniques (PAC), ou résines) des inhibiteurs de gonflement et de dispersion des argiles: KCl, glycérol, silicates ou divers polymères comme le polyacrylamide partiellement hydrolysé (PHPA), les polyalkylèneglycols (PAG) des agents alourdissants comme la barytine ("barite" ou sulfate de baryum BaSO₄) et la calcite (carbonate de calcium CaCO₃) qui sont les plus utilisés

pour assurer à la boue une densité convenable. On note aussi l'utilisation de l'hématite (Fe_2O_3) ou de la galène (PbS). La calcite est souvent recommandée pour le forage de la phase réservoir à cause de sa solubilité dans l'acide et de son utilisation selon une granulométrie variable pour réduire les problèmes de pertes et d'endommagement; et enfin v) des colmatants, additifs plutôt exotiques comme des granuleux (coquilles de noix), des fibreux (fibres de bois, canne à sucre), et des lamellaires (coquilles d'huîtres, céréales) (**Herzhaft, 2001, Peysson, 2004**).

II.2.2. Fluides à base d'huile

Les fluides à base d'huile sont des fluides dont la phase continue est une huile minérale (pétrole brut, fuel, gazole, ...) et la phase dispersée est de l'eau. Par définition les fluides de forage à base d'huile contenant plus de 5% d'eau sont appelés boues de forage en émulsion inverse ; avec moins de 5% d'eau, on a les boues à l'huile (**IDF, 1988**).

Ces fluides sont souvent désignés par "Oil-Based Muds" ou OBM. La phase continue la plus utilisée jusqu'à ces dernières années était le gazole, mais actuellement la législation relative à la protection de l'environnement impose l'utilisation d'huiles minérales ou "synthétiques", ne contenant plus de composés aromatiques. Des agents émulsifiants et mouillants sont utilisés pour favoriser la stabilité de l'émulsion. (**Khodja, 2008**).

II.2.3. Fluides de forage gazeux

Ce sont des fluides dont la phase continue est du gaz mélangé avec de l'eau en proportions variables provenant de la formation traversée (inévitablement) ou ajoutée avec prudence. le gaz peut être de l'air ou du gaz naturel, et peut appartenir à une mousse ou à un brouillard. Dans les fluides gazeux utilisés, on trouve: forage à l'air, forage à la boue aéré, forage à la mousse (**Khodja, 2008**).

II.3. Composition des fluides de forage

Historiquement, les fluides de forage ont évolué d'un simple mélange d'eau et d'argile appelé "boue " vers des systèmes de plus en plus complexes composés d'eau ou huile avec une multitude d'additifs répondant aux caractéristiques requises et aux problèmes rencontrés. Les fluides de forage sont des fluides complexes classés en fonction de la nature de leurs constituants de base.

Les boues doivent par exemple être très visqueuses pour assurer la remontée des déblais, mais la viscosité ne doit pas être trop élevée afin de limiter les pertes de charge dues à l'écoulement et afin d'éviter la fracturation de la formation. De nombreux composants multifonctions sont donc ajoutés à la boue pour lui conférer les propriétés désirées (**Daddou, 2005**).

Il est possible de classer grossièrement ces composants en 20 catégories

(**Economides et al., 1988**) (**Tableau 01**).

Tableau 01 : Principaux additifs utilisés dans les fluides de forage

01	Contrôleurs d'alcalinité	11	Lubrifiants
02	Bactéricides	12	Décoinçants (ou dégrippants)
03	Anti-calcium	13	Inhibiteurs de gonflement des argiles
04	Inhibiteurs de corrosion	14	Produits facilitant la séparation
05	Anti-mousses	15	Stabilisants haute température
06	Agents moussants	16	Défloculants
07	Emulsifiants	17	Viscosifiants
08	Réducteurs de filtrat	18	Alourdissants
09	Floculants	19	Saumure
10	Colmatants	20	Huile minérale ou organique

II.4. Rôle des fluides de forage

Les boues de forage doivent avoir des propriétés leur permettant d'optimiser les fonctions suivant :

- **Nettoyage du puits:** La boue doit débarrasser le puits des particules de formation forées qui se présentent sous forme de débris de roche appelés « déblais ». (**Hadj Abbas, 2011**)
- **Maintien des déblais en suspension:** Le fluide de forage doit non seulement débarrasser le puits des déblais de forage durant les périodes de circulation, mais il

doit également les maintenir en suspension pendant les arrêts de circulation. (ENSPM, 1994).

- **Sédimentation des déblais fins en surface:** Alors que la boue doit permettre le maintien en suspension des déblais dans le puits durant les arrêts de circulation, ce même fluide doit laisser sédimenter les déblais fins en surface, afin de les éliminer. Bien qu'apparemment ces deux aptitudes semblent contradictoires, elles ne sont pas incompatibles.
(Hadj Abbas, 2011)
- **Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde:** Du fait de son passage en surface, la boue en circulation se trouve à une température inférieure à celle des formations ce qui lui permet de réduire efficacement l'échauffement de la garniture de forage et de l'outil. Cet échauffement est dû à la transformation d'une partie de l'énergie mécanique en énergie calorifique. (Slimani, 2003).
- **Dépôt d'un cake imperméable :** La filtration dans les formations perméables d'une partie de la phase liquide de la boue crée un film sur les parois du sondage, ce film est appelé cake. Le dépôt du cake permet de consolider et de réduire la perméabilité des parois du puits. (ENSPM, 1994).
- **Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile :** Afin d'éviter le débit dans le puits des fluides contenus dans les réservoirs rencontrés en cours de forage, la boue doit exercer une pression hydrostatique suffisante pour équilibrer les pressions de gisement. La pression hydrostatique souhaitée est maintenue en ajustant la densité entre des valeurs maximum et minimum
- **Augmentation de la vitesse d'avancement:** Au même titre que le poids sur l'outil, la vitesse de rotation et le débit du fluide, le choix de type et les caractéristiques de la boue conditionnent les vitesses d'avancement instantanées, la durée de vie des outils, le temps de manœuvre, en un mot, les performances du forage. Un filtrat élevé augmente la vitesse d'avancement. Les très faibles viscosités sont aussi un facteur favorable à la pénétration des outils (Hadj Abbas, 2011)
- **Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits:** La boue doit posséder des caractéristiques physiques et chimiques telles, que le trou conserve un diamètre voisin du diamètre nominal de l'outil. Le cavage est causé par des

Éboulements, par la dissolution du sel, par la dispersion des argiles, par une érosion due à la circulation de la boue au droit des formations fragiles, les resserrements ont souvent pour cause une insuffisance de la pression hydrostatique de la colonne de boue qui ne peut équilibrer la pression des roches. (ENSPM,1994)

- **Entraînement d'outils (turbine, MWD, etc.):** Dans le cas du turboforage la boue entraîne la turbine en rotation. Cette fonction, l'amenant à passer à travers une série d'évents et à mettre en mouvement des aubages, implique certaines caractéristiques et rend impossible ou très délicat l'utilisation de certains produits (colmatant). (Hadj Abbas, 2011)
- **Diminution du poids apparent du matériel de sondage :** Bien que ce soit beaucoup plus une conséquence qu'une fonction, la présence d'un fluide d'une certaine densité dans le puits permet de diminuer le poids apparent du matériel de sondage, garniture de forage et tubages, ceci permet de réduire la puissance exigée au levage. (Behmene ,2016)
- **Apport de renseignements sur le sondage:** La boue permet d'obtenir des renseignements permanents sur l'évolution des formations et fluides rencontrés. (Behmene ,2016)

Ces renseignements sont obtenus :

- ✓ Par les déblais remontés avec la circulation du fluide,
- ✓ L'évolution des caractéristiques physiques et/ou chimiques de la boue,
- ✓ La détection de gaz ou autres fluides mélangés à la boue.

III. Effets sur l'environnement

Dans le domaine de l'exploitation pétrolière, une panoplie des produits chimiques est employée dans la formulation des boues de forage. Ces composés de natures différentes et dont la toxicité et la biodégradabilité sont des paramètres mal définis, sont cependant déversés dans la nature. En plus des hydrocarbures (HC, tels que le gazole) constituant majeur des boues à base d'huile, on note les déversements accidentels du pétrole, ainsi que d'une variété d'autres produits et additifs spéciaux (tensioactifs, polymères, ...) qui peuvent exister sur les sites de forage. Ces rejets sont généralement stockés dans des endroits appelés "bourbier " (Khodja, 2008).

Les deux figures qui suivent nous donnent les images sur les bourbiers avant et après l'opération de forage sur la zone de Hassi-Messaoud :



Figure 02. Bourbiers avant l'opération de forage (**Hadj Abbas, 2011**)



Figure 03. Bourbiers après l'opération de forage. (**Hadj Abbas, 2011**)

Les bourbiers sont essentiellement pollués par les hydrocarbures (gasoil ou pétrole, provenant de la boue à base d'huile) et des métaux lourds (provenant principalement des

additifs de la boue). Les bourbiers risquent de polluer le sol et le sous-sol par les actions suivantes présentés dans la figure qui suit (figure 02, 03).

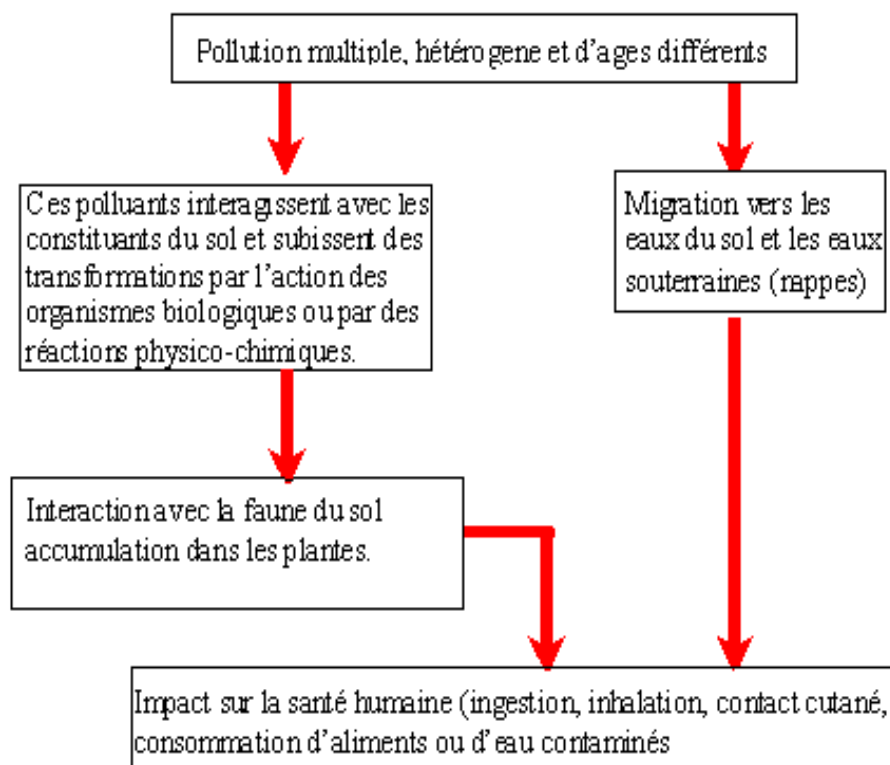


Figure 04 : Transfert des polluants du sol dans l'environnement. (Hadj Abbas, 2011)

Les risques de contaminer le sol et le sous-sol par les actions suivantes :

A. Activité de forage

Parmi les couches géologiques traversées par les fluides de forage, on rencontre les différents aquifères qui risquent une contamination sérieuse par infiltration de ces fluides, cette contamination peut se faire (**figure 02, 03, 04,**)

- A partir de la surface par les rejets et liquides de forage (boue de forage) déversés, dans la plupart des cas, directement sur le sol sans aucune protection, ainsi que les rejets solides et liquides domestiques, déversent dans des fosses non conformes et non protégées.
- En cours de forage, la contamination se traduit par le contact de deux fluides de caractéristiques rhéologiques différentes (mélange d'un fluide de formation traversée et la boue de forage en question).

- Une mauvaise cimentation peut provoquer des pertes du laitier de ciment dans les formations et une venue de fluide de formation.
- Par infiltration des hydrocarbures en développement.
- Le stockage non conforme des produits chimiques utilisés pour les différents fluides peut provoquer une contamination des sols donc des aquifères de surface.



Figure 05 : Pollution par fuite de fluide de forage. (SSRHMD).



Figure 06 : Pollution des sables de la région de Hassi-Messaoud dû à cause des bourbiers. (Miswako, 2011)



Figure 07 : Pollution des sables de la région de Hassi-Messaoud dû à cause des bourbiers. (Miswako, 2011)

B. Opération de production sur puits

Lors des opérations de production (extractions des hydrocarbures, et leur acheminement vers les centres de production), des risques majeurs de pollution et de contamination des aquifères (de surface et autres) peuvent survenir :

- Lors des déversements d'hydrocarbures volontaires en surface (dégorgement des puits ou lors d'opérations de snubbing de work over, etc...)
- Des fuites d'hydrocarbures dues aux détériorations et à la corrosion des tubages et casing ;
- Des résidus de pertes de fracturation, d'acidification, etc. Pendant les opérations spéciales;
- Des rejets de produits de pertes issues de l'opération d'évaluation du réservoir
- Des rejets de produits utilisés pour l'entretien des puits et des installations de production.(FPFP, 2012).

CHAPITRE 2

I. Généralité et structure du sol

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

(Sposito, 1997), 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, tamponner, transformer, immobiliser et détoxifier les substances organiques et inorganiques;
- Fournir un support mécanique aux organismes vivants et à leurs structures (Nortcliff, 2002).

I.1. Définition du sol

Le sol est la couche superficielle meuble de la lithosphère terrestre, présentant une épaisseur variable de quelques centimètres à plusieurs mètres. Il est constitué par un mélange de matériaux minéraux et organiques, qui sert de support et milieu naturel pour la croissance des plantes (Glossary, 1965; Legros, 2007).

Qui est dénommée couverture pédologique, est la résultante au cours du temps de plusieurs facteurs:

- ❖ La roche-mère sur laquelle s'est développé;
- ❖ Environnementaux tels que le climat, le relief et la végétation (Duchaufour, 1984; Boulaine, 1989).

I.2. 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 HAP 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'hydromorphie 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 (**Duchaufour, 1984; Hillel, 1982 ; Calvet, 2003**).

I.2.3. Phase solide du sol

La phase solide du sol est en général majoritairement minérale qui comprend :

A. Eléments grossiers

Ce sont les éléments > 2mm et on les classe par dimensions :

- ❖ 0.2 mm à 2 mm : graviers
- ❖ 2 à 5 mm : cailloux
- ❖ 5 à 20 mm : pierres
- ❖ > 20 mm: blocs.

Leur expression se fait en pourcentage, qu'on donne sur le terrain en fonction du volume et en laboratoire en fonction de la masse (sur un échantillon de sol, au laboratoire, on estime le pourcentage après passage au tamis de 2mm).

B. Terre fine

La terre fine est la fraction de terre qu'il reste lorsqu'on retire les éléments grossiers (donc < 2 mm, au tamis). On peut classer les éléments de la terre fine par dimensions :

- ❖ 2mm à 0.2 mm : sable grossiers
- ❖ 0,2 mm à 50 µm : sable fins
- ❖ 50 µm à 20 µm : limons grossiers
- ❖ 20 µm à 2 µm : limons fins
- ❖ < 2 µm: argiles

Elle comprend aussi une fraction organique dont le taux varie selon le type de sol et les conditions de pédogenèse. Les sols cultivés présentent des taux de matière organique compris dans une gamme allant de moins de 1% à 20% de la masse du sol (**Calvet,2003**).

I.2.4. Fractions constitutives du sol

Le sol contient deux fractions intervenant principalement dans la sorption des polluants à savoir les fractions organiques et minérales.

A. Fractions minérales

Il existe trois catégories majoritaires dans le sol :

1. **Les silicates** sont des oxydes de silice qui ont des structures très diverses (Unités isolées (olivine $(\text{Fe}, \text{Mg})_2 [\text{SiO}_4]$) Chaîne (pyroxène $(\text{Mg}, \text{Fe})_2 (\text{SiO}_3)_2$) ; Feuillet (smectite) et sont souvent associés à des cations métalliques tels que l'aluminium, le fer ou le magnésium.

2 **Les oxydes, oxy-hydroxydes et hydroxydes** les plus importants et les très abondants dans les sols sont : La gibbsite (oxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3$), La goethite et l'hématite (oxydes de fer (FeO-OH) , (Fe_2O_3)), la birnessite et la lithiophorite (oxydes de manganèse).

3 **Les carbonates** les plus abondants sont les carbonates de calcium (Calcite) et les carbonates de magnésium (Dolomite $(\text{Ca}, \text{Mg}) (\text{CO}_3)_2$).

Ceux-ci peuvent Co-précipiter avec d'autres métaux (exemple : calcite magnésienne) ou former un revêtement sur d'autres minéraux (coating) en changeant ainsi leurs propriétés de surfaces (**Sposito, 2008**).

B. Fractions organiques

En ce qui concerne la matière organique ou phase organique du sol, elle correspond à tout ce qui est constitué de carbone organique, qu'il soit vivant ou non vivant (insectes, plantes, humus, microorganismes...etc.).

L'humus est un terme qui regroupe l'ensemble de la matière organique non vivante du sol et qui peut être classé en deux catégories :

- Substances non humiques

Correspondent à la fraction de matière organique dont les caractéristiques biophysicochimiques sont reconnaissables (exemple : les hydrates de carbone, les protéines, les acides aminés, les lipides, etc.).

- Substances humiques

Sont issues de la transformation chimique ou biologique (altération, polymérisation, etc.) de la matière organique du sol (**Pansu, 2001**).

I.2.5. Différents horizons d'un sol

Un sol est une pellicule d'altération recouvrant une roche, il est formé d'une fraction minérale et de matières organiques (l'humus). Les processus d'altération, d'humidification et de différenciation aboutissent à l'apparition de couches superposées plus ou moins distinctes et différentes selon la texture, la structure et la composition chimique. Ces différentes couches correspondent aux horizons dont l'ensemble constitue le profil du sol. Ces horizons peuvent être déclinés en différents sous horizons en fonction du type de sols rencontrés. On distingue quatre horizons majeurs (**Baize, 1995**).

A. Horizon A

Est un horizon majeur occupant la partie supérieure du profil (0-30 cm) et présentant une quantité importante de matière organique et une faible quantité en argile, fer et aluminium. Cette matière organique provient des plantes en phase de décomposition.

B. Horizon S

Situé au-dessous d'A (50-90 cm) est le lieu d'altération des minéraux primaires, de libération d'oxyhydroxydes de fer, de décarbonatation, etc.

C. Horizon B

Situé au-dessous de S (90-150 cm), il est caractérisé par des teneurs en argile, fer et humus plus élevées que les horizons A, S et C. Cet enrichissement peut être du soit à des transformations des minéraux préexistants, soit à des apports illuviaux. La matière organique présente dans cet horizon est plus âgée et provient de l'horizon supérieur (A). Elle est adsorbée sur les argiles et les oxydes de fer et d'aluminium (**Baize, 1995**).

D. Horizon C

Situé au-dessous de B (en dessous de 150 cm) est un horizon minéral avec une faible teneur en matière organique.

Les facteurs de différenciation de la couverture pédologique sont :

- ❖ Les formations superficielles,
- ❖ Le matériau dans lesquels la pédogenèse se développe,
- ❖ Le relief,
- ❖ La géomorphologie,
- ❖ La végétation,
- ❖ La faune,
- ❖ Les diverses activités humaines,
- ❖ L'énergie apportée au système par le soleil (chaleur),
- ❖ La terre (la gravité),

Les effets du climat constituent un facteur de différenciation important sur la structure des différents sols. En effet, en fonction des températures et de l'humidité on verra apparaître des sols différents :

- Cryosols (zones froides),
- Ferralsols (zones chaudes).

Elle contient aussi des quantités en protéines et des fragments d'hydrates de carbone, des composés aminés, phénoliques ou aromatiques issus de l'activité biologique.

II. Propriétés physicochimiques du sol

II.1. Propriétés physiques du sol

II.1.1. Structure

La structure d'un sol est l'assemblage, a un moment donné, de ses constituants solides. La stabilité structurale dépend de la matière organique des sols. Le complexe argilo-humique joue un rôle structural, ce rôle est plus ou moins important selon les teneurs en eau du sol et varie en fonction du type d'argile. La matière organique augmente la stabilité des agrégats. Une mauvaise structure peut donc empêcher l'écoulement des eaux dans le sol, les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère. Une bonne structure va assurer une grande facilité de circulation d'eau, donc laisse s'écouler l'excès, assure une bonne aération des racines, une bonne germination, une pénétration profonde des racines et une bonne exploration par les racines des ressources nutritives du sol (**Soltne, 2004**).

II.1.2. Texture

La texture du sol est à la base de toutes les autres propriétés, c'est la propriété du sol qui traduit de manière globale la composition granulométrique de la terre fine (**Gobat,2010**).

La texture constitue un caractère fondamental du sol, car elle influe sur :

A. Perméabilité du sol à l'eau et à l'air

La perméabilité est indépendante du taux de la matière organique. Le critère retenu pour mesurer la perméabilité est la vitesse de percolation de l'eau exprimée en Cm^3/h . Le taux élevé de la matière organique n'implique pas forcément une bonne perméabilité (**Redlich, 1975**). Cependant, son degré de décomposition a une influence sur cette dernière; plus la matière organique est décomposée, plus la perméabilité est faible et vice-versa.

B. Rétention de l'eau

Sous forme de vapeur ou liquide, l'eau occupe environ un quart du volume d'un sol, quand ce dernier est saturé, l'eau qui percole à travers une tranche du sol le fait sous l'influence de la gravité (**Emilian, 2004**).

La teneur en air est complémentaire de la teneur en eau, puisque ces deux fluides se partagent l'espace poreux (Blanc, 1985).

$$\text{Porosité totale (\% vol)} = \text{humidité (\%)} + \text{teneur en air (\%)}$$

II.1.3. Porosité

La porosité d'un sol est une grandeur physique qui exprime le rapport entre le volume occupé par ses pores et son volume totale. Considérons un échantillon de matériau terreux. Soient V_t le volume total de cet échantillon qui est qualifié d'apparent puisque c'est le volume qui est directement aperçu et V_s le volume occupé par les particules du sol. La porosité totale θ_t est définie par l'équation (Calvet, 2003).

$$P_t = (1 - v_s)/v_a$$

P_t: Porosité Total

V_s : Volume Solide

V_a : Volume Apparent

II.1.4. Connectivité

Elle exprime l'importance des connexions entre les pores qui est un déterminant de la continuité de la phase gazeuse, donc de l'écoulement de l'air (Boudouch, 2009).

II.2. Propriétés chimiques du sol

Le sol est une matrice réactive qui est composée d'éléments chargés, minéraux et organiques. Ces éléments interagissent entre eux et confèrent au sol des propriétés chimiques qui interviennent, entre autres, dans la nutrition des plantes.

II.2. 1. Ions

Les ions présents dans les sols proviennent essentiellement des processus de dégradation de la roche mère et de minéralisation de la matière organique. Ils peuvent également être introduits par l'intermédiaire de fertilisants chimiques et d'amendements organiques.

II.2.2. Complexe argilo-humique

Le complexe argilo-humique (CAH), ou complexe adsorbant est le résultat de l'association de l'humus et des argiles. Ces deux substances s'associent par l'intermédiaire de ponts calciques, de ponts constitués d'hydroxydes de fer et d'aluminium et de ponts

aluminium positionnés aux points de rupture des feuillets d'argile. Le CAH présente une charge globale négative qui lui permet de fixer des cations, et dans une moindre mesure des anions. Les ions sont retenus sous forme échangeable et sont en équilibre avec la solution du sol. Lorsque la concentration en ions est modifiée dans la solution du sol (prélèvement par les racines des plantes, par exemple), certains ions fixés sur le CAH passent en solution (désorption) et sont remplacés par d'autres ions présents auparavant dans la solution du sol (adsorption) (Gobat *et al.*, 2010).

II.2. 3. Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique (CEC) est la quantité totale de cations qu'un poids déterminé de sol (habituellement 100 grammes) peut adsorber sur son complexe argilo humique et échanger avec la solution du sol dans des conditions de pH données. Autrement dit, c'est la somme des charges négatives du sol disponible pour la fixation des ions H^+ et Al^{3+} ainsi que les cations basiques Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ et K^+ . La CEC dépend donc de la nature des colloïdes présentant un nombre variable et spécifique de sites négatifs et, bien sûr, du pH du sol (Gobat *et al.*, 2010).

II.2. 4. Taux de saturation en cations basiques

Le taux de saturation est le rapport entre la somme des cations basiques échangeables divisé par la CEC. Pour une même valeur de la CEC, le taux de cations basiques peut varier d'un sol à l'autre en fonction de la composition chimique de la roche mère, de l'ajout de fertilisant et du lessivage du sol (Gobat *et al.*, 2010).

II.2. 5. pH

L'acidité, exprimée par le pH, est définie par la concentration d'ions H^+ qui sont fixés sur le CAH ou en mouvement dans la solution du sol. L'alcalinisation d'un sol se traduit généralement, pour les colloïdes négatifs, par une augmentation des charges négatives ce qui tend à accroître la CEC. Inversement, l'acidification du sol se traduit par une diminution de la CEC du sol (Gobat *et al.*, 2010).

III. Pollution du sol

III.1. Définition de la pollution

est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la

constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités du milieu ou encore en enlaidissant la nature (**Emilian, 2004**). La définition de pollution est donc très large et elle permet de comprendre aussi bien des polluants d'origine naturelle que des polluants liés à l'activité humaine (anthropique) (**Emilian, 2004**).

III.2. Pollution du sol

La pollution des sols et des sous-sols résulte des conséquences des diverses activités humaines (industrielles, agricoles ...) cumulées au cours des temps (**Jeannot *et al.*, 2001**). Ces pollutions négligées jusqu'à une époque relativement récente deviennent aujourd'hui, environnementales et socio-économiques (**Jeannot *et al.*, 2001**).

Il y a une contamination, lorsqu'une telle substance potentiellement dangereuse est introduite artificiellement dans un milieu naturel, qu'elle que soit sa teneur (contaminant). Il y a une pollution, quand la teneur est potentiellement dangereuse, ou lorsqu'elle atteint les valeurs limites fixées par les normes (valeurs guides) (**Jeannot *et al.*, 2001**).

III.3. Types de pollutions

Selon la nature des polluants la pollution du sol est divisée en :

III.3.1 Pollution organique

La pollution organique est un type de pollution chimique provoquée par les polluants carbonés, comme la matière organique (lisier, boues d'épuration, etc.), les organochlorés (DDT) le dichloro-diphényle-trichloro-éthane ou encore les polychlorobiphényles (PCB) Les polychlorobiphényles. Dans le cas de la matière organique, les polluants peuvent augmenter la turbidité des eaux et créer un phénomène d'eutrophisation avec une diminution de la quantité d'oxygène dissous. Ces modifications environnementales ont de profondes conséquences sur les populations d'un milieu (disparition d'espèces, prolifération d'autres espèces).

Les effets des autres polluants organiques sont très variables suivant leur nature, certains étant très biodégradables (carbamates), d'autres persistants (dioxines). Parmi ces derniers, les polluants organiques persistants (POP), tels que les PCB et le DDT, sont

particulièrement toxiques puisqu'ils sont lipophiles. Il y a donc bioamplification de ces polluants à chaque échelon de la chaîne trophique, les derniers étant les plus contaminés.

Les polluants organiques renferment une large gamme de composés qui peuvent être classés selon :

- **Leur origine** (pesticides, carburants, explosifs, résidus de l'industrie pétrolière, déchets issus de la production de coke, ...etc.),

- **Leur structure chimique** (hydrocarbures, diphényles poly-chlorés (HDP), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), benzène/toluène/éthyle-benzène/xylène (BETX), dioxines...etc.)

- **Leur propriétés chimiques ou physiques** (liquides non aqueux, composés organiques volatiles).

III.3.2. Pollution minérale

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. Ajoutons que la toxicité des métaux lourds, connue depuis l'Antiquité pour certains d'entre eux, a été tragiquement illustrée au XXe siècle par plusieurs catastrophes telle que celle de Minamata (Japon) dans les années 50, qui ont motivé l'étude des effets de ces éléments sur l'environnement et sur la santé (**Jeannot *et al.*, 2001**).

La composition chimico-minéralogique du sol est un paramètre important qui va influencer la biodisponibilité et l'écotoxicité des métaux lourds. Ces éléments n'étant pas biodégradables, ils constituent des composés extrêmement stables dans l'environnement (**Marc Bonnard, 2010**).

CHAPITRE 3

I. Caractéristique général de la région d'étude

I.1. Historique sur les gisements pétroliers à Hassi Messaoud

Le gisement de Hassi Messaoud (HMD) est l'un des plus grands gisements au monde. Il a découvert en 1956 et étés sur une superficie voisine de 2500 km². Il est situé à 85 km au sud-est de chef-lieu de la wilaya d'Ouargla et fait partir de la province triasique dont la superficie est plus de 280 000 km² et qui reste à l'heure actuelle la région pétrolière la plus riche en Algérie. La concession des 42000 km² (superficie de HMD) avait été confiée à l'association SNREPAL-CFPA qui détenait respectivement 49 et 51% du champ de HMD qui a été divisé en deux parties distinctes champ nord pour la CFPA et le champ sud pour la SNREPAL.

- Le 16 Janvier 1956 : premier forage pétrolier a été implanté par SNREPAL.

- Le 16 Mai 1957 : deuxième puits a été creusé à 7 km de premier forage sur la partie Nord par la CFPA.

-Le 1957 à 1958 : le forage de 20 puits avait déjà été réalisé et la mise en production généralisée avait commencé en cette dernière année.

En Mai 1959 : le premier oléoduc de 24 de diamètre a été mis en exploitation et relie le centre principal de stockage de HMD (Haoud El Hamra) au port pétrolier de Bejaia.

- Le 1972 à 1977 : 34 puits en moyenne par an ont été forés

- Le 1978 – 1984 : la SONATRACH investit dans la récupération de gaz torchés dans les deux complexes sud et nord.

Depuis ce temps 900 puits ont été forés sur le champ de HMD qui est découpé en 25 zones de production, chacune de ces zones correspond à un groupement de puits présente les mêmes caractéristiques. Le gisement de HMD a été très exploité les premières années de sa découverte, mais malgré cela, un long et vaste programme de développement plus important est tracé, vu l'importance de la capacité du gisement.

I.2. Cadre administratif

Le champ de Hassi Messaoud se situe à environ 850 km au sud-est d'Alger et à 350 km de la frontière tunisienne. Il a pour coordonnées Lambert du sud Algérie :

Y: 110 000 à 150 000 Nord.

La zone d'étude, est située entre 31° et 32° de latitude, et entre 6° et 7° de longitude présente une partie du territoire où se localise la commune de Hassi Messaoud qui s'étend sur une superficie d'environ 71,237 km².

I.3. Situation géographique

La région de Hassi Messaoud, fait partie administrativement a la Wilaya de Ouargla, elle

est limitée :

- Au Nord par la Daïra de Touggourt.
- Au Nord-Est par les Communes de Bennacer, Taibat et Mnougueur.
- Au Sud par la Wilaya d'illizi,
- Au Sud-Est par la Wilaya de Tamanrasset.
- A l'Est par la Daïra d'el Borma.
- A l'Ouest par la Wilaya de Ghardaia (**Anonyme, 2001**) (**Figure 8**).

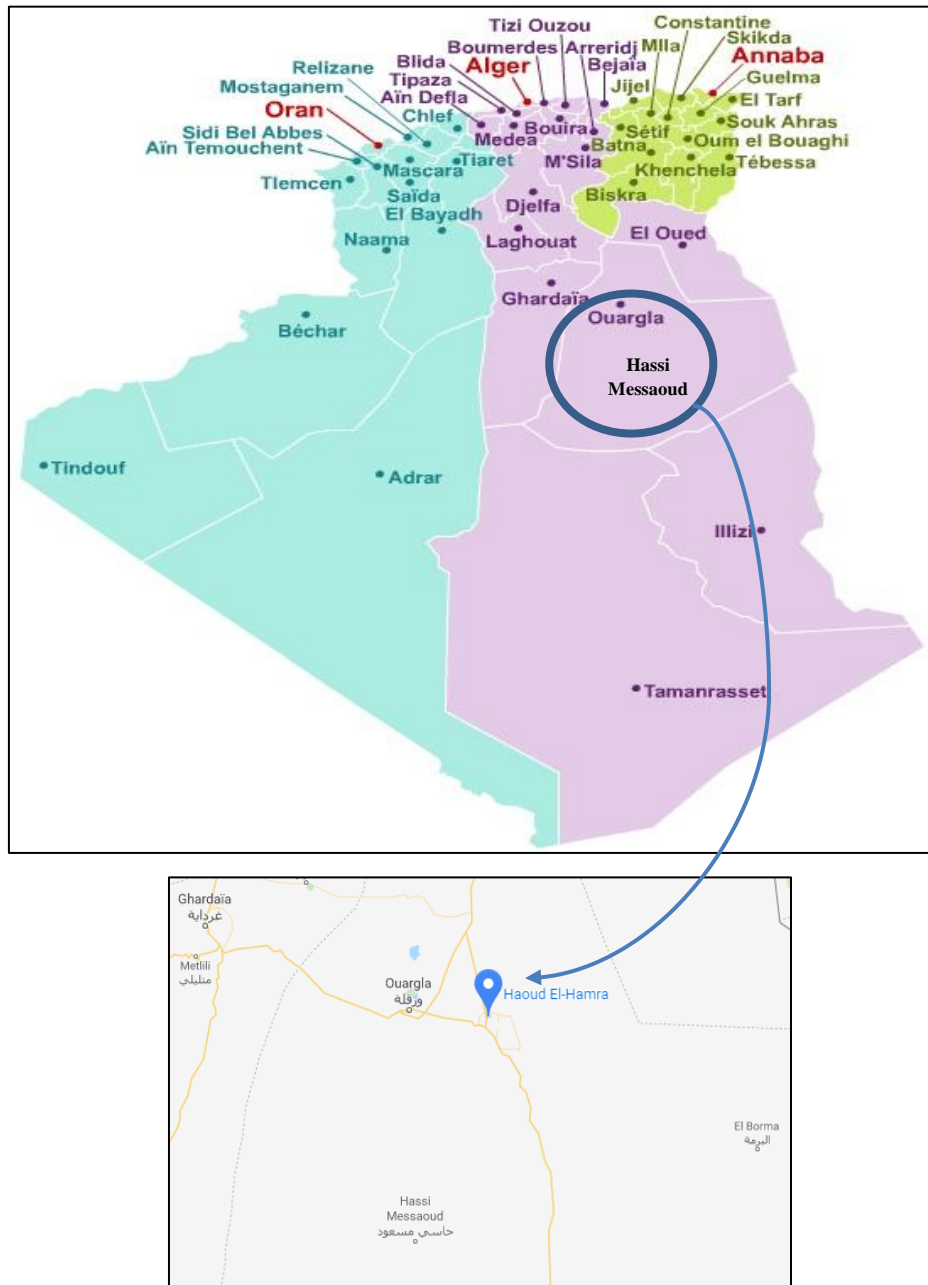


Figure 8 : Situation géographique de la région d'étude (**Google, 2018**)

I.4. Géomorphologie

Hassi Messaoud appartient à la zone homogène nommée Sahara oriental. La région peut être divisée en trois zones géographiques :

- Partie occidentale du territoire : elle est occupée par la Hamada et la région des Haoud (Haoud est la dépression d'Oued Mya)
- Partie centrale du territoire ; c'est une partie localisée relativement plate. On se trouvait l'oued May, qui n'est plus l'empreinte du lit provenant d'un Fleuve ancien
- Partie orientale du territoire ; c'est la partie où se localise le grand Erg Oriental. Il forme de vaste étendu de dunes de sable (**Anonyme, 2001**)

I.5. Hydrographie

Les eaux de surface ne sont pas significatives en raison de la faiblesse des précipitations qui conditionnent en grande partie l'écoulement de surface. La mobilisation des ressources en eaux se fait actuellement à partir des nappes aquifères du complexe terminal et du continental.

Notre secteur d'étude se caractérise par les nappes d'eau suivante :

- Nappe du continental intercalaire : qui couvre une superficie de 600 000 km² et renferme 50000 milliards de m³, elle contient l'Albien n, le Barrémien le Néocomien et le Malm.
- Nappe du complexe terminal : ses eaux sont à l'origine de l'irrigation des palmeraies du bas sahra, de Touggourt à Tozeur et Biskra, plus favorables à l'agriculture que les précédentes, pourtant généralement moins salées. Cette nappe est constituée de : nappe de mi pliocène, Turonien, nappe du sénonien et la nappe phréatique (**Dubost, 1991 in Khelil, 2004**).

I.6. Faune et la flore

- Flore : la couverture végétale dans la zone d'étude est plutôt rare et éparpillée. Et se localise essentiellement dans les dépressions et spécialement dans les fons des versants. D'après l'étude "Ecology of erg el Ouar" (**Anonyme, 2001**), 14 espèces divisées en 11 familles ont été recensées.
- Faunes : elle est peu nombreuse dans la zone d'étude (**Anonyme, 2001**).

I.7. Climatologie de la région de Hassi Messaoud

Le climat est l'ensemble des éléments qui dans leur succession habituelle, au cours d'une période déterminée, caractérisent l'atmosphère et concourent à donner à chaque point de la terre son individualité (**Arlery et al., 1970**). Les facteurs climatiques contribuent à accentuer la pollution de l'environnement. Aussi faut-il les étudier et les quantifier pour pouvoir connaître leurs impacts sur la pollution de l'environnement. La région étudiée comporte une station météorologique fonctionnelle. Nous disposons de données météorologiques sur une période de 10 ans (2008-2018) (**tableau 2**).

Dans notre région d'étude l'aridité est due aux faibles précipitations et irrégulières et des températures extrêmement élevées, d'où une évapotranspiration importante et une humidité faible. Toutes ces caractéristiques ont un impact direct ou indirect sur l'environnement et l'être humain.

I.7.1. Température

Le froid diminue la volatilité de certains gaz tandis que la chaleur est nécessaire pour les processus photochimique (**Pascal, 2002**).

La région de Hassi Messaoud se caractérise par les très fortes températures mensuelles, surtout en saison estivale. Les températures moyennes mensuelles maximales et minimales augmentent progressivement pour atteindre un maximum au mois de Juillet avec 47,29 °C et diminuer de la même façon pour atteindre un minimum au mois de Janvier avec 4.84 °C.

I.7.2. Humidité

L'humidité joue un rôle dans "le captage" des particules polluantes et les gouttelettes d'eau en suspension retiennent les polluants, ce qui accroît leur stagnation

(**Guelle & Emmanuel, 1998**). On remarque que l'humidité est très faible à HMD ceci est due à sa situation géographique. La moyenne annuelle (**Tableau 02**) est de 39,36% le taux d'humidité varie d'une saison à une autre, le maximum d'humidité étant de 62,4% pour le mois de Décembre et le minimal de 20,47% au mois de Juillet à cause des fortes évaporations et des vents chauds durant ce mois.

Tableau 02 : Représentation des données climatiques de 2008 à 2018 (**Station météorologique Hassi Messaoud, 2019**).

Paramètres Mois	Température (°C)			Humidité (%)	Vent (m/s)	Evaporation (mm)	Précipitation (mm)
	T(max)	T(min)	T(moy)	H	V	Evap	P
Janvier	17,7	4,84	11,29	57,6	2,35	93,4	2,57
Février	19,74	6,28	13,2	48,7	2,96	129,7	1,87
Mars	25,93	11,62	16,16	37,1	3,25	187,5	1,37
Avril	30,34	15,69	23,07	32,4	3,94	263,6	1,24
Mai	35,66	18,53	28,13	28	4,5	346	0,64
Juin	40,38	28,55	33,71	26,7	3,88	401,8	0
Juillet	47,29	28,09	35,97	20,47	3,5	442,6	0
Aout	42,51	27,84	30,15	25,4	3,64	405,2	1,09
Septembre	37,58	23,97	30,95	35,3	3,86	307	2,05
Octobre	32	18,73	25,34	45,7	2,97	214,9	6,9
Novembre	23,88	11,29	17,3	52,6	2,66	131,5	7,98
Décembre	18,52	6,18	12,24	62,4	2,85	94,4	2,59
Moyenne annuelle	30,96	16,80	23,13	39,36	3,36	251,47	28,21

I.7.3. Evaporation

Selon le **tableau 02**, l'évaporation est maximale au mois de Juillet avec 442,6mm et minimale au mois de Janvier 93,4mm, l'augmentation avec la vitesse du vent durant la période du mois de Janvier au mois de Mai, est suivie par l'augmentation progressive de l'évaporation à partir du mois de Mai, la vitesse du vent diminue alors que l'évaporation continue à augmenter pour atteindre son maximum au mois de Juillet et Août.

I.7.4. Précipitations

Les précipitations qui conditionnent la disponibilité en eau agissent par leur quantité totale cumulée (annuelle ou mensuelle) et leur mode de répartition.

La région de HMd est caractérisée par une pluviométrie faible et irrégulière dans le temps et dans l'espace. A partir de **tableau 02** où on observe que la moyenne annuelle des précipitations est de 28, 21mm. Le maximum des précipitations est de 7,98mm au mois de Novembre, il s'agit de mois pluvieux, par contre les mois le plus sec, est Juin et Juillet avec 0mm.

I.7.5. Vent

La vitesse et la direction du vent jouent un rôle important dans le déplacement des polluants ; plus la vitesse est élevée plus la pollution est réduite. D'après le **tableau 02**, la vitesse moyenne annuelle des vents de la région de Hassi Messaoud est 3.36 m/s, avec un maximum de 4,5 m/s au mois de Mai, et un minimum de 2,35% m/s au mois de Janvier. Les vents dominants de la région de HMd sont celles du Nord et Nord -Nord Est.

PARTIE

PRATIQUE

CHAPITRE 4

I. Présentation des sites et prélèvement des échantillons

Notre échantillonnage a été effectué au niveau deux stations situées dans la zone de Haoud El-Hamra à Hassi Messaoud Ouargla ; une station contaminée, caractérisée par la présence des activités de forage pétrolier, et autre considérée comme une référence qui est éloignée de toute source de la pollution **figure 09**

Pendant le prélèvement des échantillons du sol nous avons évité d'utiliser des outils ou des récipients susceptibles de contaminer l'échantillon.

Après décaissage à la pelle et évacuation des 5 premiers centimètres, trois prélèvements de la couche de surface sur une profondeur de 35 à 45 cm ont été effectués au hasard au niveau du sol dont leurs coordonnées sont citées ci-dessous :

- P1 : 31° 53 48N 5° 58 41E
- P2 : 31°53 33N 5°57 49 E
- P3 : 31° 52 40N 5° 58 02 E



Figure 09 : Présentation des sites de prélèvement (Google Earth, 2018)

II. Préparation des échantillons

Après réception des échantillons au laboratoire, Le sol a été séché dans une étuve à une température de 40°C jusqu'à la masse soit constante (norme NF X31-101). Le sol est ensuite tamisé sur une maille inférieure à 2mm. La conservation des échantillons se fait dans des sacs en polyéthylène et à 4°C avant préparation pour analyses selon les normes françaises NF ISO 11464.

III. Caractérisations physico-chimiques des sols

III.1. Granulométrie

La Granulométrie a été faite par tamisage selon la norme AFNOR NF X31-101. Le principe de cette manipulation consiste à prendre un échantillon de sol séché et de le verser dans une colonne de tamis classés dans l'ordre croissant des mailles. Par la suite, le contenu de chaque tamis est pesé et la fraction d'échantillon recueillie par tamis est rapportée sur la quantité d'échantillon totale.

III.1.1 Méthode de dosage

- Peser tous les tamis et la base.
- Monter la série de tamis en commençant par le bas dans la séquence suivante : base, tamis de, (0.16 mm) (0.35 mm), (0.5 mm), (0.71 mm), (1 mm), (1.4 mm), (2 mm)
- Peser de 500 à 600 g d'échantillon sec, noter le poids et transférer l'échantillon dans le tamis de (2,36 mm) et fermer le couvercle.
- Placer le montage sur l'agitateur mécanique avec marteau et fixer solidement.
- Agiter pendant 15 minutes.
- Retirer le montage et le défaire.
- Peser chacun des tamis et la base contenant une fraction de l'échantillon

III.1.2 Calcul et expression des résultats

Les résultats sont exprimés en % pour chaque fraction obtenue, selon l'équation suivante :

$$C = \frac{A - B}{D} * 100$$

Où

C : fraction de l'échantillon sur un tamis (%) ;

A : poids du tamis avec fraction (g) ;

B : poids du tamis vide (g) ;

D: poids d'échantillon total utilisé (g).

III.2 Détermination de l'humidité résiduelle (norme AFNOR NF X 31-102 (1992))

L'humidité résiduelle est définie comme la masse perdue après séchage à 105°C d'un échantillon dont la masse est constante à 40°C. Sa mesure permet de déterminer la masse sèche d'un échantillon du sol. L'humidité résiduelle **H** est exprimée en pourcentage massique et elle est calculée par la relation suivante :

$$H = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

- M_0 : étant la masse initiale d'échantillon séché à 40°C
- M_1 : sa masse finale, après séchage à 105°C pendant 24 heures et refroidissement

III.3 Détermination du pH

La mesure du pH se fait le plus fréquemment dans une suspension aqueuse, le rapport de la masse du sol au volume d'eau varie suivant les méthodes, ou la texture du milieu. Le ratio le plus souvent rencontré est de 1/2.5 (**Guevara-Riba, 2004; Cappuyns, 2004**) et 1/5 (**Tack, 1996; Vandecasteele, 2002**). Les valeurs du pH obtenus par cette méthode de mesure sont considérées comme les plus proches du pH du milieu considéré. Elles expriment l'acidité réelle et prennent en compte les ions H_3O^+ libres dans la phase liquide.

Cette mesure est décrite par la norme NF X31-103. Le principe de la méthode est la mise en équilibre ionique d'une certaine masse de solide avec un volume donné déminéralisée.

Les échantillons (10 g) sont préparés pour analyse dans un bêcher. On y ajoute 25 ml d'eau distillée, on agite ensuite avec un agitateur magnétique pendant 60 min à la température ambiante 25°C. Cela permet de mettre en suspension la totalité de l'échantillon et d'obtenir ainsi un équilibre entre la phase solide et la phase liquide. La suspension est ensuite laissée au repos 2 heures, puis on mesure le pH de la suspension à l'aide d'un pH-mètre. On compare les valeurs du pH avec les valeurs décrites par le (**référence pédologique 1995**) pour classer de nos échantillons Tableau 03.

Tableau 03 : La gamme de pH des sols selon (**Le référence pédologique, 1995**).

pH	Type de sol
< 3,5	Hyper acide
3,5 – 4,2	Très acide
4,2 – 5,0	Acide
5,0 – 6,5	Peu acide
6,5 – 7,5	Neutre
7,5 – 8,7	Basique
> 8,7	Très basique

III.4 Détermination de la conductivité électrique

La conductivité électrique est une mesure qui donne une approximation de la concentration des sels solubles présents dans l'échantillon. La norme utilisée est

la NF X31-113 qui est basée sur l'extraction des sels d'un échantillon, solubles dans l'eau, dans des conditions bien définies et dans un rapport sols sec/ eau égal à 1/5.

On pèse 10 g d'échantillon de sols préparé pour essai qu'on transvase dans un flacon en polyéthylène, on y ajoute 50 ml d'eau distillée, on ferme le flacon et on place dans l'agitateur mécanique à mouvement horizontal, on agite pendant 30 min. après filtration, on mesure la conductivité des sols à l'aide d'un conductimètre.

Les valeurs sont comparées à une étude de salinité, résumées dans le tableau 04

Tableau04 : Echelle de salinité du sol (USSL, 1981).

Conductivité électrique (ms/cm)	Salure
< 0,6	Non salé
0,6 – 1,4	Peu salé
1,4 – 2,4	Salé
> 2,4	Très salé

III.5 Matière organique

Elle est déterminée selon la méthode d'Anne (1945) selon les étapes suivantes :

On met 0,5 g de sol dans un erlenmeyer, on ajoute 10 ml de bichromate de potassium (8%) avec 15 ml d'acide sulfurique concentré. On laisse bouillir pendant 5 mn sur une plaque chauffante, puis refroidir, transvaser le contenu dans une fiole de 100 ml et ajouter de l'eau jusqu'à trait de jauge.

On prend 20 ml de la solution, on l'ajoute à 100 ml d'eau distillée puis on ajoute 2 à 3 gouttes de diphénylamine et une pincée de NaF (fluorure de sodium). On titre la solution avec le sel de Mohr (0,2 N) jusqu'à virage de la solution qui passera de la couleur violette à la couleur verte, la quantité de sel de Mohr utilisée est **X**.

On fait un témoin dans les mêmes conditions que l'échantillon, mais sans sol, soit **Y** la quantité de sel de Mohr utilisée pour le titrage du témoin. (Tableau 05).

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

$$C\% = (Y-X) \times 0,615 \text{ mg} \times (100/20) \times (100/P) \times (1/1000).$$

Y : la quantité de sel de Mohr utilisée pour titrer le témoin.

X : la quantité de sel de Mohr utilisée pour l'échantillon à doser.

0,615 : facteur d'équivalence entre le sel de Mohr et le carbone (en mg).

100/20 : on utilise 20 ml à partir de 100 ml.

P : poids du sol sec (1g).

1,72 : coefficient de passage du carbone à la matière organique.

$$\% \text{ matière organique} = \% C \times 1,72$$

Tableau 05: Classification des sols d'après leur teneur en matière organique (Solter, 1981).

% de la matière organique	Appréciation
<1	Extrêmement faible
1-1,5	Très faible
1,5-2,5	Faible
2,5-3,5	Moyen
3,5-4,5	Moyennement élevé
3,5-4,5	Elevé
>5	Très élevé

III.6 Détermination du taux de calcaire

La mesure du pourcentage du calcaire contenant les sols, selon la méthode de (Duchauffour, 1970). Le principe est basé sur le volume de gaz carbonique dégagé lors de l'attaque d'un échantillon par l'acide chlorhydrique.

Peser 5 g du sol, le mettre dans un erlenmeyer, puis ajouter 50 ml d'acide chlorhydrique (HCl à 0,5 N). Ensuite mettre l'erlenmeyer sur une plaque chauffante jusqu'à voir la première goutte de la vapeur. Laisser refroidir et filtrer la solution. On prélève 20 ml de filtrat, le verser dans un bécher et on ajoute 2 gouttes de phénophtaléine, titré le mélange par NaOH jusqu'à que la solution aura une couleur rose. Le calcaire total est calculé selon la formule suivante:

$$\text{CaCo}_3 (\%) = \frac{20 \text{ ml (HCL)} \times 0.5\text{N} - X \text{ ml (NaOH)} \times 0.25}{5 \text{ g}} \times 5$$

La classification de nos échantillons se fait selon les teneurs en calcaire qui sont présentées dans le tableau 06

Tableau 06 : Classification des sols d'après leurs teneurs en calcaire

(Duchauffour, 1970).

Calcaire en %	Désignation des sols
0 – 5	Peu calcaire
5 – 15	Moyennement calcaire
15 – 30	calcaire
> 30	Très calcaire

III.7 Détermination de la quantité de bleu de méthylène (CERUTCP)

Elle est d'usage courant en géotechnique pour évaluer la fraction argileuse d'un sol ou d'un granulat, mais également dans l'industrie des bentonites. Le résultat de l'essai dépend directement de la nature minéralogique des argiles et de leur quantité dans le sol. Cette mesure permet d'évaluer rapidement l'activité colloïdale des matériaux argileux. La quantité de bleu de méthylène adsorbé par un échantillon augmente lorsque sa surface spécifique augmente.

La valeur de bleu de méthylène (VBS) représente ainsi la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules de sol.

Etant donné que dans un sol c'est avant tout, la surface spécifique de particule argileuse qui détermine sa surface spécifique totale, on peut considérer que la VBS exprime globalement la quantité et l'activité de l'argile contenue dans ce sol (tableau 07).

Tableau 07 : Valeurs du bleu de méthylène associé à chaque type de sol (CERUTCP)

Valeur du bleu du sol (cm ³ g)	Nature du sol
< 0,2	Sol sableux
0,2 – 2,5	Sol limoneux
2,5 – 6	Sol limoneux- sableux
6 -8	sols argileux
>8	sols très argileux

III.7.1 Principe

La VBS se détermine à partir de l'essai au bleu de méthylène à la tache sur la fraction 0/5 mm Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène. A chaque ajout on contrôle l'adsorption en prélevant une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre normalisé pour faire une tache. L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu clair persistante apparaît à la périphérie de la tache (Figure 10).

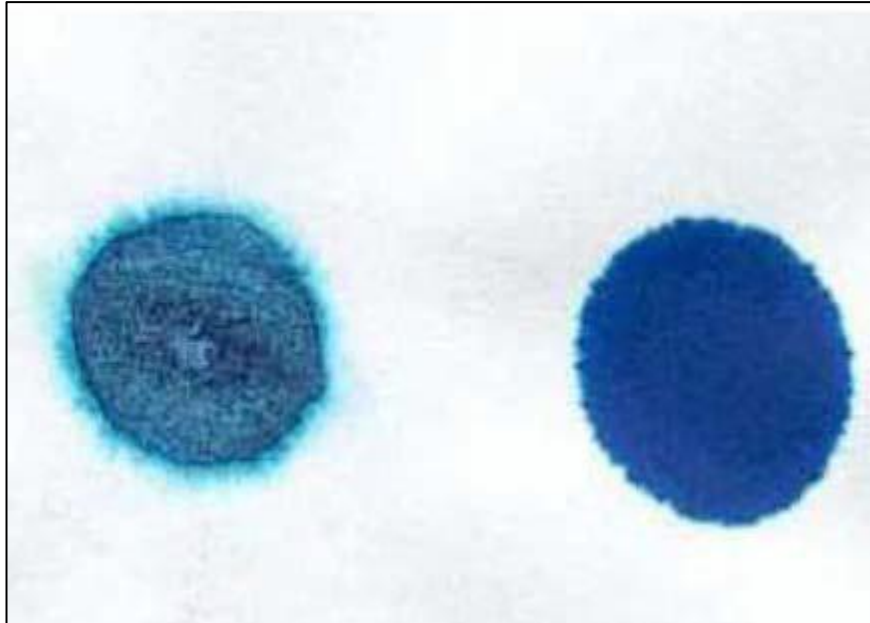


Figure10 : Essai au Bleu de Méthylène

III.7.2. Mode opératoire

Prélever une masse de $10 \pm 0,01$ g de sol sec, puis la mettre dans un bécher de 100 ml, ensuite à l'aide d'un agitateur disperser la suspension pendant 5 min. à l'aide d'un dispositif de dosage, introduire 5 ml de bleu et agiter à une vitesse de (400 tr/min) pendant une minute. Au bout d' $1\text{min} \pm 10\text{s}$, procéder à l'essai de la tache sur papier filtre de la manière suivante:

- Poser le papier filtre sur un support adapté non absorbant
- Prélever à l'aide de la baguette de verre une goutte de suspension et la déposer sur le papier filtre.

La tache ainsi formée se compose d'un dépôt central de matériau coloré bleu sombre entouré d'une zone humide incolore (essai de tache), La goutte prélevée doit former un dépôt central compris entre 8 mm et 12 mm de diamètre. Procéder à des injections successives par pas de 5 ml à 10 ml (selon l'argilosité du matériau) de solution de bleu jusqu'à l'apparition d'une auréole périphérique bleu clair, de largeur millimétrique, dans la zone humide de la tâche. L'essai est dit alors positif.

À partir de ce moment, laisser se poursuivre l'adsorption du bleu dans la solution et effectuer des taches, de minute en minute, sans ajout de solution. Si l'essai redevient négatif à la cinquième tache ou avant, procéder à de nouvelles injections de bleu avec des

pas de 2 ml à 5 ml, selon l'argilosité du matériau, en lieu et place des pas de 5 ml à 10 ml introduits précédemment.

En effet, il est nécessaire de réduire les quantités injectées, car à ce stade de l'essai la suspension est en voie de saturation. Chaque addition est suivie des taches effectuées de minute en minute. Ces opérations sont renouvelées jusqu'à ce que l'essai reste positif pour cinq taches consécutives. Le dosage est alors terminé et l'on détermine le volume total (V) de la solution de bleu qui a été nécessaire pour atteindre l'adsorption totale.

Dans tous les cas, le volume V doit être supérieur à 10 ml. Si le volume V est inférieur à 10 ml, l'essai doit être recommencé avec une prise d'essai de masse supérieure. La valeur de bleu de méthylène du sol est calculée selon la formule suivante :

$$\text{VBS} = \text{V} / \text{M} \text{ (cm}^3\text{/g)}$$

VBS : La valeur de bleu de méthylène

V : volume du bleu ajouté en cm³;

M : la prise d'essai en g (CERUTCP)

III.8. Dosage des métaux lourds

III.8.1. Extraction des métaux lourds

L'extraction des métaux lourds a été faite par la minéralisation du sol, nous avons utilisé La méthode de **Miller (1998)**; il s'agit d'une minéralisation par voie humide. Cette technique permet une meilleure extraction des éléments minéraux.

- Faire réagir 0.5g de (matière sèche (sol)) avec 6 ml d'acide nitrique (HNO³) concentré dans un matras pendant une nuit, puis le mélange est chauffé à une température de 150°C durant 60 minutes.
- Ajouter 2 ml d'acide perchlorique (HClO⁴) à 70%, l'attaque est poursuivie à une température de 250°C jusqu'à l'évaporation complète de l'acide.
- Rincer avec 10ml d'eau distillé qui sont ensuite filtrer pour éliminer les particules en suspension, poursuivre le rinçage avec l'eau distillé qui est récupérer à chaque fois jusqu'au tarit de juge d'une fiole de 25ml. Analysée les solutions par absorption atomique.

➤ Les échantillons sont mis dans des flacons en verre étiquetés et conservés au réfrigérateur après analysés par spectrométrie d'absorption atomique.

III.8.2. Dosage des métaux dans le sol

Tous les échantillons sont broyés dans un creuset en agate puis tamisés à 250 µm, A partir de ces échantillons, on pèse 0,250g dans un bécher et on ajoute 5 ml d'acide nitrique (HNO³ à 65%). Tous les béchers sont placés sur un bain de sable réglé à 160°C pendant 30 min. Après, les résidus sont transférés dans des capsules en verre sur lesquelles on ajoute 5 ml d'acide fluorhydrique (HF à 40%) et 1,5 ml d'acide perchlorique (HClO⁴ à 65%).

Cependant ; on procède au chauffage sur un bain de sable jusqu'à l'obtention d'un résidu sec, ensuite on ajoute à chaque résidu 1 ml d'acide chlorhydrique et quelques ml d'eau déminéralisée et en chauffe de nouveau sur le bain de sable pour une dissolution à chaud du résidu sec. Ensuite, on transfère les solutions dans des fioles jaugée de 50 ml et on ajuste au volume avec de l'eau déminéralisée.

Les procédures effectuées selon la norme NF X31-147. Les cinq éléments (Cd, Pb, Fer, Cu, Zn) sont dosés par le spectromètre d'absorption atomique dans le sol pour chaque station.

Après la réalisation de la gamme d'étalonnage des éléments à analysés, lire les absorbances des étalons et des échantillons à analysés, à une longueur d'onde de (228,8 nm pour le Cd, 283,30 pour Pb,), et calculer les concentrations des éléments dosés dans le sol à partir de la droite de régression qui obtenue par la courbe d'étalonnage en mg/l, et les teneurs des éléments dans le sol sont calculées selon la formule suivante :

$$T \text{ (mg/g)} = \frac{X \times V}{P} \text{ où ;}$$

T : Teneurs d'un métal en mg/g

X : la concentration de l'élément déterminée par la courbe d'étalonnage (mg/l)

V : Volume de prise d'essai

P : Poids de l'échantillon à dosé (g).

III.8.3. Gammes d'étalonnage

La préparation de la gamme d'étalonnage s'effectue à partir d'une solution mère étalon. Pour chaque élément, on prépare des dilutions dans 2 ml d'acide nitrique avec de l'eau déminéralisée pour obtenir des solutions à différentes concentrations selon les **tableaux 08,09**, suivants:

Tableau08: Dosage du Pb, réalisation de la gamme d'étalonnage.

Eau déminéralisée (ml)	100	100	100	100
Solution mère du Pb (µl)	0	100	200	500
Concentration obtenue (ppm)	0	1	2	5

Tableau09: Dosage du Cd, réalisation de la gamme d'étalonnage.

Eau déminéralisée (ml)	100	100	100	100	100
Solution mère du Cd (µl)	0	10	20	40	100
Concentration obtenue (ppm)	0	0,1	0,2	0,4	1

III.9. Dosage des huiles dans le sol :

Les huiles dosées dans le laboratoire de sonatrach (CRD) En utilisant la méthode de distillation par un appareil spécial présenté dans la figure 11.



Figure 11 : RETORT OFITE

Les teneurs et les volumes d'huiles sont calculés selon la formule suivante :

$$T_h = M_h / M_s \quad \text{ET} \quad V_h = V_h / M_s$$

T_h : teneurs des huiles en mg/g

M_h : Masse d'huile recueillie en mg

M_s : Masse d'échantillon du sol utilisé en g

V_h : Volume d'huile recueillie en ml

IV. Traitement statistique

Tous les résultats obtenus sont présentés par la moyenne et l'écart type ($m \pm s$), et ensuite ont été analysées à l'aide d'un logiciel de statistique approprié MINITAB version 15.fr, pour faire l'analyse de la variance à un seul facteur contrôlé.

CHAPITRE 5

I. Caractérisation du sol

I.1. Texture (composition granulométrique)

La texture d'un sol est l'ensemble des propriétés qui découlent de la composition granulométrique du sol (teneur en pourcentage de sables grossiers et fins, de limons, d'argile, d'humus et de calcaire). Elle est déterminée par l'analyse granulométrique (Pasquier, 2010). Le but d'analyse granulométrique est de déterminer la distribution dimensionnelle des particules élémentaires du matériau constitutif d'un sol. (Bouderhem, 2011), permet par ailleurs de définir sa texture. Selon (Siegenthaler 2011), la texture du sol est définie par la grosseur des particules qui le composent en pourcentage de sable, limon et d'argile.

Les résultats obtenus montrent que les deux échantillons de sols (contaminé et témoin) ont des profils très proche. Selon les données granulométriques, on a pu déterminer la texture de nos échantillons, le sol contaminé présente une texture **limono-sableuse**, tandis que le sol témoin présente une texture **sablo-limoneuse**, avec un pourcentage d'argile plus élevé dans le sol contaminé par rapport au sol témoin. Les résultats de la composition granulométrique de nos échantillons sont présentés dans la **figure 12**.

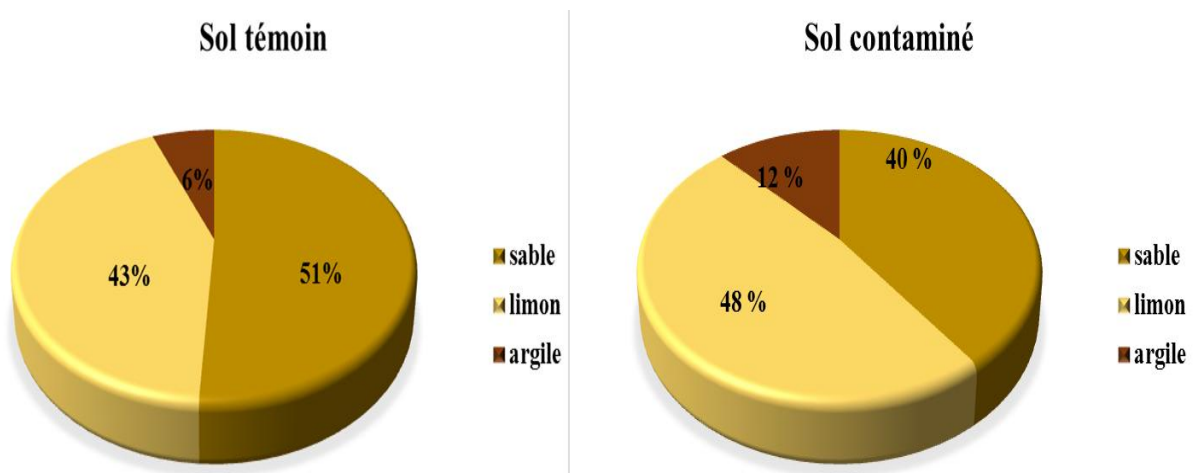


Figure 12 : Répartition des fractions granulométriques (en %) dans les sols étudiés.

La stabilité structurale a été trouvée négativement corrélée avec la fraction sableuse (Saidi *et al.*, 1999), nos résultats de la granulométrie montrent que les deux types sont moins stable à cause de l'augmentation des fractions sableuses.

I.2. Valeur de bleu de méthylène (VBS)

Les deux échantillons de sol ont révélé des valeurs qui sont inclus dans la famille des sols limono- sableux et sablo-limoneux. Confirment que nos sols sont de nature sableuse, qui confirme les résultats trouvés dans l'étude granulométrique, les résultats trouvés donnent des valeurs de VBS de 4 cm^3/g dans le sol témoin et de 4,75 cm^3/g dans le sol contaminé (figure 13).

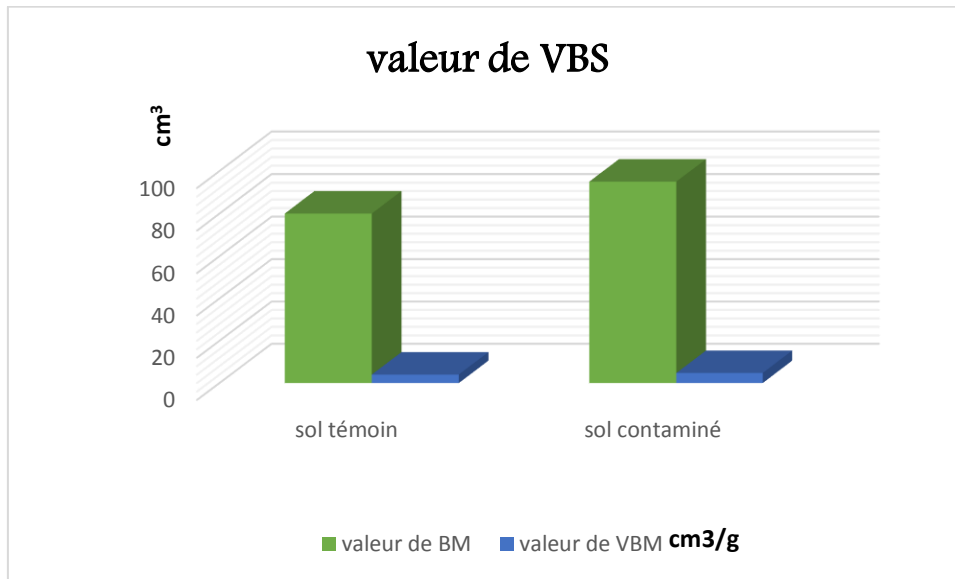


Figure 13 : valeur de VB dans les sols étudiés

(Sahnoun, 2014), a démontré dans ces études que la valeur de VBS des sols limoneux-sableux est de l'ordre de $5\text{cm}^3/\text{g}$.

II. Paramètres physicochimique du sol

II.1. Potentiel d'hydrogène pH

Le pH d'une solution est la quantité d'ions H^+ libres qu'elle contient (Soltner, 1982). Les mesures de pH des sols étudiés montrent que, le pH du sol contaminé est très alcalin avec une valeur moyenne de 9,84, et le pH du sol témoin est alcalin qui varié entre 7,5 et 7,9.

Nos résultats présentent des valeurs de pH du sol contaminé supérieures à celles enregistrées dans le sol témoin, avec une différence très hautement significative ($p < 0.001$) (figure14).

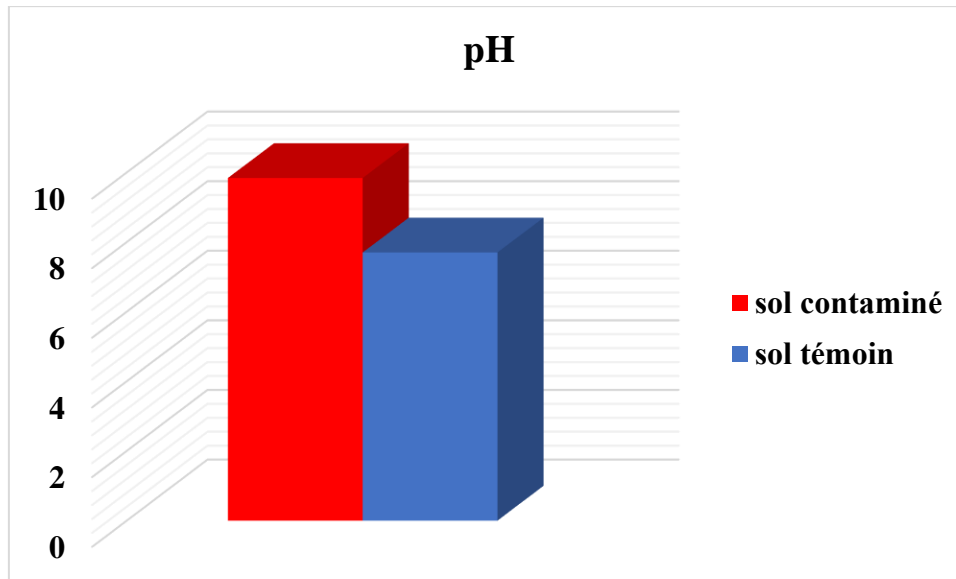


Figure 14 : pH des sols étudiés

Nos résultats sont cohérents avec des revues bibliographiques in (**Aquaportail, 2019**), qui montre que le pH du sol de 7,4-7,8 est classé comme légèrement alcalin et supérieur à 9 classé comme très fortement alcalin.

Les sols alcalins sont caractérisés par la présence de carbonates. Le sol dans les zones calcaires près de la surface est alcalin en raison du carbonate de calcium présent dans le calcaire en mélange constant avec le sol (**Aquaportail, 2019**).

(**Hamaddache et al. 2016**), ont constaté que le PH de sol des quatre stations étudiés est basique faible ($7,6 < \text{pH} < 8,08$). Cette basicité est due essentiellement à la nature géologique de la région et la présence de carbonate dans le site. D'autre étude ont signalé un pH entre 7.79 et 8.71 pour un sol sableux limoneux. (**Douafer, 2010**).

II.2. Conductivité électrique

La conductivité est fonction de la concentration en sels solubles (chlorures, sulfates, carbonates et bicarbonates alcalins et alcalinoterreux, nitrates et phosphates). Elle permet de déterminer la salinité globale de l'extrait de pâte saturée (**Baize, 1988**).

Selon l'échelle de la salinité qui a été représenté dans le tableau 4 chapitre 4 nous remarquons que la valeur de la conductivité électrique enregistrée dans le sol témoin est de moyenne de 1,42 ms/cm correspondant à un sol peu salé, cette valeur peut être le résultat du lessivage des éléments minéraux dans le sol témoin qui renferme une grande teneur en sable, et le sol contaminé est classé parmi les sols très salés avec une valeur de conductivité électrique variée entre 4,48 et 4,52 ms/cm (figure 15).

L'analyse statistique à un seul facteur contrôlé révèle une différence très hautement significative entre les valeurs moyennes enregistrées dans le sol témoin et contaminé avec une valeur de ($p= 0,001$).

D'après (**Servant, 1975**), si la salinité est due à des sels de bases fortes et d'acides faibles, (bicarbonates ou carbonates de sodium) le pH est au-dessus de 8,5 et le sol est alcalin ce qui est le cas de notre échantillon (sol contaminé). (**Sahnoun, 2014**) ;(**Hamadach, 2016**), (**Noouman, 2011**), ont démontré des valeurs inférieures à nos résultats respectivement (2.25 ms/cm, 1.05 ms/cm, 3.02 ms/cm).

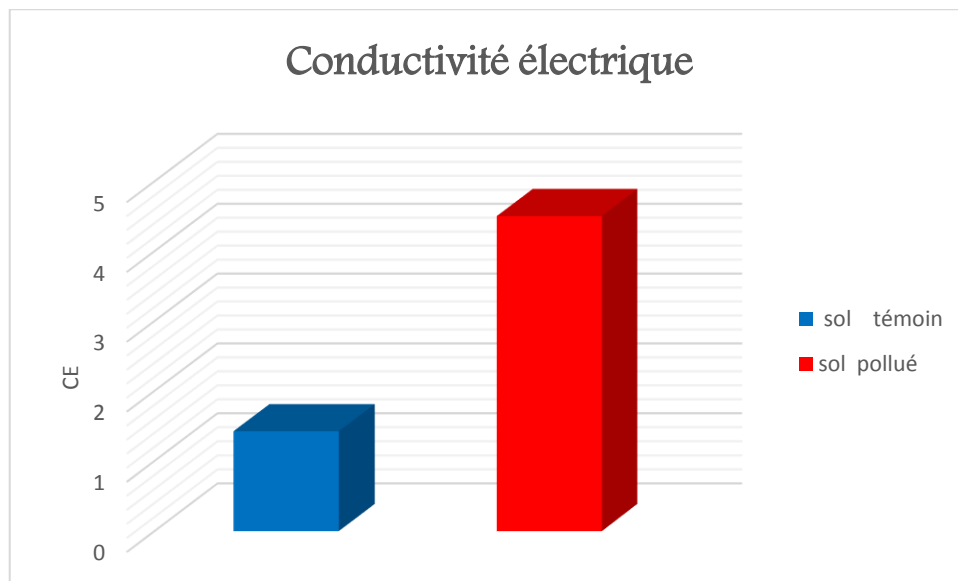


Figure 15 : Conductivité électrique des échantillons des sols étudiés

II.3. Humidité résiduelle

L'eau joue un rôle essentiel dans tous les phénomènes physiques, chimiques et biologiques qui se produisent dans le sol. Elle pourra entrer en compétition avec les molécules organiques pour l'adsorption sur les matériaux solides, entraînant une baisse de l'adsorption des polluants lorsque le taux d'humidité du sol augmente (**Sayyad, 2010**)

Le taux d'humidité dans nos échantillons du sol témoin est varié entre 0,26 % et 0,6%, et de 3,75 à 3.87% dans le sol contaminé (figure16), avec une différence très hautement significative ($p = 0.001$).

Ces résultats sont cohérents avec les résultats obtenus par la détermination des fractions granulométriques, où on a pu enregistrer des faibles valeurs d'humidité dans les deux types de sol avec des pourcentages très faible en argile d'une part, et d'autre part des valeurs d'humidité dans le sol contaminé supérieur à celles dans le sol témoin avec un pourcentage

d'argile dans le sol contaminé supérieur à celui dans le sol témoin, ce qui indique qu'il existe une corrélation positive entre le pourcentage d'argile et le taux d'humidité dans les échantillons étudiés.

Ces valeurs aussi, dépendent fortement des conditions climatiques au moment des prélèvements, l'eau est totalement infiltrée sous le degré d'évaporation enregistrée dans la région. Plusieurs études ont également confirmé notre résultat sur la rétention de l'eau dans les sols sablo limoneux ; (**Giot et Cousin 2012, al Majou 2007, Thiebeau et Bertrand, 2016**)

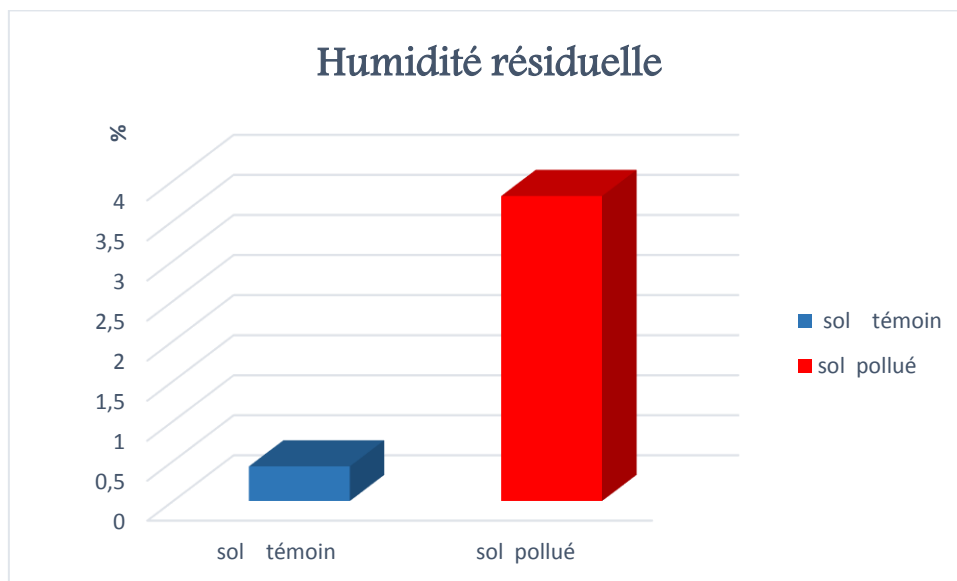


Figure 16 : Teneur en humidité résiduelle des sols étudiés.

II.4. Matière organique

La teneur en matière organique (M.O.) dans les deux échantillons étudiés (contaminé, témoin), est très faible de 1,2% et de 0,8% respectivement dans le sol témoin et le sol contaminé (Figure 18), les valeurs enregistrées dans le sol témoin sont élevées par rapport au sol contaminé, avec une différence significative ($p= 0,05$).

Cette faible teneur résulte de la rareté de la végétation et de la faible biomasse (**Halitim, 1988**).

En général, la matière organique retient physiquement plus d'eau que les composés minéraux du sol (sable, limon et argile), ainsi elle augmente la rétention du sol en eau (**Evanylo , Mcguinn, 2000**). Ce qui confirme nos résultats obtenus par la détermination d'humidité, où on a trouvé des faibles teneurs en eaux dans les deux échantillons avec des faibles teneurs en matières organiques.

Des anciennes études montrent que dans les sols des régions arides la matière organique est souvent de très faible teneur (**Durant, 1959 ; Dutil, 1971, Rognon, 1994 ; Daoud & Halitim, 1994 ; Halilat, 1998**).

(**Toutain, 1979**) a indiqué que dans les sols sahariens, la matière organique était détruite rapidement en climat chaud sous irrigation. D'après (**Choudhry, 1994**) la MO des sols se caractérise comme les argiles par une grande surface spécifique et par son pouvoir gonflant permettant la pénétration de l'eau et la diffusion des molécules des petites tailles qui peuvent ainsi se lier avec les substances humiques.

Les conditions climatiques (hautes températures, faible humidité...) défavorisent l'accumulation de la matière organique, et le peu qui s'accumule est rapidement décomposé sous l'action unique des paramètres physiques et chimiques (**Birch, 1988**).

Nos résultats aussi cohérents avec les données climatiques qui sont représentées dans le chapitre 4.

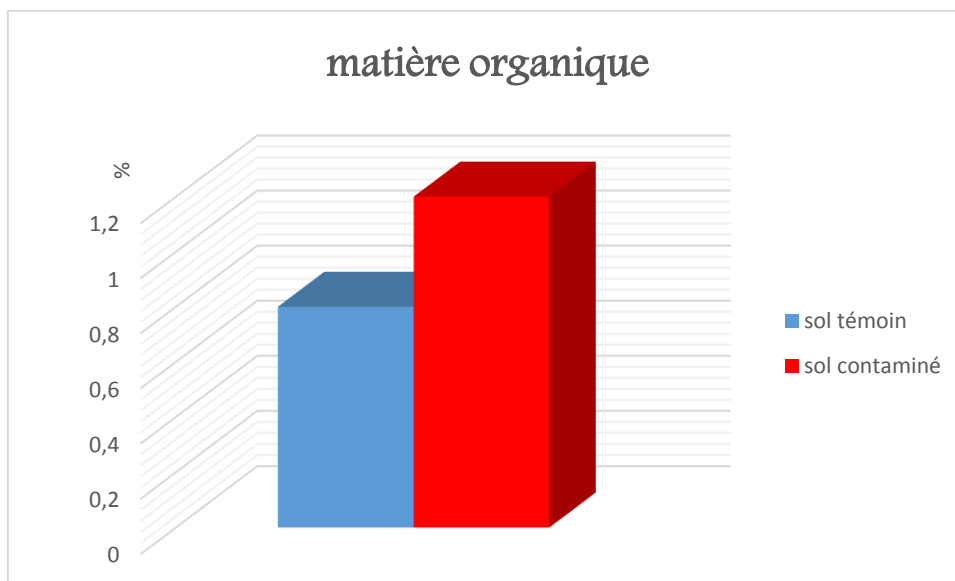


Figure 17 : la matière organique des deux échantillons

II.5. Taux de calcaire

Les résultats du taux de calcaire enregistrent une valeur moyenne de 5,3% dans le sol témoin et de 5,62 % dans le sol contaminé (figure 19), avec une légère différence considérée comme non significative d'après les données statistiques, donc les deux types de sols, ils sont classés comme des sols moyennement calcaires.

D'après (**Baize ,1997**), un sol est considéré riche en calcaire lorsque sa teneur en (CaCO_3) dépasse 25%, ceci est loin d'être le cas de notre étude. Et selon (**Duchauffour ,1970**) un sol avec un taux de calcaire varié entre 5 et 15 est classé comme un sol moyennement calcaire.

Les carbonates possèdent un double rôle dans les sols. D'une part, ils contrôlent partiellement le pH par leurs équilibres de dissolution, une teneur élevée rend le sol alcalin et favorise certains modes de fixation (**Duchofour, 1997**).

Donc plus du taux de calcaire élevé plus de pH de sol alcalin, c'est cohérent avec nos résultats obtenus dans les mesures de pH, où le taux de calcaire dans le sol contaminé est supérieur à celui dans le sol témoin et en parallèle le pH de sol contaminé plus alcalin que celui de sol témoin, ce qui confirme la corrélation positive qui existe entre le calcaire et le pH de sol.

Le calcaire fournit aux végétaux le calcium nécessaire. Entre autres, le calcaire bloque certains éléments indispensables aux plantes comme le fer et divers oligoéléments (notamment manganèse, cuivre) (**Rattan et al., 2005**). (**Hamadach, 2016**) a signalé une valeur strictement inférieure à la nôtre 1.5 %.

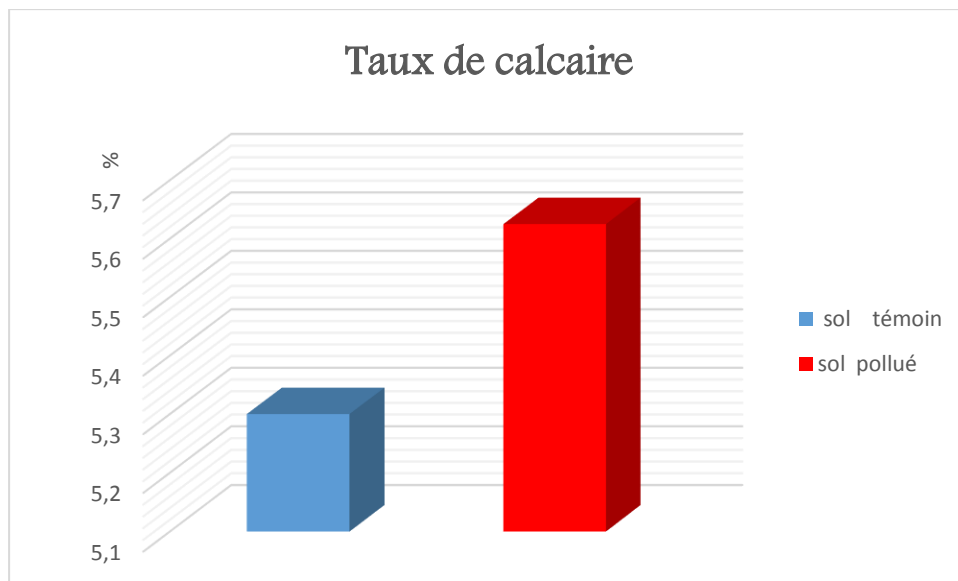


Figure 18 : Taux de calcaire des sols étudiés

II.6. Teneur en métaux lourds

La teneur en eau, la composition granulométrique, la teneur en carbone organique (matière organique) et le pH (**Riviere, 1998**), tous ces facteurs influent la biodisponibilité des ETM dans le sol (**Scheifler, 2002**)

L'augmentation du pH entraîne la dissolution de la matière organique et la formation consécutive de complexes organo-métalliques plus solubles, Les variations de pH ont donc des conséquences complexes sur la mobilité des métaux lourds (**Chaignon, 2001**). Métaux L'effet du pH sur l'adsorption des métaux a été particulièrement étudié (**Murray et Balistrieri 1984; Belizel et al., 1989; Nishida et al. 1982; Dhillon et al., 1985; Basta et Tabatabai, 1992, Zhu et Alva, 1993**).

Ainsi, une augmentation du pH favorise l'adsorption métallique sur la fraction réductible des sédiments (oxydes de fer et de manganèse) après échange des cations métalliques avec les ions H⁺ sur certains sites de surface.

Le sol prélevé de la zone Hassi Messaoud présente des teneurs variables en métaux lourds (Pb et Cd), avec une différence est très hautement significative ($p = 0.001$) comparativement au sol témoin, où les valeurs élevées sont trouvées dans l'échantillon contaminé avec une valeur de 152mg/kg du Pb et de 10,8 mg/kg du Cd qui sont très élevés à celles dans le sol témoin qui sont respectivement de 17,09 mg/kg et de 0,29 mg/kg. Les teneurs obtenues dans le sol contaminé sont supérieures aux valeurs limite citées par (**Bowen,1979**), qui sont 35 mg/kg du Pb et 0,3 mg/kg du Cd

Le plomb est le micropolluant métallique le moins mobile dans le sol (**Juste et al.1995**). Son comportement dépend de différents facteurs comme sa dynamique mais également des caractéristiques pédologiques et physico-chimiques du sol (**Baize, 1997**). Les métaux lourds sont présents dans le sol sous des formes chimiques très variées dépendant de la composition du sol et des conditions du milieu (**Baize, 1997**). (**Alloway ,1990**) reconnaît que le pH est un paramètre de contrôle principal impliqué dans la rétention du plomb dans les sols. En fait, lorsque le pH d'un système donné est supérieur à 6.

Dans les sols, le cadmium est considéré comme un élément relativement mobile par rapport à d'autres métaux en traces tels que le cuivre ou le plomb (**Bourrelier et Berthelin, 1998**). La mobilité du cadmium est essentiellement fonction du pH : entre pH 4 et 8, l'adsorption de cet ETM sur la phase solide est multipliée par 3 quand le pH augmente d'une unité. Le CaCO₃ peut adsorber efficacement le cadmium présent en faible concentration via le remplacement du calcium (Ca²⁺) par le cadmium (Cd²⁺) et réduire ainsi sa biodisponibilité (**GALVEZ et PIERRE , 2005**).

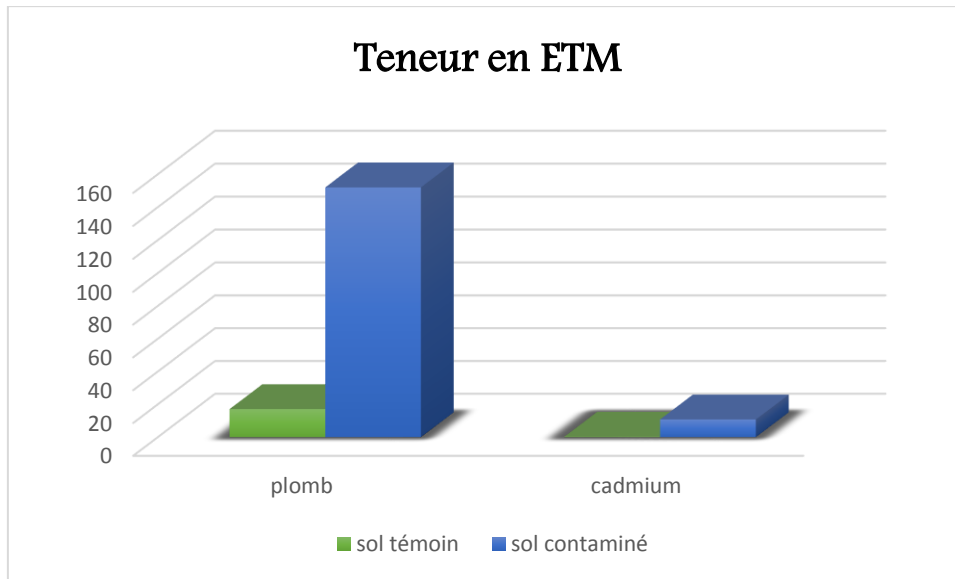


Figure 19: Teneur en ETM des sols étudiés

II.7. Teneurs des huiles totales dans le sol

Les huiles et les graisses minérales proviennent de la distillation du pétrole et se divisent en deux catégories : les hydrocarbures aliphatiques et les hydrocarbures aromatiques. Les hydrocarbures du pétrole sont des polluants aux propriétés physiques, chimiques et toxiques variées. Les principales sources d'émission dans l'environnement sont produites par l'industrie pétrolière et par les effluents d'industries utilisant des produits pétroliers à l'intérieur de leur processus industriel. De plus, un entreposage inadéquat de ces produits, un déversement accidentel ou un lessivage par les eaux de précipitation sont autant de causes susceptibles d'entraîner une contamination ponctuelle par les hydrocarbures (Cdaeq, 2014).

La figure 21 représente la teneur des huiles dans les deux échantillons de sol, témoin et contaminé. La différence est très hautement significative ($p= 0.001$) entre le sol témoin qui présente une valeur de 0 et le sol contaminé qui renferme une valeur de 76.29 g/kg.

La présence en grande quantité des huiles dans les sols concerne plus particulièrement les activités de raffinage du pétrole, l'industrie du charbon (usine à gaz, cokerie) et les activités de traitement du bois (Wilson et al, 1993).

Ainsi, la pollution des sols par les HAP est caractéristique des anciens sites de fabrication de gaz, de distillation de goudrons et de traitement et de préservation du bois. Les teneurs en huiles retrouvées dans les sols de ces anciens sites industriels sont souvent importantes. L'ordre de grandeur de ces concentrations varie de la centaine de milligrammes à plusieurs grammes

par kilogramme de sol. (Brilis *et al.* 1990 ; Zemanck *et al.* 1997 ; Wcisenfels *et al.* 1992 ; Cutright *et al.* 1995 Blan.Kcrhorm *et al.*1992)

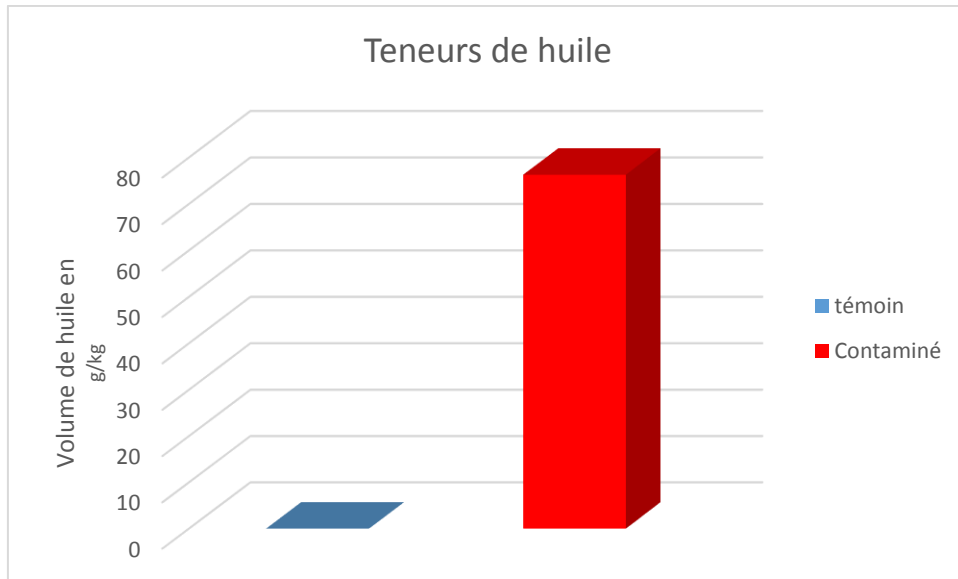


Figure 20 : Teneur des huiles totaux

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

L'objectif général de notre travail est d'étudier l'influence des forages pétroliers sur quelques paramètres physico-chimiques du sol dans la région de Haoud el Hamra (Hassi Messaoud) considérée comme une région contaminée, caractérisée la présence d'une grande activité pétrolière spécifiquement les forages pétroliers en choisissant une autre région fait partie de Hassi Messaoud mais très éloignée de toutes sources de la pollution, est considérée comme référence (témoin).

L'analyse granulométrique est la détermination du BM à montrer que les deux échantillons de sols (contaminé et témoin) ont des profils très proche avec la présence d'une grande quantité de fractions sableuses.

Les résultats d'analyse de pH de sol (contaminé et témoin), indique qu'il existe une augmentation de pH du sol contaminé par apport au témoin .

Concernant la conductivité électrique des échantillons de sols (contaminé et témoin), Les valeurs obtenues indique que la conductivité dans le sol contaminé est supérieur à celle dans le sol témoin.

Une augmentation d'humidité résiduelle et de matière organique dans le sol contaminé par apport au témoin, concernant le taux de calcaire est présente une grande élévation dans le sol contaminé .

L'analyse des teneurs d'huile dans les échantillons de sols (contaminé et témoin), indique qu'il existe une grande quantité d'huile dans le sol contaminé, contrairement dans sol témoin qui ne contient pas d'huile.

L'analyse des teneurs en ETM dans les échantillons des sols, dans le sol contaminé on a trouvé des valeurs supérieures à celles dans le sol témoin, on a remarqué que les deux métaux dosés présentent dans les deux types du sol en ordre $Pb > Cd$.

Références bibliographiques

1. **Afnor ,1981** « Norme expérimentale X 31-102 : Qualité des sols : détermination de l'humidité résiduelle d'échantillons de sols préparés pour analyse ». Edition Afnor, Paris.
2. **ARLERY R., GRISOLLET h. Et GUIMET B, 1970**-climatologie méthode et pratique .
3. **Baize D. Et Jabiol B,1995** « Guide Pour La Description Des Sols, Collection Techniques Et Pratiques », INRA, Paris.
4. **Basta, N. T., & Tabatabai, M. A. 1992** , «Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils: II. Effect of pH. Soil Science », 153(3), 195-204.
5. **Bazzine. M , 2017**, « Les croûtes biologiques des sols de la région de Ouargla (Algérie) EUE » , 128p .
6. **BEHMENE Ahmed , 2016**, «Etude comparative entre deux puits de forage portant sur l'amélioration de la boue de forage- champs d'adrar » , *master académique* , Université Kasdi Merbah Ouargla .
7. **Belhabib Abdelouhab , 2013** , «Bella Fyaçal , «Les fluide de forage a base d'huile : impacts sur l'environnement et technique de traitement» , *Master professionnel* , Université Kasdi Merbah Ouargla.
8. **Belhabib Abdelouhab , Bella Fyaçal , 2013** ,«Les fluide de forage a base d'huile : impacts sur l'environnement et technique de traitement , *Master professionnel* , Université Kasdi Merbah Ouargla.
9. **Belzile, N., Lecomte, P., & Tessier, A. 1989** , Testing readsorption of trace elements during partial chemical extractions of bottom sediments. *Environmental Science & Technology*, 23(8), p1015- p1020.
- 10.**BLANC D, 1992**, « Les Structures Hors Sol INRA Ed Louis ».Paris.409p .
- 11.**BLANKERHORN, MEIJER D, van DELFT R , J.**Inter-laboratory comparison of methods used for analysing polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs) in soil Samples, *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, Vol. 343,Fasc. 6,pp. 497-504 .
- 12.**BOUDOUCHE O,** « Étude De Dépollution Des Sols Par Extraction Sous Pression Réduite Application Au Traitement Des Composés Organiques Volatiles ». Thèse De Doctorat , Institut National Des Sciences Appliquées De Lyon. 2.
- 13.**Boulaine. J, 1989**, « Histoire Des Pédologues Et De La Science Du Sol. Ed» INRA. 285 P..
- 14.**BOUZID. A, 2003**, « Bioécologie des oiseaux d'eau dans les chotts d'Ain EL-Beida et d'Oum ».

15. **BRILIS G. M., MARSDEN P. J, 1990**, Comparative evaluation of Soxhlet and sonication extraction in the determination of polynuclear aromatic hydrocarbons, *Chemosphere*, Vol. 21 , Nos. 1-2, pp. 91-98 .
16. **Calvet. R, 2003**, *Le Sol : Propriétés Et Fonctions. Tome 1 : Constitution Et Structure, Phénomènes Aux Interfaces*. Ed. France Agricole. 456 P.
17. **Cappuyns V., Swennen R. & Verhulst . J, 2004**, Assessment of acid neutralizing and potential mobilisation of trace metals from land-disposed dredged sediments. *Science of the Total Environment*, p 333 :p 233-247.
18. **Centre d'études Sur Les Réseaux**, *Les Transports, l'urbanisme Et Les Constructions Publiques, Comparaison De Méthode d'analyse Des Eléments Traces Métalliques Etm Et Des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques Hap Qur Les Sols Et Les Végétaux*.
19. **Centre d'expertise en analyse environnementale du québec , 2014** détermination des huiles et des graisses dans les eaux : méthode gravimétrique, ma. 415 – hgt 2.0, ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du québec, édition courante Cesrthcp .
20. **Christian Hocquard, 2003**, «Les Enjeux Des Nouveaux Matériaux Métalliques. *Revue Ecomine (Ministère De l'Économie, Des Finances Et De l'Industrie)* » , Juillet-Août 2005.
21. **Christian Hocquard. Le Scandium, 2001**, Un Métal High-Tech Du Futur, *Economiegîtologie. La Tribune*, 20 Décembre 2001.
22. **Consortium De Recherche Pour Les Métaux De Haute Technologie (BRGM), 2003** . Les Enjeux Des Éléments Du Groupe Du Platine Dans La Filière Catalyse, Juin 2003.
23. **Consortium De Recherche Pour Les Métaux De Haute Technologie (BRGM), 2003** , Les Enjeux Du Rhénium Dans La Filière Superalliages, Juin 2003.
24. **Consortium De Recherche Pour Les Métaux De Haute Technologie (BRGM) , 2003** , « Les Enjeux Du Germanium Dans La Filière Ntic », Juin 2003.
25. CS616 pour la mesure et le suivi de l'humidité du sol sur le site atelier OS2. *Cahier Tech » INRA 77:p 1-17*.
26. **CUTRIGHT T.J. Polycyclic aromatic hydrocarbons biodegradation and kinetics using *Cunninghamella echinulata* var. *Elegans*, 1995**, «*International Biodeterioration and Biodegradation* » pp. 397-408, 1995.
27. **Daoud Y et Halitim. A, 1994** , « Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. *Sécheresse* », 5, 3, pp. 151-160.

28. **Darley, H.C.H. et Gray, G.R. 1988**, « Composition and properties of drilling and completion fluids. 5th Ed., Gulf Professional Publishing, Houston, TX, 630p
29. **Darmendrail, 2001** , Guide méthodologique pour analyse des sols pollués
30. **Duchaufour. P**, 1984, « Abrégés De Pédologie. Ed. Masson » Paris, 220
31. **Duchaufour. P. H**, 1970 « Précis de Pédologie. Eds », Masson, Paris.
32. **Durant J.H., 1954**, « Les sols d'Algérie, S.E.S, Alger», 244 p.
33. **Dutil .P** , 1971 , «Contribution à l'étude des sols et des paléosols du sahara », Thèse, Doctd'état, Faculté des sciences de l'université de Strasbourg,346 p.
34. **Economides, M. J. Et al. 1988**, Petroleum well construction, édition John wiley and sons. Pp. 199 – 204 .
35. électromagnétique dans le périmètre irrigué de Kalàçat Landelous en Tunisie: cas d'une parcelle de courge». Faculté des lettres, des arts et des humanités Manouba - Master de recherche environnement, aménagement et risque Routiers a proximité des autoroutes .Ed. ADEME 144p.
36. **EMILIA KOLLER, (2004)**, « Traitement des pollutions industrielles : Eau, Air, Déchets » ,Sols, Boues.
37. **ENSPM (Ecole Nationale Supérieur du Pétrole et des Moteurs),1994** Formation industrie, Gisement forage, initiation au forage pétrolier .
38. **Er-Raneb (Régions d' Ouargla)**.thèse, Magister Sci.Agro; Inst.Nati.Agro; EL-Harrach, Alger .
39. **Evanylo G. And Mcguinn R., 2000** - Agricultural management practices and soil quality : measuring, assessing, and comparing laboratory and field test kit indicators of soil quality attributes, virginia cooperative extension publication number 452-400
40. **Giot G, Cousin . I**,2012, « Méthode d'étalonnage des réflectomètres de teneur en eau
41. **Glossary Of Soil Science Terms. Ed**, « Soil Science Society Of America. Am. J. Potato Res». 42, 346. 1965. [Online] <https://www.soils.org/publications/soils-glossary>.
42. **GOBAT. J.M, ARAGNO M Et MATTHEY W** , 2010 : Le Livre (Le Sol Vivant : Base De Pédologie Et Biologie Des Sols). 3eme Edition Revue Et Augmentée P150-165.
43. **GUELLE D. Et EMMAUEL,1998**, « Etat de l'air pour l'étude des impacts des transports »

44. **Guevara-Riban A. Sahuquillo. A., Rubio. R & Rauret. G, 2004**, « Assessment of mobility in dredged harbour sediments from Barcelona », Spain. *Science of the Total Environment*, p321: 241-255p .
45. **H. Askri, 2003**, "Géologie de l'Algérie", Contribution de SONATRACH Division Exploration, Centre de Recherche et de Développement et Division Petroleum Engineering and Développement .
46. **Hadj Abbas, 2011** « Les bourniers des forages pétroliers et des unités de production), *magister*, Université Kasdi Merbah Ouargla.
47. **Halilat M.T, 1998** , «Étude expérimentale de sable additionné d'argile, comportement physique et organisation en conditions salines et sodiques », Thèse, Doct, I.N.R.A, I.N.A, Paris, Grigon, 229 p.
48. **Halitim A., 1988** , « Sols de régions arides d'Algérie » Alger, 384 p.
49. **HAMMADACHE Zineb, GUERRACHE Samah; SAIB Samia , 2016** Evaluation du transfert des métaux lourds dans le système sol-plante (Phragmites australis) dans le bassin versant d'oued NIL la région de Jijel .2016
50. **Herzhaft, B. 2001** , Les fluides de forage : un exemple de fluides complexes industriels, 36ème colloque annuel du Groupe Français de Rhéologie (GFR 2001), Marne-la-Vallée . France, 10- 12 Octobre .
51. **Hillel, D., 1982** , Introduction To Soil Physics. Ed. Academic Press. New York, USA, 364P.
52. **IDF 1988**, Product data manual Lausanne p60. L'environnement, Edition DUNOD, Paris 1170P.
53. **IPEHU, 2005** : Institute of Petroleum Engineering, *Heriotwatt University*, drilling fluids 2005
54. **Jeannot R., Lemièrre B., Chiron S., Augustin F. & Darmendrail D., 2001**, Guide Méthodologique Pour l'analyse Des Sols Pollués. Editions BRGM, Orléans, France, 85 Pp
55. **KADDOURI Ouanissa. LAIB Hafsa , 2016** «Etat actuel de l'environnement dans la région de Ouargla : les principales pollutions et leurs impacts», Master Academique , Université Kasdi Merbah Ouargla.
56. **KHELIL R., 2004** Utilisation des lichens comme bio inducteurs de la pollution
57. **Khodja Mohamed ,2008** " Etude des performances et considérations environnementales" Toulouse - France -2008; P 4, 5, 11, 12.
58. **KOLLER EMILIAN, 2004** , Traitement Des Pollutions Industrielles. Edition DUNOD Paris.P 277-347.
59. **Legros, J.P, 2007** , Les Grands Sols Du Monde. Ed. Presses Polytechniques Et Universitaires Romandes. Lausanne, 574 P.
60. **Lemièrre B, Seguin J.J. 2001**, Le Guern C., Guyonnet D., Baranger P., Darmendrail D. & Conil P., Guide Sur Le Comportement Des Polluants

- Dans Les Sols Et Les Nappes. Applications Dans Un Contexte d'Evaluation Détaillée Des Risques Pour Les Ressources En Eau. Bureau De Recherches Géologiques Et Minières, 122 P..
61. **LOUKIL Leila** , 2016 « Énergie, environnement et développement durable en Algérie étude de cas de la région de Hassi-Messaoud» , *THESE* , Université d'Oran
 62. **M..Daddou, 2005** « fluides de forage », division forage-Sonatrach »
 63. **Majou H, Bruand A, Duval O, Josière O , 2007**, Etudes des propriétés de rétention en eau des sols argileux. 5è colloque du Groupe Français des Argiles ; 18-19 avril 2007, Mulhouse(<https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu>)
 64. **Marc Bonnard Relations , 2010** , « Biodisponibilité-Genotoxicité-Ecotoxicité » Des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (Hap) Dans Les Sols De Friches Industrielles ,Avril 2010.
 65. **Martins A. L, 2003** , « On the Rheological Mechanisms Governing Drill-in Fluid Invasion into Reservoir Rocks” Federal University of Rio de Janeiro SPE Annual Technical Conference and Exhibition being held in Denver, Colorado, 6-8 October 2003.
 66. **MI SWAKO, 2011**, A Schlumberger Company ‘TPS Project’, SOFITEL Hotel Algeria 2/1/2011.
 67. **Murray, J. W., Balistrieri, L. S., & Paul, B. 1984** , « The oxidation state of manganese in
 68. **Mustin M., 1987**, « Le composte, gestion de la matière organique », Ed, François Dubusc, Paris, 954 p.
 69. **Nishida, H., Miyai, M., Tada, F., & Suzuki, S. 1982**, « Computation of the index of pollution caused by heavy metals in river sediment. Environmental Pollution (Series B) », 4, 241-248.
 70. **NOOMENE H 2011**, «Etude de la salinité des sols par la méthode de détection
 71. **Nortcliff.S.200**, .Standardisation Of Soil Quality Attributes. Griculture.Ecosystems & Environment 88(2)P161-168 .
 72. **Nowak C., Mossmann J.R. & Saada A,2003** , Etat Des Connaissances Sur l'atténuation Naturelle : Mécanismes Et Mise En Oeuvre. Bureau De Recherches Géologiques Et Minières, 101 Pp.
 73. **Pansu, M. And Gautheyrou, J.,2001** , l'analyse Du Sol Minéralogique, Organique Et Minérale. Edition Springer.
 74. **PASCAL S., 2002** , Stimulation de la quantité de l'air sur la ville de MEXICO, EPFL,
 75. **Pedro. G, 1985** « Les Grandes Tendances Des Sols Mondiaux », Cultivar, p185.

- 76.R .JEANNOT, B.LEMIERE, S.CHIRON avec la collaboration de : F. Augustin,**
- 77.R. BENSEGHIER, 2009** , « Traitement des Cuttings de Forage de Hassi Messaoud avec des Solutions Tensioactives », Projet de fin d'Etudes pour l'Obtention du titre d'Ingénieur d'Etat en Génie de l'Environnement, Ecole Nationale Supérieur Polytechnique 'ENSP' Hacén Badi, El-Harrach, Alger .
- 78.RAMADE F., 2002** , Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences
- 79.REDLICH G/C Et VERDURE , 1975** , Le Comportement Physique Des Tourbes En Cours De Culture PHM.Revue Horticole.160 ; P 13-20 .
- 80.Robert, M. Le Sol , 1996** , Interface Dans l'environnement, Ressource Pour Le Développement. Ed. Masson. 244 P.
- 81.SAHNOUNE Rachid , 2014** , Analyse et Caractérisation physico-chimique des Sols d'Entreposage de la station de Pétrole .
- 82.Sayyad, G., Afyuni, M., Mousavi, S.-F., Abbaspour, K. C., Richards, B. K & Schulin R., 2010** , Transport of Cd, Cu, Pb and Zn in a calcareous soil under wheat and safflower cultivation-A column study. Geoderma, vol. 154 pp. 311-320 .
- 83.SLIMANI, 2003** «Forage pour non foreurs", Division forage », Département Sonatrach ,Septembre 2003 .
- 84.SOLTNER, D** , : «Distribution Liquid Et Voie Métabolique Chez Quatre Bactéries Gramnégative Hydrocarbonoclaste. Variation En Fonction De Sources De Carbone , Docteur De l'université PARIS .
- 85.Sposito, G, 2008**, The Chemistry Of Soils. Oxford University Press, New York.
- 86.Sposito. G. 1997**, The Chemical Composition Of Soils. The Chemistry Of Soils. Oxford University Press.New-York:P3-27 .
- 87.SSRHMD** : la société Sonatrach de la région de Hassi-Messaoud
- 88.Tack F. M., Callewaert O. W. J. J. & Verloo M. G., 1996** , Metal solubility as a function of ph in a contaminated dredged sediment affected by oxidation. Environmental Pollution, 91(2) : 199-208.
- 89.Toutain G., 1979**, Élément d'agronomie saharienne De la recherche au développement, I.N.R.A, Paris, 276 p.
- 90.V. Laperche, M. C. Dictor, B , 2004** , Clozel-Leloup, And Ph. Baranger. Guide Méthodologique Du Plomb, Appliqué A La Gestion Des Sites Et Sols Pollués. BRGM/RP-52881-FR, Juin 2004. Étude Réalisée Dans Le Cadre Des Actions De Service Public Du BRGM 2003- POLA06
- 91.Vandecasteele B., De Vos B. & Tack F. M. G., 2002.** Heavy metal contents in surface soils along the Upper Scheldt river (Belgium)

affected by historical upland disposal of dredged materials. *The Science of the Total Environment*, 290: 01-14.

92. **WEISENFELS W. D., KLEWER H. J, 1992** , LANGHOFF J. Adsorption of polycyclic aromatic
93. **ZEMANEK M. G., POLLARD S. J. T., KENEFICK S. L, 1997** , HRUDEY S. E. Multi-phase partitioning and co-solvent effects for polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) in authentic petroleum- and creosote- contaminated soils, *Environmental Pollution*, Vol. 98, No. 2, pp. 239-252 .
94. **Zhu, B., & Alva, A. K. 1993**, « Differential adsorption of trace metals by soils as

RESUME

Résumé

La pollution des sols est l'un des problèmes environnementaux les plus graves dans le monde, causée par l'activité humaine ou naturelle, les plus importantes sont les activités industrielles, et notamment l'activité pétrolière et leurs effets sur l'homme et l'environnement en général. Notre étude réalisée pour identifier les effets des forages pétroliers sur les propriétés physiques et chimiques du sol dans le bassin de Haoud El-Hamra (Hassi Messaoud). Dans cette étude, nous avons effectué une analyse des propriétés physiques et chimiques du sol (granulométrie, pH, conductivité électrique, humidité résiduelle, teneur en ETM, teneur en huile, matière organique, taux de calcaire), dans deux échantillons de sols (contaminé et témoin), une station contaminée, caractérisée par la présence des activités de forage pétrolier, et autre considérée comme une référence qui est éloignée de toute source de la pollution. Nos résultats révèlent une élévation des paramètres suivants : pH, conductivité électrique, humidité résiduelle, teneurs en ETM, taux de calcaire, matière organique, teneurs d'huile, dans le sol contaminé en comparant avec le sol témoin. Les changements des paramètres physicochimiques peuvent être entraînés des effets/déséquilibres sur la faune et flore du sol en disparaissant certaines espèces vivantes et en conséquence diminution de la biodiversité dans la région contaminée, ainsi qu'une modification de la qualité des eaux souterraines.

Mots clés: forage pétrolier, pollution, contamination, paramètres physicochimiques du sol, sol.

Abstract:

Soil pollution is one of the most serious environmental problems in the world, caused by human or natural activity, the most important are industrial activities, and in particular oil activity and their effects on man and the environment in general. Our study carried out to identify the effects of oil drilling on the physical and chemical properties of the soil in the Haoud El-Hamra basin (Hassi Messaoud). In this study, we carried out an analysis of the physical and chemical properties of the soil (grain size, pH, electrical conductivity, residual moisture, ETM content, oil content, organic matter, limestone content) in two soil samples (contaminated and control), one contaminated station, characterized by the presence of oil drilling activities, and another considered

as a reference that is remote from any source of pollution. Our results show an increase in the following parameters: pH, electrical conductivity, residual moisture, ETM contents, limestone content, organic matter, oil contents, in the contaminated soil when compared with the control soil. Changes in physico-chemical parameters can lead to effects/imbances on soil fauna and flora by disappearing certain living species and consequently to a decrease in biodiversity in the contaminated area, as well as a change in groundwater quality.

Key words: oil drilling, pollution, contamination, soil physicochemical parameters, soil.

ملخص:

يعد تلوث التربة أحد أخطر المشكلات البيئية في العالم، والتي يسببها النشاط البشري أو الطبيعي، وأهمها الأنشطة الصناعية، بما في ذلك النشاط النفطي وتأثيراته على الإنسان والبيئة، والبيئة بشكل عام. أجريت دراستنا لتحديد آثار الحفر البترولي على الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة في حوض الحمراء (حاسي مسعود). في هذه الدراسة، أجرينا تحليلاً للخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة (درجة الحموضة، النخل الحبيبي، الموصلية الكهربائية، الرطوبة المتبقية، محتويات المعادن الثقيلة، محتويات الزيت، المواد العضوية، الحجر الجيري)، في عينتين من التربة (ملوثة والشاهد)، محطة ملوثة، تتميز بوجود أنشطة التنقيب عن النفط (حفر البترولي)، وغينة الأخرى تعتبر مرجعاً بعيداً عن أي مصدر للتلوث. تكشف نتائجنا عن ارتفاع في المعايير التالية: (درجة الحموضة، الموصلية الكهربائية، الرطوبة المتبقية، محتويات المعادن الثقيلة، الحجر الجيري، المادة العضوية، محتويات الزيت)، في التربة الملوثة من خلال المقارنة مع تربة الشاهد. قد تؤدي التغيرات في المعايير الفيزيائية والكيميائية إلى آثار واختلالات تؤثر على الحيوانات والنباتات في التربة من خلال اختفاء بعض الأنواع الحية وبالتالي انخفاض التنوع البيولوجي في المنطقة الملوثة، وكذلك حدوث تغيير في نوعية المياه الجوفية.

الكلمات المفتاحية: التنقيب عن النفط، التلوث، العوامل الفيزيائية والكيميائية للتربة، التربة.