



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine 1  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie Et Ecologie Végétale

قسم : بيولوجيا النبات والبيئة

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**

**Filière : Ecologie et Environnement**

**Spécialité : Ecologie fondamentale et appliquée**

Intitulé :

---

**Traitement des fluides de forage par la méthode  
stabilisation/solidification au niveau du champ de Hassi Messaoud**

---

Présenté et soutenu par : **CHOUAOUA Maroua**

**IDAMI Chahrazed**

**Le : 18/07/2019**

**Jury d'évaluation :**

Président du jury :	Mme ZAIMECHE Saida	MCB	UFM Constantine 1
Rapporteur :	Dr AFRI-MEHENNAOUI Fatima-Zohra	Professeur	UFM Constantine 1
Examineurs :	Mr TOUATI Laid	MCA	UFM Constantine 1

*Année universitaire  
2018 - 2019*

# REMERCIEMENTS

*En préambule à ce mémoire nous remercions Dieu qui nous a assisté et nous a muni de patience et de courage durant toutes ces années d'études.*

*Nous tenons d'abord à remercier très chaleureusement notre promotrice **Mme Afri-Mehennaoui F. Z** Professeur à l'Université de Constantine qui nous a permis de bénéficier de son encadrement. Les conseils qu'elle nous a prodigués, la patience, la confiance qu'elle a accordé à notre égard ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.*

*Nous avons l'immense honneur d'avoir comme président de jury **Mme Zaimèche** Maitre de Conférences B à L'Université de Constantine, à laquelle nous attribuons nos sincères remerciements ainsi que l'expression de nos gratitudes les plus distinguées.*

*Nos sincères remerciements vont également à **Mr Touati** Maitre de Conférences A à l'Université de Constantine, qui nous a honoré de bien vouloir juger ce travail.*

*Il nous tient à cœur d'exprimer notre sincère gratitude à **Mme CHOUAOUA KARIMEN** Ingénieur pétrochimie à SONATRACH Hassi Messaoud pour sa bienveillance et sa collaboration incontournable dans l'obtention du stage.*

*Toutes nos reconnaissances pour notre encadreur **Mr. KADRI M.LAHBIB** Ingénieur HSE à SONATRACH division forage Hassi Messaoud pour son aide estimable, sa disposition et sa gentillesse incommensurable.*

*Nous tenons à exprimer notre sincère remerciement au chef de département **Mr. Yaiche YACINE** et tous les personnels du Département HSE à la division Forage Hassi Messaoud et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation et la réussite de cet humble travail.*

**MAROUA & CHAHRAZED**

# Dédicaces

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, L'amour, le respect, la reconnaissance...*

*Je dédie ce mémoire ...*

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

*A mes chères sœurs KARIMEN et KHAOULA qui ont partagé avec moi tous les moments plaisants et déplaisants*

*A mes chers frères, AHMED, OUSSAMA et DJAMEL pour leur appui et leur encouragement,*

*A mes chères cousines, qui m'ont supportés et me donnaient tout l'amour et la sérénité et particulièrement à ma belle cousine  
ROMAISSA,*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours*

*Universitaire,*

*A mes chères amis, ASSIA mon binôme CHAHRAZED qui m'ont dotés du courage et m'étaient une source de motivation et d'énergie,*

*À tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.*

*MAROUA*

## *Dédicace*

*Tous d'abord, je remercie ALLAH de m'avoir donné courage et persévérance.*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents Boudjamaa et Akila que je remercie énormément pour leur sacrifice, leur soutien et leur encouragement durant toutes ces années.*

*Ma grand-mère Yamina,*

*Mes très chères sœurs Houđa et Maïssa,*

*Mes frères Hamza et Louai,*

*Mes tantes Razika, Fadila, et je remercie aussi ma tante Houria qui m'a aidé dans l'écrit,*

*Mon beau-frère Hamza,*

*Ma belle-sœur Loubna,*

*Mes amis, et surtout mon binôme Maroua,*

*Tous mes proches,*

*Ainsi qu'à tous ceux que j'aime.*

*Chahrazed*

## ملخص:

في صناعة المواد الهيدروكربونية، تولد عملية التنقيب مخلفات تمثل خطراً حقيقياً على البيئة لذا فإن إدارتها أمر لا مفر منه. تركز هذه الدراسة على تقييم الإدارة المتكاملة لمخلفات عملية التنقيب في ثلاث حفر MD1, MD2, MD3 على مستوى حقل حاسي مسعود. نتيجة لذلك؛ اعتمدت سوناطراك معالجة أولية (معالجة ميكانيكية) وأخرى ثانوية (معالجة بواسطة التثبيت / التصلب) لقصاصات الصخور المطلية بسوائل الحفر ذات قاعدة زيتية.

في هذه الدراسة تم تقييم فعالية المعالجة بواسطة "التثبيت / التصلب" لإزالة الهيدروكربونات والمعادن الثقيلة. من أجل ذلك، اعتمد هذا العمل على أخذ عينات من قصاصات الصخور قبل وبعد المعالجة في محطات العلاج الثلاثة. ركزت التحليلات التي أجريت بعد اختبار الترشيح على الرقم الهيدروجيني والكربون العضوي الإجمالي والمعادن الثقيلة (الكاديوم، الزئبق، الرصاص، النحاس، الكروم، النيكل، السيلينيوم، الزرنيخ، الزنك). أظهرت نتائج العينات الثلاثة بعد المعالجة أن محتويات المعادن الثقيلة والكربون العضوي الكلي في قصاصات الصخور أقل من المعيار الفرنسي AFNOR X31-210. من ناحية أخرى، تسمح مقارنة فعالية المعالجة بواسطة التثبيت / التصلب مع المعالجة الحرارية التي سبق استخدامها من قبل سوناطراك باستنتاج أنه سيكون من الأفضل الجمع بين الاثنين لتحسين الإنتاجية مع الحفاظ على البيئة.

**كلمات البحث:** التنقيب، قصاصات، التثبيت / التصلب، الهيدروكربونات، المعادن الثقيلة.

## **Abstract**

In the hydrocarbon industry, the drilling activity generates waste that represents a real danger for the environment and their management is unavoidable. The present study focuses on the evaluation of the integrated management of the borehole discharges of the three sloughs MD1, MD2 and MD3 at Hassi Messaoud field. SONATRACH has adopted a primary treatment (mechanical treatment) and a secondary treatment (stabilization / solidification treatment) of cuttings coated with oil-based sludge.

In this study, the effectiveness of the "stabilization/solidification" treatment for the elimination of hydrocarbons and heavy metals, was evaluated. To this end, this work relied on the collection of pre- and post-treatment samples from the three treatment units. The analyses, performed after a leaching test, focused on pH, oil content (OOC), total organic carbon (TOC) and heavy metals (Cd, Hg, Pb, Cu, Cr, Ni, Se, As, Zn). The results of the three post-treatment samples show that the levels of heavy metals and total organic carbon in the cuttings are below the French Afnor X 31-210 standard. On the other hand, the comparison of the stabilization /solidification efficiency method with that of the thermal treatment method, previously used by SONATRACH, concluded that it would be wise to combine the two while preserving the environment.

**Key words:** drilling, cuttings, stabilization / solidification, hydrocarbons, heavy metals.

## Table des matières

ملخص

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Abréviations

Introduction générale ..... 1

### Chapitre I : synthèse bibliographique

I.1. Description de l'activité de forage ..... 4

I.1.1 Forage ..... 4

I.1.1.1 Définition de forage ..... 4

I.1.1.2 Historique de forage ..... 4

I.1.1.3 Techniques de forage ..... 5

I.1.2 La boue du forage ..... 5

I.1.2.1 Définition de boue de forage ..... 5

I.1.2.2 Rôle de la boue de forage ..... 5

I.1.2.3 Types de boue de forage ..... 6

I.1.2.3.1 Boue de forage à base d'eau ..... 6

I.1.2.3.1.1 Boue bentonitique ..... 6

I.1.2.3.1.2 Boue saturée en sels ..... 7

I.1.2.3.2 Boue de forage à base d'huile ..... 7

I.1.2.3.2.1 Boues à émulsion directe ..... 7

I.1.2.3.2.2 Boues à émulsion inverses ..... 8

I.1.2.4 Circuit de la boue ..... 8

I.2. Quantification des rejets de forage ..... 9

I.2.1 Les types de rejets de forage ..... 9

I.2.1.1 Rejets solides ..... 9

I.2.1.2 Rejets liquides ..... 9

I.2.2 Importants polluants générés par les activités de forage ..... 10

I.2.2.1 Polluants actifs ..... 10

I.2.2.1.1 Les hydrocarbures ..... 10

I.2.2.1.2 Les métaux lourds ..... 11

I.2.2.1.3 Les sels ..... 11

I.2.2.2 Polluants inertes ..... 11

I.3. Cadre réglementaire ..... 11

I.3.1 Législation et normes algériennes .....	11
I.3.2 Normes internationales.....	12
I.4. Identification et classification des impacts de l'activité de forage .....	12
I.4.1 Identification des impacts de l'activité de forage .....	12
I.4.1.1 Impact négatif .....	12
I.4.1.1.1 Impact sur le sol.....	12
I.4.1.1.2 Impact sur les ressources en eau .....	13
I.4.1.1.2.1 Forages stratigraphiques .....	13
I.4.1.1.2.2 Génération des déblais de forage et boues .....	13
I.4.1.1.2.3 Génération de déchets .....	13
I.4.1.1.3 Impact sur la faune et la flore .....	14
I.4.1.1.4 Impact sur la qualité de l'air .....	15
I.4.1.1.5 Impact sonore (pollution sonore) .....	15
I.4.1.2 Les impacts positifs .....	15
I.4.2 Classement des impacts environnementaux .....	15
I.5. Mesures d'atténuation des impacts avérés.....	16
I.5.1 Les mesure d'atténuation prises par SONATRACH.....	16
I.5.2 Gestion des déchets sur les chantiers de forage .....	16
I.5.2.1 Procédé ON-LINE (Système Waste Management) .....	17
I.5.2.1.1 Objectifs du système waste management .....	17
I.5.2.1.2 Composants du « système waste management ».....	18
I.5.2.1.2.1 Séchage des déblais de forage .....	18
I.5.2.1.2.2 Le recyclage et la réutilisation des eaux .....	19
I.5.2.1.2.3 Waste ségrégation et pit liner .....	19
I.5.3 Les méthodes de traitement des déblais de forage.....	20
I.5.3.1 Traitement par Stabilisation et Solidification.....	20
I.5.3.1.1 Stabilisation.....	20
I.5.3.1.2 Solidification.....	20
I.5.3.1.3 Procédés de stabilisation et solidification .....	21
I.5.3.2 Traitement par Désorption Thermique .....	21
<b>Chapitre II : présentation de la zone d'étude</b>	
II.1. Description environnementale de la région de Hassi Messaoud.....	23
II.1.1 Situation géographique .....	23



II.1.2 Caractéristiques hydrogéologiques .....	23
II.1.3 Caractéristiques climatiques .....	24
II.1.3.1 Vent .....	24
II.1.3.2 Précipitation.....	25
II.1.3.3 Température.....	25
II.1.4 Milieu biologique .....	26
II.1.4.1 La faune .....	26
II.1.4.2 La flore .....	27
II.2. Présentation de la SONATRACH-Division forage (lieu du stage) .....	28

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

III.1. Localisation des puits.....	29
III.2. Méthodologie de travail.....	29
III.2.1 Les travaux sur chantier.....	29
III.2.1.1 Traitement online.....	29
III.2.1.2 Traitement offline .....	31
III.2.1.2.1 Méthode de distillation.....	32
III.2.1.2.1.1 Echantillonnage.....	32
III.2.1.2.1.2 Calendrier de prélèvement.....	32
III.2.1.2.1.3 Mode opératoire .....	32
III.2.1.2.1.4 Procédure de mesure du oil on cuttings (OCC%) .....	33
III.2.1.2.2 Détermination de la quantité des réactifs ajoutés .....	34
III.2.1.2.3 Description du procédé de stabilisation/solidification .....	34
III.2.2 Analyse au laboratoire.....	35
III.2.2.1 Mode de prélèvements .....	36
III.2.2.2 Préparation des échantillons .....	36
III.2.2.3 Analyse des métaux lourds .....	36
III.2.2.4 Mesure de carbone organique total .....	37
III.2.2.5 Mesure de pH .....	37

### **Chapitre IV : Matériel et méthodes**

IV.1. Résultats du pourcentage massique d'huile dans les déblais .....	38
IV.2. Présentation des résultats d'analyse de pH, métaux lourds et COT par la méthode de traitement stabilisation/solidification .....	40
IV.3. Analyse en composantes principales (ACP) des résultats.....	42
IV.3.1 Matrice des corrélations .....	42

IV.3.2 Corrélations entre les variables et les axes principaux de l'ACP .....	43
IV.3.3 Le cercle des corrélations .....	44
IV.3.4 Projection des bourbiers sur le plan principal .....	44
IV.4. Discussion des résultats .....	45
<b>Conclusion et perspectives</b> .....	<b>49</b>
<b>Références bibliographique</b> .....	<b>51</b>
<b>Annexes</b>	

## Liste des figures

<b>Figure 1</b>	Principe du forage rotary	5
<b>Figure 2</b>	Schéma du circuit de boues de forage	9
<b>Figure 3</b>	photo d'un bourbier	10
<b>Figure 4</b>	Infiltration des fluides de forage vers la nappe phréatique	14
<b>Figure 5</b>	la chute d'un chameau dans un bourbier (wet pit)	14
<b>Figure 6</b>	Hiérarchie de gestion environnementale des rejets de forage pétrolier	17
<b>Figure 7</b>	Les trois compartiments du Skimmer	19
<b>Figure 8</b>	Photo de l'unité de traitement stabilisation/solidification	20
<b>Figure 9</b>	Phénomène d'encapsulation	21
<b>Figure 10</b>	Procédé de traitement de désorption thermique	22
<b>Figure 11</b>	Situation géographique de HMD	23
<b>Figure 12</b>	Exemple de la végétation à HMD	27
<b>Figure 13</b>	<i>Fagonia microphylla</i>	27
<b>Figure 14</b>	<i>Oudneya africana</i>	27
<b>Figure 15</b>	Photo de <i>Cornulaca monacantha</i>	27
<b>Figure 16</b>	schéma synoptique de trois puits MD1, MD2 et MD3 à partir de la base 24 février	29
<b>Figure 17</b>	Bourbier water pit	30
<b>Figure 18</b>	Schéma représentatif de système wast management	31
<b>Figure 19</b>	Prélèvement des échantillons des déblais	32
<b>Figure 20</b>	Distillateur Fann	32
<b>Figure 21</b>	Les étapes de distillation des boues de déblais	33
<b>Figure 22</b>	Décharge des déblais sur la grille de trémie	34
<b>Figure 23</b>	Silo de ciment	34
<b>Figure 24</b>	Bac de silicate de sodium	34
<b>Figure 25</b>	Fosse des déblais après solidification	35
<b>Figure 26</b>	Bourbier pour le stockage des déblais traité	35
<b>Figure 27</b>	Déblais après traitement	35
<b>Figure 28</b>	Cercle de corrélations et projection des variables	44
<b>Figure 29</b>	Projection des bourbiers sur le plan principal	45

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b>	Classement des impacts environnementaux	15
<b>Tableau 2</b>	Mesures d'atténuation prises par SONATRACH	16
<b>Tableau 3</b>	Moyenne annuelle de la vitesse du vent pendant la période 2009-2018	24
<b>Tableau 4</b>	Les moyennes mensuelles de la vitesse maximale du vent pendant la période 2018-2019.	24
<b>Tableau 5</b>	Moyenne annuelle de précipitation pendant la période 2009-2018	25
<b>Tableau 6</b>	Moyenne mensuelle de précipitations pendant la période 2018-2019	25
<b>Tableau 7</b>	Moyenne annuelle de température pendant la période 2009-2018	25
<b>Tableau 8</b>	Moyenne mensuelle des températures pendant la période 2018-2019	26
<b>Tableau 9</b>	Calendrier de prélèvement des échantillons pour la distillation	32
<b>Tableau 10</b>	Calendrier des prélèvements des échantillons pour lixiviation	36
<b>Tableau 11</b>	Les valeurs limites des paramètres analysés	38
<b>Tableau 12</b>	Détermination de la teneur en huile par distillation sur trois échantillons de déblais avant traitement solidification/stabilisation.	39
<b>Tableau 13</b>	La quantité des réactifs ajoutés dans les trois unités de traitement	40
<b>Tableau 14</b>	Les résultats d'analyses des trois échantillons de bourbiers avant et après Traitement stabilisation/solidification	41
<b>Tableau 15</b>	Matrice des corrélations entre les paramètres physico-chimiques (pH, métaux lourds et carbone organique total) dans les trois puits	43
<b>Tableau 16</b>	Corrélations entre les variables et les axes principaux de l'ACP	43
<b>Tableau 17</b>	Résultats des analyses de trois échantillons avant et après traitement thermique	46
<b>Tableau 18</b>	Comparaison de performance entre les deux traitements « Stabilisation / solidification » et « désorption thermique »	47

## Abréviations

**AMT** : Activité Amont  
**API** : American Petroleum Institut  
**AS** : Arsenic  
**AVL** : Activité Aval  
**BaSO<sub>4</sub>** : Baryte  
**Cd** : Cadmium  
**CET** : Centre d'Enfouissement Technique  
**CI** : L'aquifère Continental Intercalaire  
**CIT** : Carbone Inorganique Total  
**CO** : Monoxyde de Carbone  
**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de Carbone  
**COM** : Activité Commercialisation  
**COT** : Carbone Organique Total  
**Cr** : Chrome total  
**CRD** : Centre de Recherche et Développement  
**CT** : L'aquifère du Complexe Terminal  
**CT** : Carbone Total  
**Cu** : Cuivre  
**EMEC** : Eguption Mud and Chemicals Engineering  
**ES** : Environmental Solutions  
**HAP** : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique  
**HDPE** : Membrane en PolyEthylène à Haute Densité  
**HPWBM** : Boues à Base d'Eau avec des Performances Elevées  
**HMD** : Hassi Messaoud  
**Hg** : Mercure  
**HSE** : Hygiène Sécurité Environnemental  
**ICP-MS** : Spectrométrie de masse à Plasma à Couplage Inductif  
**LGS** : Low gravity solids  
**MENA** : Middle East and North Africa  
**NaOH** : Soude caustique  
**Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>** : Carbonate de soude  
**Ni** : Nicke.  
**OBM** : Oil Based Mud (Boue à base d'huile)  
**OOC** : Oil On Cuttings (le pourcentage massique des huiles dans les déblais)  
**Pb** : Plomb  
**PED** : Petroleum Engineering and Development  
**Se** : Sélénium  
**S/S** : Stabilisation/Solidification  
**SHRVST** : SeaHarvest  
**TDU** : Unité de désorption thermique  
**TRC** : Activité Transport par Canalisations  
**WBM** : Water Based Mud (Boue à base d'eau)

# *Introduction générale*

## Introduction générale

La protection de l'environnement occupe une place importante dans les préoccupations prioritaires nationales et internationales. La santé humaine et la qualité des milieux naturels sont menacées par la quantité croissante des différents types de déchets solides, liquides et gazeux générés par les activités anthropiques.

Parmi les causes de la dégradation de l'environnement, la production d'énergie occupe une place des plus importantes. Les énergies fossiles, non renouvelables, sont connues pour leur impact négatif sur tous les milieux écologiques. Ils polluent aussi bien le compartiment atmosphérique, que le sol et les eaux. Pourtant le pétrole brut et le gaz naturel représentent la ressource énergétique mondiale par excellence et constituent la principale source de revenus pour de nombreux pays de même que leurs cours ont des impacts significatifs sur l'économie mondiale. Leur production nécessite comme toute ressource naturelle, au préalable, une phase d'exploration (Logbo, 2014).

En Algérie, la majorité de l'énergie consommée est une énergie d'origine fossile, fournie principalement, par l'industrie du pétrole. La production du pétrole, repose sur la réalisation d'ouvrages pétroliers via des techniques de forage permettant d'atteindre le combustible à l'état brut. L'industrie pétrolière de la région de Hassi Messaoud est très développée ce qui engendre des déchets industriels plus ou moins néfastes. Durant les opérations de forage et d'exploitation des unités de production et de raffinage, une quantité importante de rejets industriels solides et liquides sont générés. Ces rejets renferment des produits toxiques tels que les métaux lourds et les polluants organiques qui menacent aussi bien l'environnement abiotique et biotique avec un impact négatif sur les plantes, les animaux et la santé de l'Homme.

Dans ce cadre, justement, le groupe pétrolier public SONATRACH qui agit pour le compte de l'état investira à moyen terme 91 milliards de DA dans la prévention, la sécurité et la protection de l'environnement dont 120 millions de DA seront consacrés aux traitements des déchets industriels, liquides et détritiques de forages. L'autorité de régulation des hydrocarbures suit de près les études d'impact sur l'environnement et oblige les compagnies travaillant dans ce secteur à prendre les mesures préventives et à veiller à la gestion des risques environnementaux liés aux activités de forage. La question de la dégradation de l'environnement devient de plus en plus sensible en Algérie du fait de la pollution pétrolière dans certaines zones de production et d'exportation (Ouargla, ports pétroliers...) (SONATRACH, 2013).

Le forage est une opération exercée dans les sites pétroliers sur des puits pour l'extraction du pétrole et le gaz piégés dans des gisements à différentes profondeurs, vers les unités de surface

où l'ensemble subit des traitements, avant de procéder à leur commercialisation. Ces opérations de forage génèrent des quantités importantes de déblais entachés d'hydrocarbures et de métaux lourds provenant spécialement de la boue à huile utilisée dans la deuxième opération de forage (Guessoum et Neman, 2017). Ces déblais sont rejetés dans une crevasse spécialement préparée à cet effet appelée boubier. Le déversement de ces déchets polluants dans l'environnement engendre un risque majeur de contamination du milieu récepteur qui pourrait avoir des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement.

L'étude d'impact sur l'environnement prend en charge les aspects environnementaux à travers la mise en œuvre du plan de gestion environnementale. Généralement, les études d'impact sont régies par le décret exécutif 07-145 (JORADP N° 34, 2007). Depuis octobre 2008, l'approbation des études d'impact relevant du secteur hydrocarbures est régie par le décret exécutif 08-312 (JORADP N° 58, 2008).

Ce texte précise, entre autres, le contenu du plan de gestion environnementale qui doit obligatoirement couvrir les plans suivants :

- de prévention et de maîtrise des pollutions (fuites, déversements, décharges l'atmosphère, etc...) durant la phase de construction, la phase d'exploitation et la phase d'abandon ;
- d'intervention en cas de pollution ;
- de gestion des déchets ;
- de gestion des sites et sols contaminés ;
- de gestion des rejets liquides et gazeux ;
- un programme de surveillance et de suivi des impacts environnementaux ;
- d'utilisation optimale des ressources naturelles ;
- de gestion des produits chimique ;
- d'information et sensibilisation environnementale ;
- un programme d'audit environnemental ;
- et un programme d'abandon et de remise en état des lieux (Kechebar, 2014).

Pour cela, plusieurs techniques de traitement des déblais de forage sont utilisées par SONATRACH, à savoir le traitement mécanique, chimique et thermique. Le problème posé concernant le traitement des déblais et l'efficacité de ce dernier pour remédier aux éventuelles infiltrations des divers polluants dans le sol, majoritairement sableux, et le risque de contamination de la nappe phréatique par, essentiellement, les hydrocarbures et les métaux lourds.



Les objectifs de notre mémoire sont de prendre connaissance :

- des problèmes environnementaux engendrés par l'activité de forage à Hassi Messaoud ;
- de la gestion des déchets de forage pétrolier entreprise par SONATRACH ;
- de d'évaluer l'efficacité d'une méthode de traitement des déblais de forage, en l'occurrence la technique de stabilisation /solidification.

Ces objectifs sont développés dans ce manuscrit composé de quatre chapitres. Dans le premier chapitre, composé d'une « synthèse bibliographique » relative à une description sur les activités de forage, leurs impacts sur l'environnement, la gestion de ces rejets, les différentes méthodes de traitement utilisées à SONATRACH, et le cadre réglementaire encadrant cette activité. Le deuxième chapitre est consacré à la description de la zone d'étude sise au champ de Hassi Messaoud. Le troisième chapitre intitulé « Matériel et méthodes » décrit la méthodologie de travail sur chantier, le prélèvement et la préparation des échantillons et leur analyse au laboratoire. Le quatrième chapitre intitulé « Résultats et discussion » résume les résultats relatifs au pourcentage massique d'huile dans les déblais, le pH, les teneurs des métaux lourds et carbone organique totale (COT) avant et après traitement de stabilisation/ solidification. Puis l'efficacité de cette technique est comparée à celle de la désorption thermique mise en œuvre auparavant par l'entreprise. Enfin, une conclusion générale et des perspectives clôturent ce travail, rarement entrepris auparavant dans le cadre d'un mémoire de fin de cycle d'un master.

***Chapitre I :***

***Synthèse bibliographique***

## **I.1. Description de l'activité de forage :**

Dans le cadre de la réalisation de notre mémoire de fin d'étude master 2, nous avons bénéficié d'un stage à SONATRACH Hassi Messaoud dont l'activité principale est repose sur l'extraction de pétrole qui se fait par le biais de forage.

### **I.1.1 Forage :**

#### **I.1.1.1 Définition de forage :**

On appelle "forage pétrolier" l'ensemble des opérations permettant d'atteindre les roches poreuses et perméables du sous-sol, susceptibles de contenir des hydrocarbures liquides ou gazeux. L'implantation d'un forage pétrolier est décidée à la suite des études géologiques et géophysiques effectuées sur un bassin sédimentaire, ce qui permet d'avoir une idée de la constitution de sous-sol et des possibilités de gisements (voir annexe 1), 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 (Brigant et Leblond, 2019).

Il existe deux types de forage : les forages de développement et les forages d'exploration ;

- les forages d'exploration incluent les opérations de forage permettant de déterminer la présence potentielle ou non d'un gisement d'hydrocarbures ;
- les forages de développement consistent en des opérations de forage une fois qu'un gisement d'hydrocarbure a été découvert et délimité (EPA, 2000).

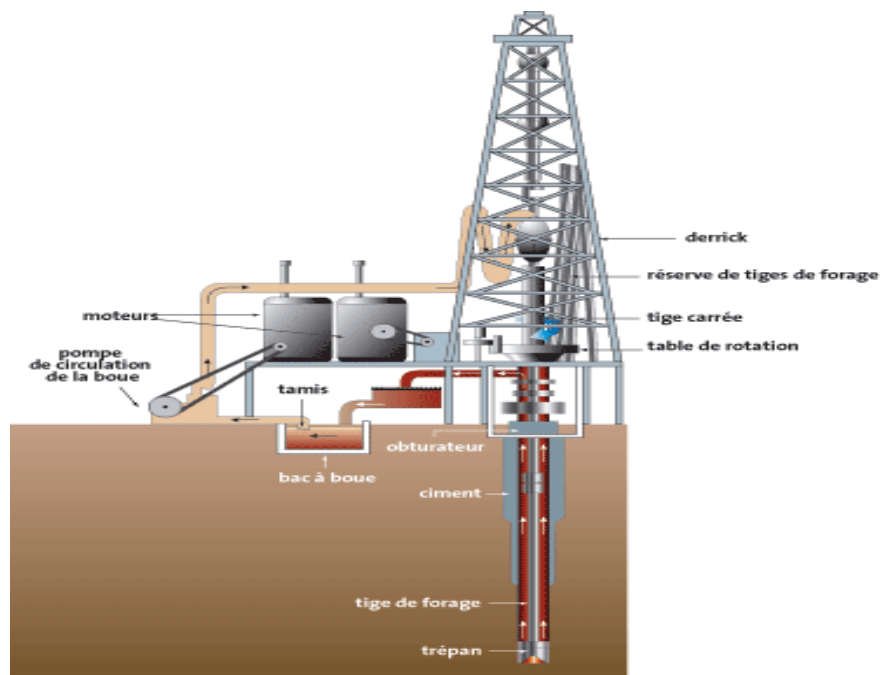
#### **I.1.1.2 Historique de forage :**

En aout 1859, le colonel DARKE fora son premier puits de pétrole, à vingt-trois mètres de profondeur près de Titusville en Pennsylvanie (U.S.A). Il employa le système de forage par battage au câble qui utilise, pour attaquer le terrain, l'impact d'un lourd trépan suspendu au bout d'un câble qui lui transmet, depuis la surface, un mouvement alternatif créé par un balancier (Ezran, 2010). Lorsque les foreurs avaient affaire à d'autres régions ou ils découvrirent des terrains plus difficiles, le procédé de forage rotary a été utilisé. Les premiers essais de cette technique semblent avoir été faits sur le champ de Corsicana (Texas) au début du siècle dernier. La nouvelle méthode s'est développée de manière fulgurante à partir de 1901, date à laquelle un certain J.F. Lucas découvrit le champ de Spindletop près de Beaumont (Texas) au moyen d'un appareil rotary (Akowanou, 2009).

### I.1.1.3 Techniques de forage :

- **Le forage rotary :**

Selon Rojey et al. (1994), la technique de forage la plus répandue est de type Rotary (fig.1). Elle consiste à entrainer en rotation un outil de forage au moyen de tiges en acier constituées de tubes vissés les uns après les autres au fur et à mesure que le système descend dans le puits. Le dernier élément est constitué par une tige carrée s'emboîtant au niveau de la plate-forme sur la table de rotation qui entraine l'ensemble des tiges. De nouvelles tiges sont mises en place par palan, actionnées par un treuil et supportées par une charpente métallique, le mât de forage ou le « derrick ».



**Figure 1 :** Principe du forage rotary (Géothermie-perspective, 2013)

### I.1.2 La boue du forage :

#### I.1.2.1 Définition de boue de forage :

D'après Khodja (2008), la boue de forage, appelé aussi fluide de forage, est un mélange 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, ...).

#### I.1.2.2 Rôle de la boue de forage :

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

- Assurer la remontée des déblais du fond du puits jusqu' à la surface par la circulation d'un fluide visqueux dans l'espace annulaire (nettoyage du puits).
- Maintenir les déblais en suspension lors d'un arrêt de circulation dans le but d'empêcher la sédimentation des déblais afin de redémarrer le forage sans coincement grâce à la nature rhéologique du fluide.
- Refroidir et lubrifier l'outil pour éviter l'usure rapide des pièces métalliques en mouvement.
- Maintenir les parois du puits en raison de la pression hydrostatique exercée par le fluide en écoulement et permettre de contrôler la venue des fluides des formations rocheuses traversées. Du fait de cette différence de pression, le fluide va "filtrer" dans les formations perméables et déposer un film sur la paroi appelé "cake de filtration".
- Augmenter la vitesse de pénétration de l'outil.
- Assurer la prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile.
- Fournir des renseignements sur le sondage (Garcia et Parigot, 1968 ; Metaiche, 2013).

### **I.1.2.3 Types de boue de forage :**

Il existe plusieurs types de boues de forage qui peuvent être regroupés et classés en deux catégories principales :

#### **I.1.2.3.1 Boue de forage à base d'eau :**

Ces boues sont souvent désignées par "Water Based Muds" ou WBM. Ce sont des boues dont la phase continue est l'eau et elles sont généralement utilisées dans la première phase du forage.

##### **I.1.2.3.1.1 Boue bentonitique :**

Les boues bentonitiques sont principalement constituées d'eau, d'argiles et des produits chimiques additifs. Ces boues, dont la teneur en NaCl ne dépasse pas quelques g/l, sont dites douces.

- **L'eau de fabrication** : les eaux du mélange utilisées sont des eaux douces. En effet une eau dure diminuerait le rendement des argiles et des produits chimiques additifs employés pour augmenter la viscosité (Garcia et Parigot, 1968).
- **Les argiles** : dans ce type de boue, les argiles sont utilisées pour augmenter la viscosité des boues et diminuer leur filtrat. Les plus couramment utilisées sont connues sous le nom de « bentonites » (Martin, 1970).
- **Les additifs utilisés** :
  - **la soude caustique** (NaOH) : la soude est employée pour accroître le rendement des

argiles et augmenter le pH.

- **le carbonate de soude ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )** : le carbonate de soude est employé pour accroître le rendement des argiles et précipiter le calcium.

#### I.1.2.3.1.2 Boue saturée en sels :

Ces boues sont utilisées pour la traversée des zones salifères afin d'éviter le cavage. Elles sont constituées d'eau, de sel (généralement NaCl), de colloïdes argileux (attapulgite), de colloïdes organiques (amidon) et de barytine. La teneur en NaCl de ces boues est de quelques dizaines de grammes par litre.

- **L'eau de fabrication** ou eau du mélange est saturée en sel dont la minéralisation est de 7 à 35 g/l. Lorsque la saturation est obtenue la salinité de l'eau sera comprise entre 350 et 360 g/l en NaCl.
- **Colloïdes organiques ou amidon** est ajouté dans les boues salées pour réduire le filtrat. Son emploi exige cependant que l'une de ces trois conditions soit satisfaite : pH > 12, présence antifermant, salinité supérieure à 200/250 g/l.
- **La barytine ou sulfate de baryum** est l'alourdissant le plus couramment utilisé. La barytine, plus communément appelée baryte ( $\text{BaSO}_4$ ), est employée pour augmenter la densité.
- **Colloïdes argileux ou attapulgites** présentent la propriété de gonfler et de rester en suspension en milieu salé. Cette propriété est employée pour augmenter la viscosité des boues salées. Cependant, ces argiles ne présentent aucune capacité à réduire le filtrat (Pantet et al., 2000 ; Garcia et Parigot, 1968).

#### I.1.2.3.2 Boue de forage à base d'huile :

Ces boues sont souvent désignées par "oil Based Muds" ou OBM. Ce sont des boues dans la phase continue est de l'huile (pétrole, fuel, huile minéral, gazole...) et la phase dispersée est de l'eau.

A une profondeur de 536 m et 4047 m, le forage se fait à l'aide de boues à base huileuse (OBM). Le borbier des OBM est imperméabilisé. La boue huileuse est la plus utilisée dans le champ de Hassi Messaoud, pour les raisons suivantes : elle n'est pas réactive avec les roches rencontrées et elle réduit le frottement de la garniture avec les parois du puits. Il en existe deux types :

##### I.1.2.3.2.1 Boues à émulsion directe : constituées des principaux éléments distincts suivants :

- l'huile (gasoil) : 95 à 98% ;

- l'eau : 2 à 5% ; permet d'adapter les caractéristiques générales de la boue et elle est émulsionnée ;
- les additifs (les colloïdes organiques et les produits solubles) pour réduire le filtrat ;
- les solides inertes (sable, calcaires, barytine) pour augmenter la densité.

**I.1.2.3.2 Boues à émulsion inverses :** Ce sont des boues de forage constituées d'une phase continue de l'huile et d'une phase aqueuse émulsionnée. Les principales composantes de cette boue sont :

- gaz oïl : 80 à 30% ;
- eau : 20 à 70% ;
- NaCl, émulsifiant, viscosifiant (comme les argiles), agent de contrôle, chaux (Baba Hamed, 2010 ; Pantet et al., 2000).

#### **I.1.2.4 Circuit de la boue :**

La figure 2 schématise le circuit de boue de forage selon les étapes suivantes :

- la boue est mélangée et conservée dans le bassin de décantation ;
- une pompe achemine la boue dans la tige de forage qui descend jusqu'au fond du puits ;
- la boue sort de l'extrémité de la tige de forage et tombe au fond du puits où le trépan est en train de forer la formation rocheuse ;
- la boue emprunte ensuite le chemin inverse en remontant à la surface les morceaux de roche, appelés déblais, qui ont été arrachés par le trépan ;
- la boue remonte dans l'espace annulaire, entre la tige de forage et les parois du puits. Le diamètre type d'une tige de forage est d'environ 10 centimètres (4 pouces). Au bas d'un puits profond, ce dernier peut mesurer 20 centimètres (8 pouces) de diamètre (Logbo, 2014) ;
- à la surface, la boue circule dans la conduite d'aspiration de la boue soit une tige qui mène au tamis vibrant ;
- les tamis vibrants se composent d'un ensemble de toiles métalliques vibrantes servant à séparer la boue des déblais. La boue s'égoutte dans les toiles et est renvoyée vers le bassin de décantation ;
- un traitement plus élaboré est effectué par un ensemble d'équipements d'épuration mécanique ;
- les déblais de la roche glissent le long de la glissière du tamis pour être rejetés. En fonction des impératifs environnementaux, notamment, ils peuvent être lavés avant leur rejet. Une partie des déblais est prélevée pour être examinée par des géologues afin

d'étudier les propriétés des roches souterraines présentes au fond du puits (Bouhadda, 2013).

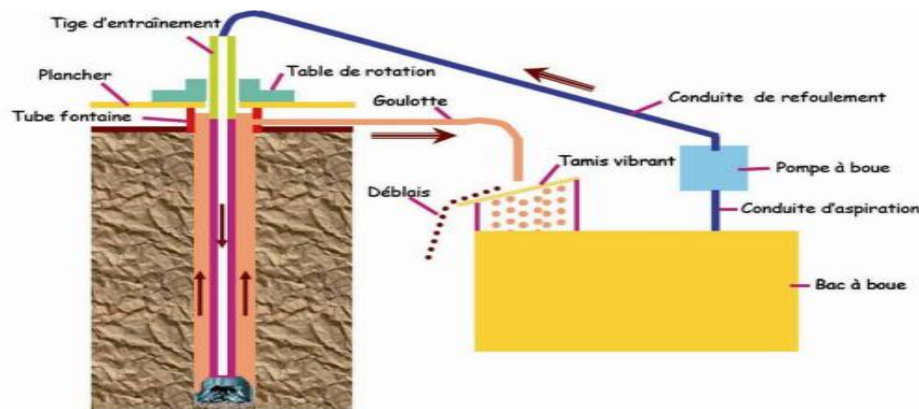


Figure 2 : Schéma du circuit de boues de forage (Scribd, 2010)

## I.2. Quantification des rejets de forage :

### I.2.1 Les types de rejets de forage :

Les rejets inhérents à l'opération de forage pétrolier sont de deux natures :

**I.2.1.1 Rejets solides :** Ils correspondent aux déblais de forage enrobés par de quantités considérables de fluides de forage et aux rejets résultant des processus de centrifugation (Bellatache, 2013).

**I.2.1.2 Rejets liquides :** ce sont :

- les eaux usées de nettoyage déversées dans des excavations réalisées à cet effet et qui sont appelées dans le jargon du métier : borbier ;
- les fluides enrobant les déblais de forage ;
- les déversements accidentels de fluides de forage (Bellatache, 2013).

➤ **Définition de Déblais :**

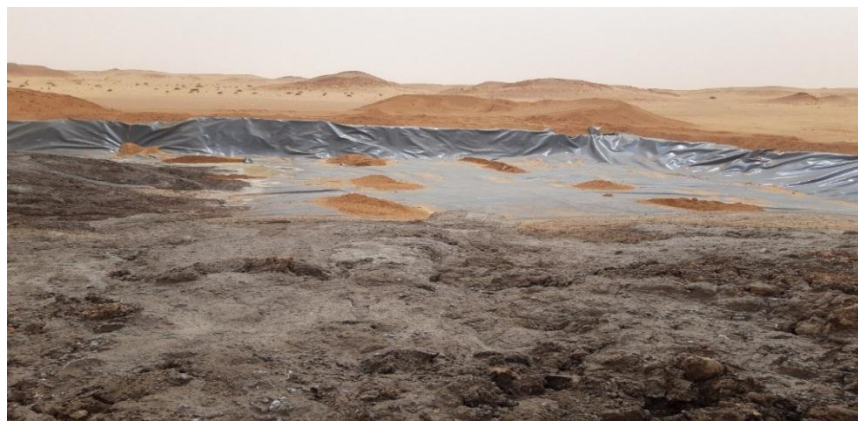
Les déblais de forage sont de petits morceaux de roche qui sont éjectés par l'action d'outil au fond du puits. La plupart des outils travaillent la roche par grattage ou broyage rotatif. Les déblais de forage sont amenés à la surface, entraînés par les boues de forage, et en surface sont traités pour séparer les boues des déblais. La boue est réutilisée tandis que les déblais sont déchargés et récupérés pour être traités (normalement par solidification/stabilisation ou désorption thermique), sauf pour les premières phases du forage, quand la boue à base d'eau « WBM » et les déblais sont déchargés dans le



bourbier directement (Etude d'impact environnemental et social des activités de forage de l'AL-2 Gassi Chergui).

➤ **Définition de bourbier :**

Un bourbier est une dépression de terrain ou une grande fosse d'une profondeur de 3 m remplie de boue, semblable aux CET de stockage (fig.3). Dans le domaine de l'exploitation pétrolière, une panoplie de 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 (tels que le gazole) constituants majeurs 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 aussi sont généralement stockés dans des bourbiers (Khodja, 2008).



**Figure 3 :** photo d'un bourbier (Chouaoua & Idami, le 05/04/2019)

## **I.2.2 Importants polluants générés par les activités de forage :**

Selon Cherifi (2006), On classe les polluants engendrés par les chantiers pétroliers en deux grandes catégories : les polluants actifs et les polluants inertes.

### **I.2.2.1 Polluants actifs :**

Ils sont appelés ainsi, en raison de leurs propriétés physico-chimiques qui leur confèrent un caractère polluant direct préjudiciable à l'environnement. Les principaux contaminants susceptibles d'être rencontrés sont :

**I.2.2.1.1 Les hydrocarbures (les huiles et les gazoles) :** qui rentrent dans la composition des boues de forage. Quand une formation traversée contient des hydrocarbures, la boue de forage se

trouve contaminée par l'huile de la formation. L'huile de certaines formations est un composant indésirable car il contamine les déblais.

**I.2.2.1.2 Les métaux lourds :** Les métaux lourds contenus dans les boues et les déblais peuvent se mélanger avec les fluides de forage selon deux cas :

- Les formations forées contiennent l'arsenic, le baryum, le cadmium, le chrome, le plomb et le mercure.
- Les additifs des fluides de forage contiennent du baryum qui vient des agents alourdisant, de la baryte et du chrome qui vient des défloculants chrome-lignosulfonate. La baryte minérale, utilisée pour le contrôle de la densité, peut avoir de grandes quantités naturelles de cadmium et de mercure.

**I.2.2.1.3 Les sels :**

La concentration des sels, comme le chlorure de sodium ou de potassium dans les fluides de forage peut aussi considérablement augmenter, spécialement quand les puits forés traversent des dômes de sel ou des formations contenant de l'eau très salée.

**I.2.2.2 Polluants inertes :**

Ce sont les outils usés abandonnés avec des effets à long terme vu leur dégradation très lente dans le temps ou quasi nulle.

**I.3. Cadre réglementaire**

**I.3.1 Législation et normes algériennes :**

En Algérie, les pouvoirs publics ont promulgué plusieurs textes et règlements en matière de protection de l'environnement et dont certains sont cités ci-dessous :

- la loi n° 01-19 du 12 Décembre 2001, régleme la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets (JORADP, 2001).
- la loi n° 03-10 du 19 Juillet 2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable (JORADP, 2003).
- le décret exécutif n° 04-88 du 22 Mars 2004, porte sur la réglementation de l'activité de traitement et de régénération des huiles usagées (JORADP ,2004).
- la loi n° 05-12 du 04 août 2005, relative à l'eau, fixe les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement des ressources en eau (JORADP, 2005).

- le décret exécutif n° 06-02 du 07 Janvier 2006, définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique (JORADP, 2006).
- Le décret exécutif n° 06-104 du 29 Muharram 1427 correspondant au 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux (JORADP, 2006).
- le décret exécutif n° 06-141 du 19 Avril 2006, définie les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels (JORADP, 2006).

### **I.3.2 Normes internationales :**

Il est évident qu'il n'existe aucune législation environnementale liée spécifiquement aux activités d'exploration et de production pétrolières en Algérie (telle que le pourcentage d'huile sur des déblais). Quelques législations existent mais ne sont pas appropriées à ce genre d'activité. Par conséquent, certaines normes internationales spécifiques à la protection de l'environnement comme la protection des eaux et la gestion des déchets ont été adoptées par SONATRACH. L'arrêté du 18/12/1992, agissant en tant que norme européenne, publié au Journal officiel de la République Française le 30/03/1993, est la norme suivie par SONATRACH, pour le traitement des déblais de forage. Cet arrêté définit les paramètres qui devraient être analysés et leurs limites maximales à ne pas dépasser pour que les déblais puissent être rejetés dans la nature. En cas de non-respect de ces valeurs il convient de traiter ces déblais avant leur rejet.

## **I.4. Identification et classification des impacts de l'activité de forage :**

### **I.4.1 Identification des impacts de l'activité de forage :**

#### **I.4.1.1 Impact négatif :**

Toute activité génère des rejets qui ont des impacts plus ou moins importants sur les écosystèmes affectés, en liaison directe avec essentiellement leurs volumes et leurs toxicités.

##### **I.4.1.1.1 Impact sur le sol :**

Le risque de contamination du sol, spécialement par les fluides de forage est très haut. Ceci peut engendrer un changement des caractéristiques physico-chimiques du sol car les sols du désert sont fragiles et leur capacité à se réhabiliter est très faible. Les températures élevées, le manque de végétation et de précipitations aggravent le problème.

Les sources des impacts sont :

- la préparation de l'emplacement, et l'utilisation des véhicules et la machinerie lourde ;
- la génération des déblais de forage et boue et la génération de déchets (Bentriou, 2015).

**I.4.1.1.2 Impact sur les ressources en eau :****I.4.1.1.2.1 Forages stratigraphiques :**

Les eaux souterraines sont la base de toute activité dans un environnement désertique. Les eaux souterraines sont aussi utilisées dans les activités de forage. Les sources de contamination potentielles des activités de forage sont surtout les fuites de lubrifiants et combustibles et l'infiltration des boues par les parois du puits. Le potentiel de contamination de l'aquifère, par intrusion directe et infiltration dans les borbiers et fuites, existe également. La contamination de l'aquifère est un impact considérable, car une fois la nappe affectée, l'eau qu'elle contient devient inutilisable pendant longtemps. Par contre, en fonction de la superficie qu'occupe la nappe dans le sous-sol, si l'effet de la pollution est localisé et minime, le pouvoir auto-épurateur de la nappe pourrait être suffisant pour éliminer de petites quantités de polluants (Bentriou, 2015).

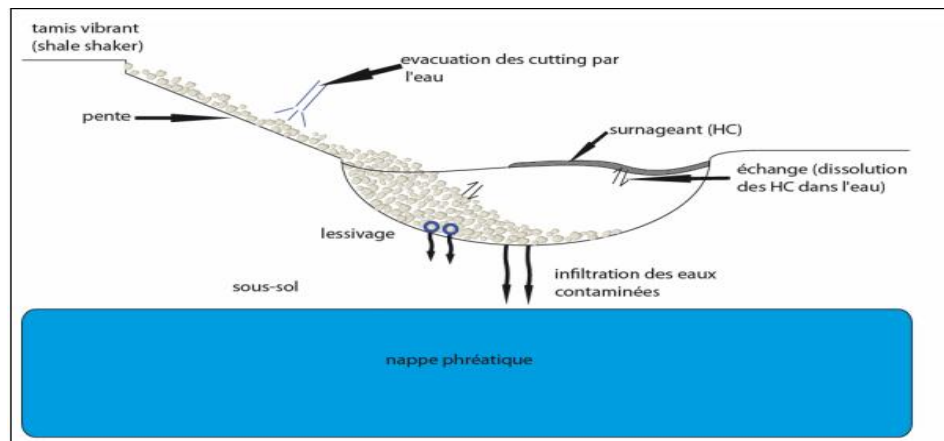
**I.4.1.1.2.2 Génération des déblais de forage et boues :**

Les déblais de forage sont déchargés avec de la boue de forage dans un borbier. Dans un premier temps, il y aura une sédimentation des déblais de forage ; si le temps de séjour des déblais et boues dans le borbier est important, des lixiviats se forment. Ces derniers, ainsi que d'autres sous-produits huileux peuvent s'infiltrer à travers le film plastique, si ce dernier n'est pas très efficace. En effet, le borbier servant à contenir les déchets de forage (boues et déblais) est imperméabilisé grâce à un film plastique spécial. Cependant ce film peut être endommagé soit par la charge des déchets ou par un événement accidentel (feu, explosion . . . etc.).

Les déchets de forage, sont très chargés en hydrocarbures et huiles ; si ces polluants parviennent à s'infiltrer dans la nappe phréatique, les conséquences en seront très graves (ERM, 2007 ; SONATRACH-division exploration, 2013).

**I.4.1.1.2.3 Génération de déchets :**

Les déchets liquides constituent un danger dont l'impact est considérable sur la qualité des eaux souterraines en cas d'infiltration (fig. 4). Les caractéristiques et l'extension de la contamination dépendraient des quantités et des types de déchets présents puis de la dynamique de l'aquifère. En cas d'infiltration, les eaux souterraines seront polluées par une multitude de bactéries, microbes et autres polluants tels que les métaux lourds, les huiles, etc. (SONATRACH-division exploration, 2013).



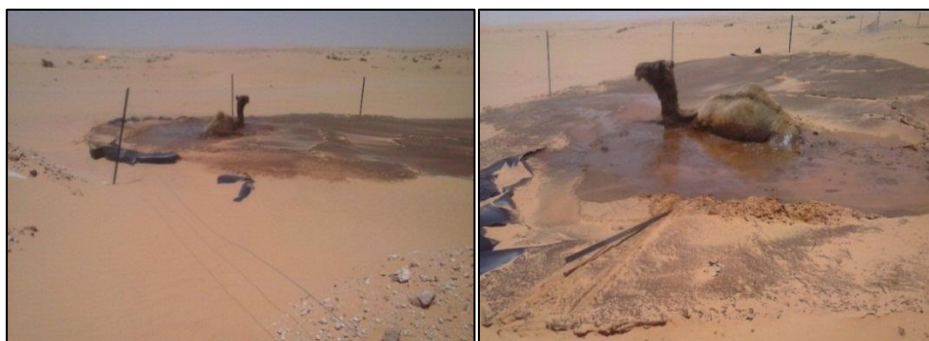
**Figure 4 :** Infiltration des fluides de forage vers la nappe phréatique (SONATRACH-Division Forage, 2011)

#### I.4.1.1.3 Impact sur la faune et la flore :

En général dans le désert les plantes ont des systèmes de racines très larges et elles poussent très lentement. Les dommages sur les plantes (soit aux plantes elles-mêmes, soit à leurs racines) sont souvent irréversibles ou alors elles mettent du temps à se régénérer.

Les impacts sur la faune proviennent des impacts sur la végétation, étant donné que celle-ci fournit de la nourriture, de l'ombre et de la protection. La faune dépend directement de la végétation dans un environnement désertique, et des perturbations à cette végétation peuvent représenter un effet négatif indirect sur la faune locale. Les insectes, reptiles, mammifères et rongeurs utilisent la végétation pour leur protection et leurs besoins en eau et certains comme seule source de nourriture.

Le borbier peut aussi représenter un danger pour les animaux, car en effet, après avoir fini le forage du puits et l'avoir mis en production, l'appareil de forage est démonté et évacué et le borbier qui reste en attente d'être traité, constitue un véritable piège pour les animaux (fig. 5) (ERM, 2007).



**Figure 5 :** la chute d'un chameau dans un borbier (wet pit) (Kadri, 2018)

#### **I.4.1.1.4 Impact sur la qualité de l'air :**

La source principale d'impact sur la qualité de l'air de ces activités est l'émission de particules et de poussière et autres polluants atmosphériques (CO<sub>2</sub>, CO, ..... ) (Boudjemaa, 2008).

#### **I.4.1.1.5 Impact sonore (pollution sonore) :**

Les activités de forage génèrent du bruit environnemental produit par plusieurs sources pendant le projet. Les sources sonores les plus significatives sont les suivantes :

- utilisation des véhicules et machineries lourdes ;
- forage (carottage sismique et forage stratigraphique) ;
- génération de l'électricité sismique (Boudjemaa, 2008).

#### **I.4.1.2 Les impacts positifs :**

Selon Kouadri. (1996) et après une communication orale avec M. Kadri, Nous avons relevés un seul impact positif lié à l'aspect socioéconomique. L'économie locale tirera des bénéfices des activités de forage dans la région de Hassi Messaoud. Durant le forage du puits, le nombre de personnes employées est estimé 130 intervenants et les activités de préparation du site nécessite le recrutement de 30 et 40 personnes. Le type d'employé inclura des expatriés et des algériens. Le projet aura un effet temporaire positif à l'économie de la région.

#### **I.4.2 Classement des impacts environnementaux :**

Le plus grand impact de l'activité de forage et celui du déblai de forage contenant des résidus de boue (bourbier), caractérisé par un risque majeur. Donc les rejets présents dans le bourbier générés par le forage présentent un risque potentiel pour la santé humaine et l'écosystème. En deuxième position arrivent les émissions atmosphériques, les travaux de terrassement et le trafic routier, caractérisés par un risque modéré.

**Tableau 1 :** Classement des impacts environnementaux prise par SONATRACH

<b>N° d'impact</b>	<b>Source d'impact</b>	<b>Catégorie du risque</b>
<b>1</b>	Effluents liquides et Déchets solides	Majeur
<b>2</b>	Emissions atmosphériques	Modéré
<b>3</b>	Eaux usées industrielles, carrières	Mineur
<b>4</b>	Déversement accidentel, bruit et vibrations	Négligeable
<b>5</b>	l'économie locale	Impact positif

Les autres sources d'impact caractérisés par un risque soit mineur soit négligeable, soit insignifiant, sont jugés acceptables. Pour les impacts positifs on a relevé un seul lié à l'économie locale.

### I.5. Mesures d'atténuation des impacts avérés :

Les activités de forage pétrolier génèrent des rejets liquides et solides, engendrant potentiellement une pollution superficielle, souterraine et même atmosphérique.

**I.5.1 Les mesure d'atténuation prises par SONATRACH :** Les mesures d'atténuation des impacts environnementaux de l'activité de forage sont présentées dans le tableau suivant :

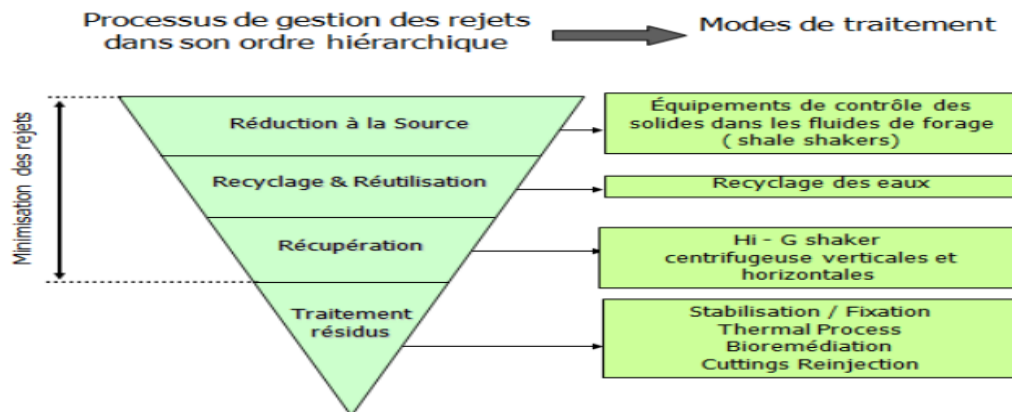
**Tableau 2 :** Mesures d'atténuation prises par SONATRACH

Source de pollution	Impacts potentiels	Mesure d'atténuation
Déblais de forage.	Contamination du sol et des aquifères.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imperméabilisation du bournier.</li> <li>• traitement des déblais par solidification /stabilisation. ou par désorption thermique.</li> </ul>
Boue	Sol, sous-sol, aquifères, personnels, matériel.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Récupération, recyclage et traitement online et offline.</li> </ul>
Déchet solides spéciaux.	Sol, pollution du paysage.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Récupération et séparation des déchets et acheminement vers un lieu de stockage approprié.</li> </ul>
Déversement de produit chimique divers (les additifs de forage).	Contamination du sol et des acquières et des habitants.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aménagement d'aire de stockage spécifique des produits chimiques.</li> </ul>
Fuite du carburant et d'huiles de lubrifiants pour moteurs	Contamination du sol et des acquières	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etanchement des engins et véhicules.</li> <li>• protection du sol par des films en plastique dans les endroits concernés.</li> </ul>

### I.5.2 Gestion des déchets sur les chantiers de forage :

Le traitement des déblais et des boues usées de forage est l'étape la plus délicate et la plus importante au regard des volumes de ces rejets qui constituent l'impact environnemental négatif le plus significatif. Dans le but de prendre en charge les rejets inhérents à l'activité de forage, l'industrie pétrolière a su développer un concept fondamental qui est celui de «la gestion des rejets». Selon ce concept, le recours au traitement n'est qu'une phase dans un processus agissant d'abord à la source. Ainsi, il est d'abord question de réduire à la source, recycler, réutiliser et traiter. Le résidu du traitement doit aussi être pris en charge via la revalorisation, l'enfouissement et le stockage (fig. 6) (Dada, 2011).





**Figure 6 :** Hiérarchie de gestion environnementale des rejets de forage pétrolier (SONATRACH-Division Forage, 2011)

Pour ce qui est du traitement, deux modes distincts sont adoptés :

- un prétraitement ou traitement on line : Gestion des rejets de forage en mode on-line Système Waste Management.
- un traitement off line : Traitement des rejets de forage en mode offline.

#### **I.5.2.1 Procédé ON-LINE (Système Waste Management) :**

Selon Ghazi et al. (2011), Le système on-line est un schéma de gestion intégrée des rejets de forage en cours de la construction du puits soit un traitement mécanique durant le forage.

Depuis l'intégration du Système Waste Management, les bourniers conventionnels ont été remplacés par trois compartiments en plus, des modifications ont été apportées à la plate-forme de forage. Au niveau de cette dernière se trouve des rigoles qui permettent de collecter les eaux usées et de les acheminer vers le corral qui est relié au « water pit » par une excavation creusée. Durant les phases forées par la boue à base d'eau « WBM », le déplacement des déblais provenant des tamis vibrants se fait par gravité. A la fin du forage de la section « WBM », l'excavation sera fermée pour éviter la contamination du « water pit » par la boue à base d'huile « OBM ». Avant d'entamer le forage avec une boue à base d'huile ou « OBM », tous les équipements « waste management » doivent être montés et testés. Les deux vis convoyeuses « Auger » sont installées respectivement en dessous des tamis vibrants pour collecter et transporter les déblais vers la troisième vis convoyeuse qui achemine les déblais vers le « dryer » ou séchoir.

##### **I.5.2.1.1 Objectifs du système waste management :**

Ce procédé a pour objectifs :



1. la réduction de pourcentage des huiles sur les déblais en aval du « Drying process » qui est  $\leq 5\%$  ;
2. la récupération des volumes de fluide de forage ainsi extraits ;
3. l'optimisation de la consommation de l'eau industrielle ;
4. l'étanchéité des compartiments du bournier (dry pit et wet pit) par une membrane en PolyEthylène à Haute Densité (HDPE) (Bellatache, 2013).

#### **I.5.2.1.2 Composants du « système waste management » :**

Il se compose de trois parties majeures :

- drying process (séchage des déblais de forage) (Ghazi et al., 2011);
- le recyclage et la réutilisation des eaux ;
- waste ségrégation et pit liner (SONATRACH-Division Forage, 2011).

##### **I.5.2.1.2.1 Séchage des déblais de forage :**

Les équipements utilisés pour cette prestation sont :

- les tamis vibrants : qui permettent de séparer les grandes particules solides se trouvant dans la boue sortante du puits, des petites particules. Ils sont le premier appareil de traitement des solides. Il peut évacuer jusqu'à 50 % de Solides avec des tamis de 100 mesh ;
- le « dryer » ou centrifugeuse verticale permet d'essorer les déblais et de réduire la teneur en huile dans les déblais de 30-35% à moins de 5% ;
- la centrifugeuse horizontale. Les centrifugeuses actuelles permettent d'éliminer les solides ayant une taille  $> 4 \mu\text{m}$ .

##### **• Description du procédé :**

L'épuration mécanique de la boue de forage génère des solides enrobés d'huile dont le pourcentage en aval des tamis vibrants sur les différents puits de forage est estimé de 40% à 50%. La fraction solide séparée à partir des tamis vibrants est acheminée vers le dryer à l'aide des vis convoyeuses. Les déblais sont séparés de l'huile grâce à une vitesse différentielle élevée qui permet d'avoir des déblais à l'état sec (dry cuttings) à la sortie de dryer ; ensuite ils sont acheminés vers le dry pit par un retro chargeur. Le pourcentage d'huile sur les déblais, en aval de ce processus, doit être  $\leq 5\%$ . La boue récupérée en aval du processus est envoyée vers la centrifugeuse horizontale à haute-vitesse pour éliminer les solides dont le diamètre est compris entre 3 et 5  $\mu\text{m}$ . Elle est ensuite réinjectée dans le circuit de la boue. Les low gravity solids (LGS) provenant de la centrifugeuse horizontale sont rejetés dans le wet pit (Chergui, 2014 ; Ghazi et al., 2011).

### I.5.2.1.2.2 Le recyclage et la réutilisation des eaux :

Suite à une communication orale avec M. Cherifi, les équipements utilisés sur site pour le recyclage et la réutilisation de l'eau sont :

- le skimmer tank divisé en trois compartiments ;
- la pompe diaphragme ;
- le débitmètre ;
- la pompe de transfert.

- **Description du procédé :**

L'eau usée est récupérée depuis le corral à l'aide de la pompe diaphragme, puis transférée vers le skimmer (fig. 7), où la séparation des phases s'effectue par le phénomène de décantation mécanique. À la fin, on obtient :

- des solides décantés dans le premier compartiment ;
- de l'huile emprisonnée dans le deuxième compartiment,
- de l'eau claire dans le troisième compartiment pour réutilisation (arrosage plateforme, nettoyage, etc.).



**Figure 7 :** Les trois compartiments du Skimmer. (Chouaoua & Idami le 7/4/2019)

### I.5.2.1.2.3 Waste ségrégation et pit liner :

La récupération des rejets de forage se fait dans une grande excavation, compartimentée en trois borbiers :

- water pit : destiné pour les rejets issus du forage par une boue à base d'eau ;
- wet pit : destiné pour les rejets issus du forage par une boue à base d'huile (wet cuttings) ;
- dry pit : stockage de déblais traités par dryer.

Les deux borbiers « dry pit et le wet pit » doivent être couverts d'une géo-membrane étanche en Polyéthylène Haute Densité (HDPE), fabriquée en une seule pièce (Bellatache, 2013).

### **I.5.3 Les méthodes de traitement des déblais de forage :**

Après un prétraitement on-line (waste management) les déblais qui sont stockés dans le borbier sont repris par un engin et amenés dans l'unité de traitement. Les différentes méthodes de traitement sont utilisées en off-line à Hassi Messaoud.

#### **I.5.3.1 Traitement par Stabilisation et Solidification :**

Les traitements de stabilisation/solidification ont pour but d'améliorer la rétention des polluants et de conférer au matériau obtenu un certain niveau de durabilité structurale. Leur objectif n'est donc pas de réaliser un simple enrobage du matériau contaminé dans une matrice inerte, mais il consiste en un processus physico-chimique complexe pour obtenir la stabilisation et la solidification des polluants (fig. 8) (SONATRACH-division forage, 2009).



**Figure 8 :** Photo de l'unité de traitement stabilisation/solidification (Chouaoua & Idami, le 4/4/2019)

##### **I.5.3.1.1 Stabilisation :**

La stabilisation (fixation) d'une matière résiduelle ou d'un sol consiste à effectuer des réactions chimiques afin de réduire le niveau de risque associé à chacun des contaminants en limitant leur mobilité. Elle a pour but d'amener les contaminants sous une forme moins soluble ou moins toxique (St-Laurent et al., 2012).

##### **I.5.3.1.2 Solidification :**

La solidification est l'étape du procédé où la matière résiduelle ou le sol est mélangé avec des réactifs afin d'obtenir une matrice inerte habituellement formée de silicates. À la fin de la période de mûrissement, la matière résiduelle ou le sol traité se retrouve sous la forme d'une matrice solide (monolithe) ayant une intégrité structurale. À cause de sa faible perméabilité, le monolithe emprisonne les contaminants et limite leur mobilité tout en réduisant les surfaces exposées (St-Laurent et al., 2012).

### I.5.3.1.3 Procédés de stabilisation et solidification :

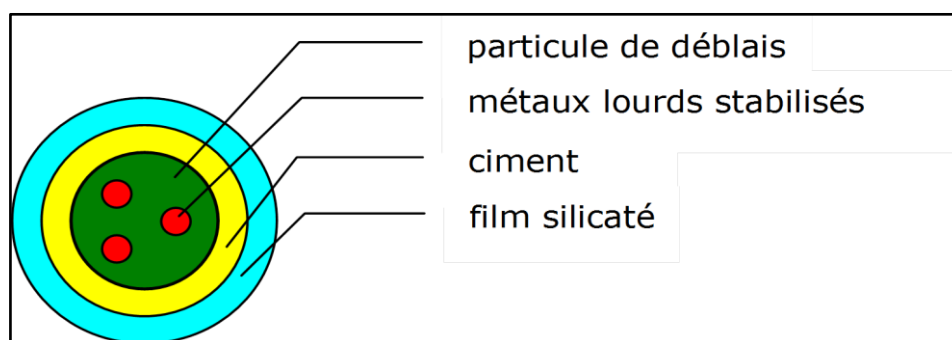
Un procédé de stabilisation et solidification consiste en une série d'étapes de traitement visant à modifier les caractéristiques d'une matière résiduelle ou d'un sol contaminé afin de le rendre sous une forme stable, moins mobile et plus sécuritaire pour l'environnement. Le plus souvent, l'immobilisation des contaminants aura pour objectif de réduire le risque de contamination de l'eau souterraine ou de surface (St-Laurent et al., 2012).

Les déblais sont acheminés vers une trémie de malaxeur à travers une grille pour éliminer les gros éléments, ensuite les déblais sont déversés dans le mixeur où il y aura un mélange du ciment, de silicate et d'eau. Ce mélange est mixé pendant environ 15 minutes puis évacué à l'aide d'un convoyeur pour l'éloigner du site, à la fin on obtient des rejets solides qui sont éliminés dans une fosse. Ce procédé consiste à stabiliser au moyen d'un produit chimique toutes les concentrations d'hydrocarbure et de métaux lourds contenus dans les déblais et à solidifier ces déblais par le ciment.

Les silicates donnent un précipité insoluble en présence des métaux lourds et lorsqu'ils réagissent avec des cations polyvalents tel que le calcium, ces derniers forment un film imperméable autour des particules solides.

Le ciment permet d'enrober et de renforcer la qualité du film résultant de la réaction chimique (silicate et calcium libéré). Le ciment durcit au contact de l'eau ce qui donne un produit stable et inerte qui empêche la mobilisation des métaux lourds par lixiviation, ce qui diminue leur impact sur l'environnement.

Après traitement, et une fois que le processus de durcissement est atteint, nous obtenons une matrice qui incorpore les rejets en une pierre synthétique. Ce phénomène est appelé l'encapsulation (fig. 9) (Bellatache, 2013).



**Figure 9** : Phénomène d'encapsulation (Bellatache, 2013)

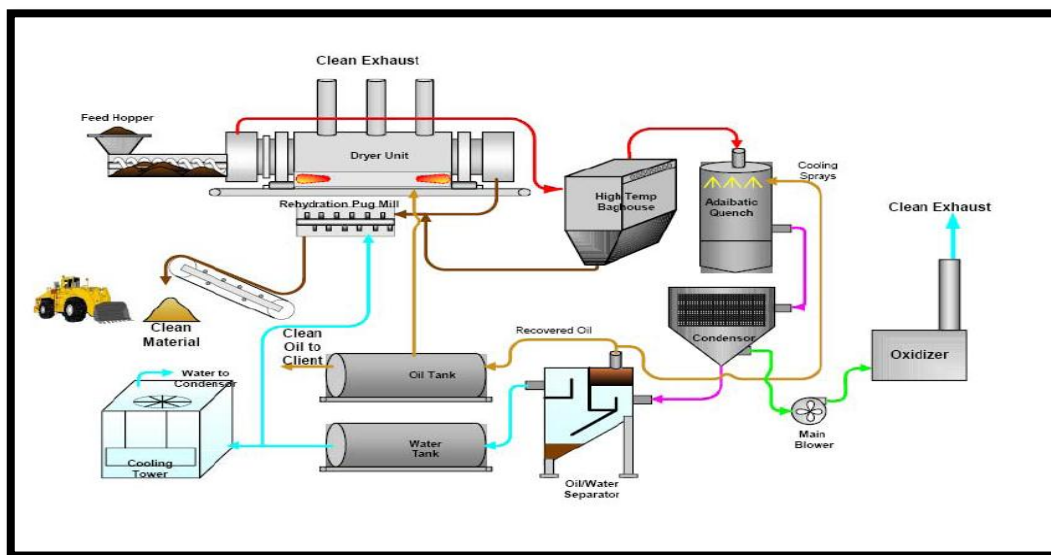
### I.5.3.2 Traitement par Désorption Thermique :

La désorption thermique est une technique de traitement des terres contaminées par des

composés organiques (hydrocarbures, HAP). Ce procédé consiste à chauffer les terres polluées dans un four rotatif dans lequel un brûleur produit une chaleur de 250 à 550°C. Cette dernière permet la volatilisation des polluants sous forme de gaz qui seront dépoussiérés et épurés par des filtres à manches. La qualité essentielle du procédé est la décontamination totale des terres, indépendamment des concentrations en entrée. Le four rotatif permet un traitement homogène du matériau, d'où une grande fiabilité dans les résultats (Salami, 2013).

- **Principe de fonctionnement :**

Après une communication orale avec M. Kadri, nous avons constatés que les déblais de forage sont portés à des températures comprises entre 250°C et 550°C, selon les types de contaminants. Elles séjournent une vingtaine de minutes en moyenne dans le four et 2 à 3 minutes à des températures supérieures à la température de volatilisation des polluants organiques présents dans les déblais contaminés. Dans ces conditions, les polluants organiques sont transformés en phase gazeuse et, donc, séparés des terres. Les terres traitées sont recueillies en aval du four. Les polluants hydrocarbonés sous forme gazeuse collectés au sommet du four rotatif sont condensés à la phase liquide qui est traitée dans un séparateur huile/eau. L'eau récupérée est réutilisée pour hydrater de nouveau les déblais en aval du four. L'huile récupérée est réutilisée soit pour la fabrication d'une nouvelle OBM ou pour le fonctionnement du four (fig. 10).



**Figure 10 :** Procédé de traitement de désorption thermique (Loukil, 2016).

## ***Chapitre II :***

# ***Présentation de la zone d'étude***



## II.1. Description environnementale de la région de Hassi Messaoud.

### II.1.1 Situation géographique :

La région de Hassi- Messaoud représente la zone stratégique pour la société SONATRACH, car elle dispose du plus grand gisement de pétrole en Algérie. Elle occupe la partie centrale de la plateforme saharienne. Le champ de Hassi- Messaoud se situe à environ 850 km au Sud Est d'Alger et à 350 km de la frontière tunisienne. Aussi bien, elle se situe environ à 86 km au Sud Est d' Ouargla et à 172 km au Sud de Touggourt (voir fig 11) (Loukil, 2016).



**Figure 11** : Situation géographique de HMD (monographie, 2008)

Par rapport aux autres gisements, le champ de Hassi Messaoud est limité :

- au nord-ouest par les gisements d'Ouargla (Guellala, Ben Kahla et Haoud Berkaoui).
- au sud-ouest par les gisements d'El Gassi, Zotti et El Agreb.
- au sud-est par les gisements Rhourde El Baguel et Mesdar (monographie, 2008).

### II.1.2 Caractéristiques hydrogéologiques

L'aquifère de la région de Hassi Messaoud appartient au système aquifère du Sahara septentrional (SASS). Cette aquifère occupe une superficie de plus d'un million de km<sup>2</sup> dont 700000 km<sup>2</sup> en Algérie, 80000 km<sup>2</sup> en Tunisie, et 250000 km<sup>2</sup> en Lybie. Sa profondeur varie entre 1000 et 2000 m et consiste en une eau fossile car son temps de régénération est tellement long que les experts la considèrent comme une eau non renouvelable. Cet aquifère est constitué d'une superposition de deux principales couches aquifères profondes : la formation du « continental intercalaire » (la plus profonde) et celle du « complexe terminal ».

**L'aquifère continental intercalaire (CI)** : couvre approximativement 840000 km<sup>2</sup>. La couche aquifère se compose de grés et de pierres à chaux dolomitique fissurées intercalée avec le sable, sable salé et argiles. Leur profondeur est environ 1150 m.

**L'aquifère du complexe terminal (CT) :** il est plus récent et plus petit que le continental intercalaire. Il occupe approximativement 350 000 km<sup>2</sup>. C'est une eau potable et la principale formation de cet aquifère est le Mio-Pliocène. Il se situe à moins de 150 m en dessous du sol, son épaisseur moyenne est 240 m (Bied-Charreton, 2002).

### II.1.3 Caractéristiques climatiques :

Le Sahara est une région caractérisée par un maximum d'heures d'ensoleillement, des températures élevées, une faible humidité et une très faible pluviosité (ONM, 2005). L'analyse climatologique réalisée est basée sur les données de tutiempo sur une période de 10 années.

#### II.1.3.1 Vent :

Le vent, l'un des éléments les plus caractéristiques du climat de la région, est déterminé par sa vitesse et sa direction (ONM, 2005).

**Tableau 3 :** Moyenne annuelle de la vitesse du vent de la période 2009-2018 (Tutiempo, 2019)

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Vent (Km/h)	13,4	15,0	14,9	-	-	-	12,9	13,8	12,7	13,1

La moyenne n'a pas été calculée pour les années 2012 à 2014, par manque des données. D'après le tableau 3, la vitesse du vent annuelle moyenne pendant la période 2009-2018 varie de 12,7 km/h à 15 km/h d'une année à l'autre.

**Tableau 4 :** Moyennes mensuelles de la vitesse maximale du vent de la période 2018-2019 (Tutiempo, 2019)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A
Vent (km/h)	23	23,3	22,3	17,9	25,8	23,1	23,8	29,2

Les vents jouent un rôle important dans l'environnement du désert de telle manière qu'ils influencent l'érosion du sol et le transport du sable, déterminant, par conséquent, la distribution de la végétation.

Dans la zone d'étude, les moyennes mensuelles de la vitesse maximale du vent pendant la période de notre étude montrent un maximum de 29,2 km/h au mois d'avril et un minimum de 17,9 km/h au mois de décembre. Donc, le mois d'avril est le plus venteuse et le mois de décembre est le plus calme (tab.4).



### II.1.3.2 Précipitations :

L'une des caractéristiques principales des précipitations à Hassi Messaoud est sa variabilité annuelle qui consiste à la fois en une distribution irrégulière des événements pluvieux au long de l'année et entre les années (ONM, 2005).

**Tableau 5 :** Précipitations annuelles de la période 2009-2018 (Tutiempo, 2019)

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Pluie (mm)	49,26	15,51	29,23	24,63	51,06	72,13	34,02	47,98	81,79	-

Selon le tableau 5, les précipitations annuelles moyennes dans la région de Hassi Messaoud pendant la période 2009-2018 dépassent les 70 mm pendant les années 2014 et 2017 mais restent inférieures à 30 mm pendant les années 2010, 2011 et 2012. Donc, l'année la plus sèche de cette période est 2010 et la plus humide est 2017. La moyenne annuelle n'a pas été calculée pour l'année 2018, par manque des données.

**Tableau 6 :** Précipitations mensuelles de la période 2018-2019 (Tutiempo, 2019)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A
Pluie (mm)	0,25	2,29	0,25	0	0,51	3,05	8,13	11,94

D'après le tableau 6, La pluviosité dans la région d'étude est élevée durant le mois d'avril, avec des précipitations annuelles moyennes de 11,94 mm. D'autre part, elle est très faible durant le mois de novembre avec une précipitation annuelle moyenne de 0,25mm. Durant cette période, le mois de décembre, où il n'a pas du tout plu, est le mois le plus sec.

### II.1.3.3 Température :

La température de l'air est un facteur fondamental ayant une grande influence sur le bilan hydrique du fait qu'elle conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration réelle de toute la région (ONM, 2005).

**Tableau 7 :** Moyennes annuelles de la température de la période 2009-2018 (Tutiempo, 2019)

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Température °C	23,4	24,5	23,4	23,7	23,8	24,3	23,7	24,5	23,6	24,2

D'après les valeurs obtenues dans le tableau 7, on remarque que les températures annuelles moyennes pendant la période 2009-2018 restent très homogènes, entre 24,5 mm et 23,4 mm. La

température annuelle maximale correspond aux années 2010 et 2016 ; et la température annuelle minimale correspond aux années 2009 et 2011.

**Tableau 8 :** Moyennes mensuelles des températures de la période 2018-2019 (Tutiempo, 2019)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A
Température (°C)	32,1	23,5	16,7	12	10	12,1	17,1	23,5

Les variations mensuelles moyennes de la température pendant la période de notre étude montrent deux périodes distinctes (tab.8) :

- une période froide qui s'étend de novembre à mars avec des valeurs variant de 12,1°C à 17,1°C ; le mois le plus froid est janvier ;
- une période chaude en septembre et octobre puis elle reprend en avril avec des valeurs variant de 23,5°C à 32,1°C ; septembre est le mois le plus chaud.

## II.1. 4 Milieu biologique :

### II.1.4.1 La faune :

La faune du désert est très rare car sa présence est proportionnellement liée à la présence de la végétation et des ressources en eau. Les espèces les plus communes dans cet habitat de dunes sablonneuses sont celles qui sont le mieux adaptées à cet environnement hostile. Le nombre d'espèces est limité à cause de la difficulté de survivre dans ces environnements sévères.

Les reptiles sont le groupe vertébré le plus représenté au Sahara. Dans l'ensemble, presque 100 espèces et sous-espèces sont enregistrées.

- **Oiseaux :** Il y a 35 espèces d'oiseaux caractéristiques du désert parmi lesquelles cinq sont protégés par la loi algérienne : le faucon crécerelle, la cigogne blanche, le guêpier d'Europe, le guêpier de Perse et la huppe fasciée, et plus de 33 autres espèces d'oiseaux qui passent dans le Sahara. La majorité de ces oiseaux sont des hirondelles et des corbeaux ainsi qu'un certain nombre de rapaces. Les oiseaux migrateurs forment une des composantes les plus importantes de la faune du sud.
- **Les mammifères :** Au Sahara environ 80 espèces ont été recensées comme les gazelles (*Gazella sp.*), le fennec (*Vulpes fenec*) et autres espèces de renards, le chat des sables (*Felis margarita*), le chacal (*Canis aureus*) et la gerbille (*Gerbillus sp.*). Les dromadaires (*Camelus dromedaries*) vivent en troupeaux dirigés par des pasteurs touaregs. Ils peuvent être observés habituellement aux alentours des installations pétrolières et puits d'eau (monographie, 2008).

### II.1.4.2 La flore :

Le Sahara est caractérisée par de grandes étendues pauvres en végétation en liaison avec un climat chaud et sec, défavorable. La végétation est essentiellement localisée dans les dépressions et les espaces entre les dunes. La végétation à Hassi Messaoud est très éparpillée et occupe un pourcentage très mince de la surface de la région (fig.12).



**Figure 12 :** Exemple de la végétation à HMD (Chouaoua & Idami, 15/ 4/ 2019)

Parmi les espèces de plantes présentes dans la région de Hassi Messaoud (voir figures 13, 14,15), *Fagonia microphylla* ; connue sous le nom «chegaâ» (Beniston ,1984) et *Oudneya africana* ; connue sous le nom arabe « alga » ou « hannet l'ibel » (Smadi, 2018), sont endémiques d'Algérie mais elles sont classées comme étant sub-rares et ne sont, de ce fait, pas protégées par la loi algérienne. *Cornulaca monacantha*, connue sous le nom « hadd » (Chehma et Djebbar, 2018), est endémique du Sahara Les autres espèces peuvent être rares dans un territoire donné et plus fréquentes ailleurs (monographie, 2008).



**Figure 13 :** *Fagonia microphylla*  
(Tela Botanica, 2019)



**Figure 14 :** *Oudneya africana*  
(Bravad ,2010)



**Figure 15 :** Photo de *Cornulaca monacantha* (Chouaoua & Idami, 15 /4/2019)

## **II.2. Présentation de la SONATRACH-Division forage (lieu du stage) :**

La division forage fait partie de l'activité amont de la SONATRACH (Société Nationale de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures) qui est la première entreprise algérienne et africaine et le 11e groupe pétrolier au niveau mondial. Elle a vu le jour le 31 décembre 1963 (décret 63-491) et n'avait alors pour objectif que de préparer et de mettre au point les études préalables à la construction des moyens de transport terrestre ou maritime permettant de véhiculer les hydrocarbures liquides et gazeux.

SONATRACH est composée de quatre grandes branches d'activités : Activité Amont (AMT), Activité Aval (AVL), Activité Transport par Canalisations (TRC) et Activité Commercialisation (COM). Chacune de ces activités est placée sous l'autorité d'un vice-président. L'AMONT prend en charge la recherche, l'exploitation et la production des hydrocarbures. Ses missions sont principalement axées sur le développement des gisements découverts, l'amélioration du taux de récupération et la mise à jour des réserves. L'activité AMONT intègre dans sa stratégie opérationnelle les filiales qui sont rattachées à SONATRACH. Elle englobe les divisions : Production, Forage, Exploration, Association, Petroleum Engineering and Development (PED) et le centre de recherche et développement (CRD).

En 1987, SONATRACH, dans un cadre de restructuration, décida de créer la division forage, avec initialement cinq directions régionales, qui a pour principale mission la supervision des chantiers de forage. Au fil des ans, deux directions régionales ont fermé et il ne reste plus que la Direction des Opérations de Forage basée à Hassi Messaoud qui coordonne toutes les activités de forage à travers le pays, excepté celles réalisées dans les cadres des Associations (Données SONATRACH-Division Forage Département formation).

# ***Chapitre III :***

## ***Matériel et méthodes***

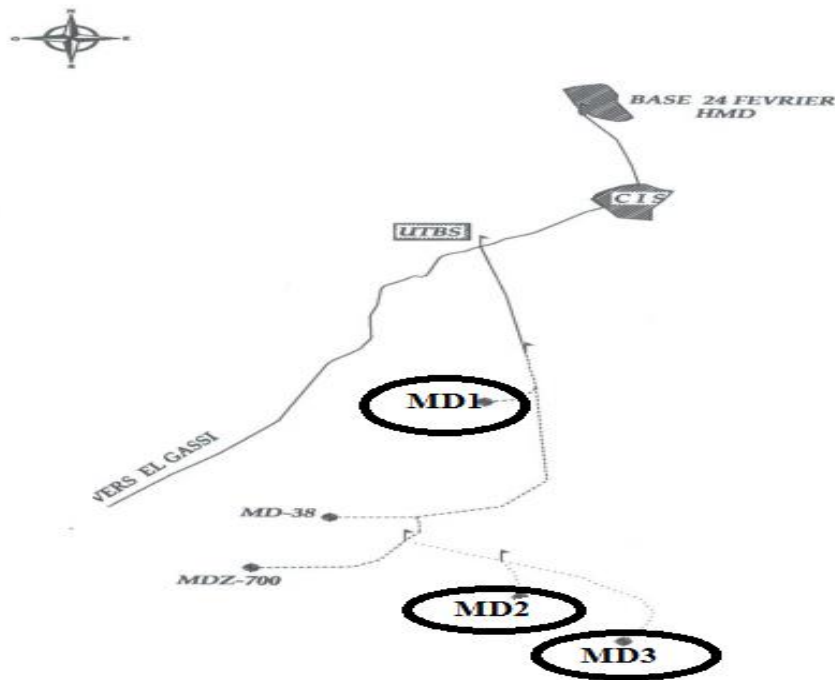
### III.1. Localisation des puits :

Dans ce chapitre, nous présentons les méthodes et les techniques employées par SONATRACH pour le traitement des boues de forage des puits MD1, MD2 et MD3.

Dans les trois puits pétroliers de Hassi Messaoud, le traitement offline a été mis en œuvre par la compagnie égyptienne **ES** (**E**nvironmental **S**olutions) (voir annexe 2) qui a signé un contrat avec la compagnie égyptienne **EMEC** (**E**gyptian **M**ud and **C**hemicals **E**ngineering) pour le traitement online.

La période de notre stage s'est déroulée du 1 au 15 avril et elle a été prolongée du 24 au 29 avril.

Les trois puits MD1, MD2 et MD3 sont localisés à Hassi Messaoud au sud de la base «24 Février» (fig 16) dans un rayon d'une trentaine de km. Tenues par le secret professionnel, nous ne sommes pas autorisées à fournir plus d'informations sur leurs localisations exactes.



**Figure 16** : schéma synoptique de trois puits MD1, MD2 et MD3 à partir de la base « 24 février »

### III.2. Méthodologie de travail :

La partie pratique de notre stage a englobé deux phases : la première a été consacrée aux travaux sur chantier et la seconde aux analyses en laboratoire.

#### III.2.1 Les travaux sur chantier :

##### III.2.1.1 Traitement online :

Après des visites sur les chantiers de forage de puits pétroliers MD1, MD2 et MD3,

nous avons assisté aux étapes suivantes :

-première phase de forage, durant laquelle le forage a été réalisé avec une boue bentonitique. Selon le décret 06-141, les rejets de cette phase sont considérés comme déchets inertes donc les déblais enrobés de la boue à base d'eau (boue bentonitique) sont éjectés directement vers le bourbier (water pit) (figure 17).

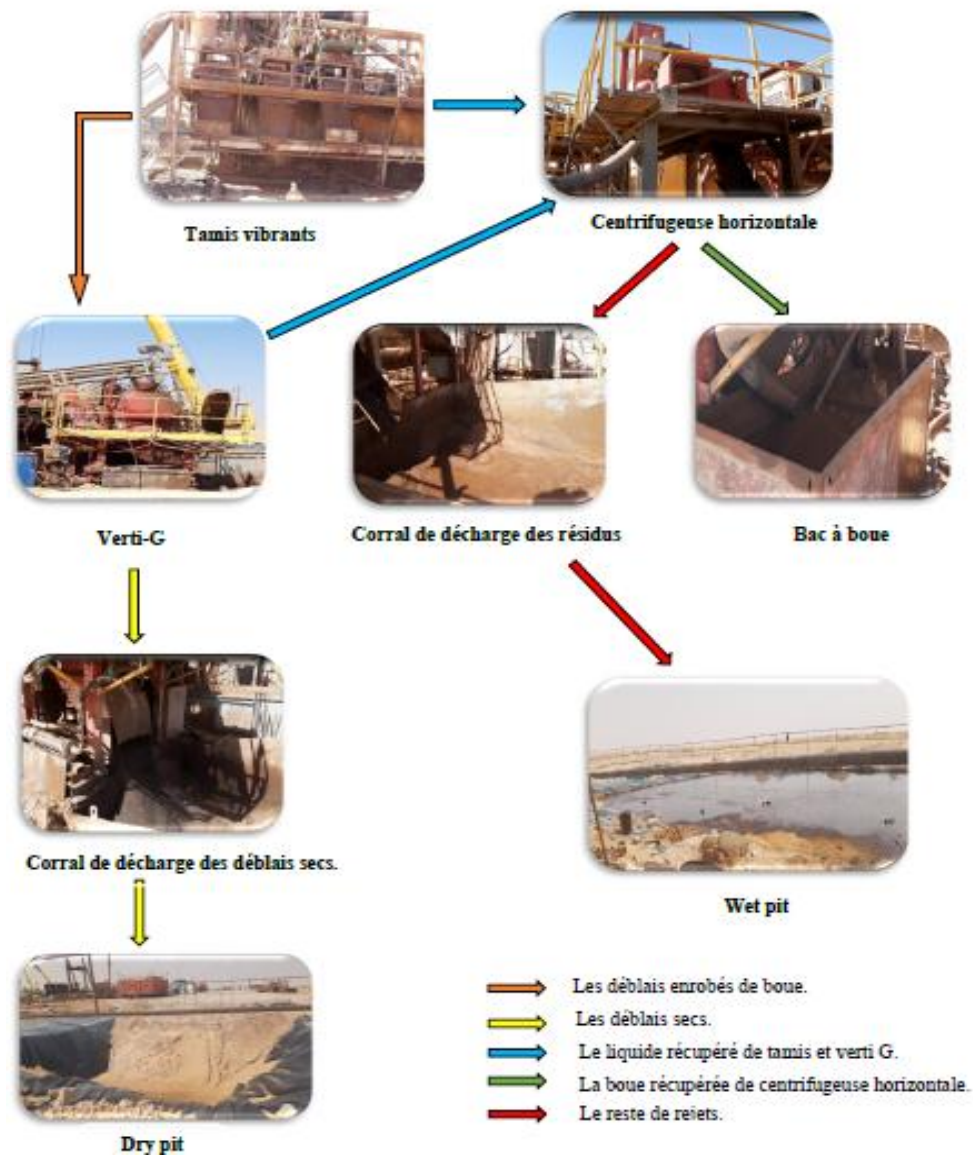


**Figure 17** : bourbier water pit

-deuxième phase, et jusqu'à la fin du forage, de la boue à base d'huile a été utilisée. Vu son impact sur l'environnement, elle nécessite une série de traitements qui se résument comme suit :

- un traitement primaire ou Système Solide Control.
- un traitement secondaire qui consiste en un séchage des déblais de forage.
- **Système Solide Control** : dont les tamis vibrants constituent le premier maillon de la chaîne de traitement. La boue passe au travers de toiles de façon à lui extraire les particules les plus grosses. La boue récupérée passe ensuite dans une centrifugeuse horizontale afin d'éliminer les particules fines ( $< 2\mu\text{m}$ ) à une vitesse comprise entre 500 et 1900 tr/min, puis elle est réinjectée dans le circuit de boue et le reste est acheminé vers le « wet pit ».
- **Séchage des déblais de forage** :
  - les déblais provenant des tamis vibrants sont acheminés à l'aide d'une vis convoyeuse vers la partie supérieure du cône du verti-G (dryer) et tombent sur un rotor conique tournant à une vitesse de 680 tr/mn ;
  - ils sont séparés de l'huile grâce à la vitesse du rotor conique ; ainsi les solides sont entraînés à l'état de poudre vers la base du cône ; leur teneur en huile est alors inférieure à 5%. Ils sont ensuite acheminés vers le « dry pit » par un rétro chargeur ;
  - tandis que le liquide est dirigé, à l'aide d'une pompe, vers une centrifugeuse horizontale pour la récupération de la boue vers les bacs de forage et le reste est envoyé vers le « wet pit ».





**Figure 18** : schéma représentatif du système wast management

### • Transport des déblais

Dans le but de traiter les déblais de forage, les rejets de borbier (wet pit) de MD1, MD2 et MD3 sont transportés par camions vers l'unité de traitement S1, S2 et S3 respectivement, et stockés sur une plateforme en béton pour éviter la contamination des sols.

#### III.2.1.2 Traitement offline :

Actuellement, la seule technique de traitement des rejets de borbier (wet pit) appliquée par SONATRACH est la « stabilisation-solidification » (S/S). Afin de déterminer la quantité de tuf, ciment et silicate à utiliser dans la stabilisation/solidification, il faut connaître le pourcentage des



huiles dans les déblais. Pour cela il est indispensable de déterminer la teneur via des dosages par distillation.

### III.2.1.2.1 Méthode de distillation :

#### III.2.1.2.1.1 Echantillonnage :

Les échantillons de déblais ont été prélevés du champ Hassi Messaoud (figure 19), à partir de trois puits MD1, MD2 et MD3. Dans un souci de représentativité, ils sont prélevés de façon aléatoire des différents endroits du bourbier.



**Figure 19** : prélèvement des échantillons de déblais

#### III.2.1.2.1.2 Calendrier de prélèvement :

Les prélèvements des échantillons ont été effectués selon le calendrier du tableau 9.

**Tableau 9** : calendrier de prélèvement des échantillons pour la distillation

Puits	MD1	MD2	MD3
Date	Le 04/04/2019	Le 05/04/2019	Le 07/04/2019

#### III.2.1.2.1.3 Mode opératoire :

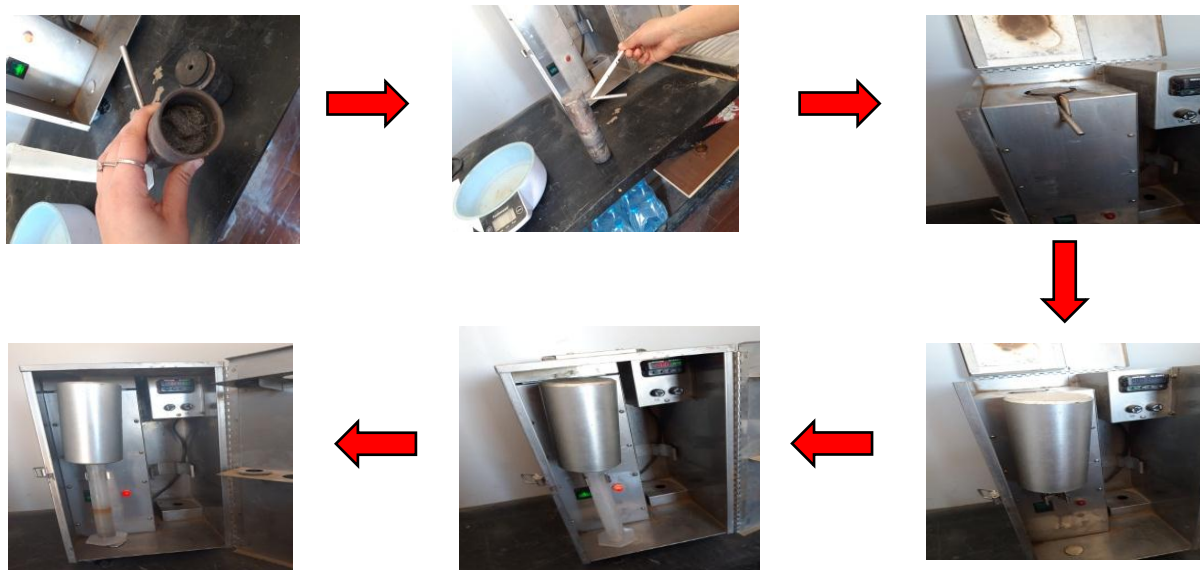
##### Distillateur Fann :

L'appareil utilisé pour la distillation des solides est un distillateur de Technologie API (American Petroleum Institut). La température de distillation peut aller jusqu'à 800°C (fig 20).



**Figure 20** : Distillateur Fann

Pour la détermination du pourcentage massique de l'huile, nous avons utilisé le distillateur à boue ou distillateur Fann selon le procédé illustré par la figure 21 : l'échantillon à traiter, provenant des déblais du wet pit, est placé dans la cellule sur laquelle est vissé le godet plein de laine de fer ainsi que le condenseur. Le couple godet-cellule est ajusté à l'intérieur de la chambre de chauffage et le condenseur à l'extérieur. Pour récupérer le distillat, une éprouvette graduée est placée sous le tube de sortie du condenseur et le distillateur est relié à une source de courant approprié. La distillation, arrêtée après 1h30, permet de récupérer un volume d'eau et d'huile.



**Figure 21** : les étapes de distillation des boues de déblais

#### III.2.1.2.1.4 Procédure de mesure du oil on cuttings (OCC%) :

Les mesures de l'OCC% se font par distillation et sont utilisés à cet effet. La cellule doit avoir une capacité de 50 cm<sup>3</sup> et l'éprouvette graduée de 50 cm<sup>3</sup> de capacité également, graduée au cm<sup>3</sup>. Le mode opératoire est le suivant : Le poids de la cellule avec couvercle pesée à l'aide d'une balance de précision au 0.01 g est **P1**. Le poids de la cellule pleine de déblais avec couvercle est **P2**. Le poids de l'éprouvette graduée où les fluides seront récupérés est **P3**.

La cellule est mise dans le corps du distillateur placé dans la jupe de chauffage et connecté au condensateur de vapeurs. L'échantillon est porté à une température de 700°C pendant 1h 30mn, permettant, ainsi, la vaporisation de tous les fluides. Les vapeurs sont passées à travers un condensateur et récupérées sous forme de liquide dans l'éprouvette graduée. Ainsi, l'eau et l'huile sont récupérées dans l'éprouvette où un chauffage léger permettrait de briser une éventuelle émulsion. Après refroidissement à température ambiante, le volume **V** d'eau est mesuré et noté par lecture directe sur les graduations de l'éprouvette. Le poids de l'éprouvette remplie de fluide

est **P4**. Grâce au logiciel Excel, et après avoir entré les données P1, P2, P3, P4 et V il nous donne directement les résultats du pourcentage massique de l'huile dans les déblais.

#### III.2.1.2.2 Détermination de la quantité des réactifs ajoutés :

Pour rendre les déblais inertes, les trois unités de traitement (S1, S2 et S3) sont basées sur les règles suivantes : pour  $1\text{m}^3$  de déblais, il faut ajouter 180 kg de ciment Portland et 10 kg de silicate de sodium ( $\text{SiO}_2\text{Na}_2\text{O}$ ). Si la teneur en huile dans les déblais est supérieure à 12% ( $\text{OOC} > 12\%$ ), il faut ajouter  $0,5\text{ m}^3$  d'agent absorbant (tuf) pour  $1\text{m}^3$  de déblais.

#### III.2.1.2.3 Description du procédé de stabilisation/solidification :

Dans les unités de traitement S1, S2 et S3, nous avons observé les différentes étapes suivantes : Les rejets (déblais du wet pit) sont évacués sur la grille de trémie de réception à l'aide d'un rotor conique (figure 22). Ils sont ensuite amenés vers le malaxeur d'une capacité de  $2,5\text{ m}^3$ , où s'effectue le mélange avec le ciment, l'eau et le silicate de sodium.



**Figure 22** : décharge des déblais sur la grille de trémie

Le ciment est transporté depuis le silo vers le malaxeur par un convoyeur à vis tubulaire (figure 23). La solution de silicate de sodium est préparée dans deux bacs mixeurs spéciaux et pompés vers le malaxeur (figure 24).



**Figure 23** : silo de ciment



**Figure 24** : bac de silicate de sodium



Le mélange de déblais, ciment et silicate de sodium est malaxé pendant 15 min, puis déversé dans une fosse (figure 25) ;



**Figure 25** : fosse des déblais après solidification

Les déblais traités sont acheminés vers un bourbier au moyen d'une pelle mécanique pour leur stockage final (figure 26) ;



**Figure 26** : bourbier pour le stockage des déblais traités

Après quatre jours, les rejets traités seront sous forme d'une matrice solidifiée (figure 27).



**Figure 27** : déblais après traitement

### III.2.2 Analyse au laboratoire :

L'évaluation de l'efficacité de méthode de traitement « stabilisation/solidification » dépend d'un test de lixiviation. Les échantillons, après traitement, sont prélevés sur des déblais traités quatre jours auparavant (tableau 10).

**Tableau 10** : Calendrier des prélèvements des échantillons pour lixiviation

Unité /échantillon	S1	S2	S3
Avant traitement	Le 04/04/2019	Le 05/04/2019	Le 07/04/2019
Après traitement	Le 08/04/2019	Le 09/04/2019	Le 12/04/2019

#### III.2.2.1 Mode de prélèvements :

Pour chaque unité de traitement, nous avons prélevé un échantillon avant traitement et un autre après. Les échantillons sont collectés dans des bouteilles en verre lesquelles sont couvertes d'une feuille de papier aluminium afin de minimiser les chances de réaction avec les matériaux qui composent les bouchons. Les bouteilles sont ensuite placées dans des glacières, puis soumises au laboratoire pour analyse. Les analyses ont été réalisées au niveau du laboratoire CRD Boumerdes.

#### III.2.2.2 Préparation des échantillons :

Les analyses en laboratoire sont réalisées sur un lixiviat par le test de lixiviation selon la norme Afnor X 31-210 (la normalisation française- Essai de lixiviation, l'arrêté du 18 décembre 1992 relatif à l'entreposage des déchets industriels stabilisés dans des sites de stockage, Royal). Dans un flacon, une prise d'essai de 100 g d'échantillon est additionnée d'un litre d'eau. Le flacon est agité manuellement puis placé sur un agitateur pendant 24 heures pour une lixiviation unique. La température de mise en contact est de  $20 \pm 5$  °C.

Au terme de 24 heures de mise en contact, le contenu du flacon est filtré sur une membrane de diamètre de pore 0,45 µm. Ensuite, le lixiviat est divisé en trois sous-échantillons pour la mesure du pH et le dosage des métaux lourds et le COT (carbone organique total).

#### III.2.2.3 Analyse des métaux lourds :

L'analyse des métaux lourds est effectuée par ICP-MS (La spectrométrie de masse à Plasma à Couplage Inductif).

Le principe de l'ICP-MS est l'ionisation de l'échantillon dans un plasma créé par induction. Les ions créés sont aspirés par un vide primaire puis accélérés. Après le passage d'un vide

secondaire, le faisceau d'ions est dévié par un champ électrique E variable. La déviation est inversement proportionnelle à la vitesse des ions, à leur masse et à leur charge. Pour des valeurs de E connues, un seul et unique ion vient frapper le collecteur et sera comptabilisé. Le dosage des métaux contenus dans des échantillons solides est possible après leur mise en solution (Mijno, 2007).

#### **III.2.2.4 Mesure de carbone organique total :**

La détermination du carbone organique totale (COT) nous permet d'évaluer les chaînes carboniques présentes dans d'échantillon. Le carbone inorganique est uniquement lié à l'oxygène, comme dans le dioxyde de carbone, le bicarbonate ou le carbonate (par exemple : le calcaire est formé de carbonate de calcium, qui est une forme de carbone inorganique). Le carbone organique peut être lié à de nombreux autres éléments tels que l'hydrogène, l'azote ou d'autres atomes de carbone. Le COT est mesuré à l'aide d'une titration avec du bichromate de potassium. La mesure de la quantité de bichromate n'ayant pas réagi avec l'échantillon permet d'obtenir la concentration de COT. Le calcul du COT s'effectue en soustrayant le CIT du CT.

Cette méthode est décrite par l'équation :  $CT - CIT = COT$  (Centre d'Expertise en Analyses Environnementales du Québec, 2014).

#### **III.2.2.5 Mesure de pH :**

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH- mètre.

***Chapitre IV :***

***Résultats et discussion***

### Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats et la discussion des analyses effectuées sur les rejets de forage des trois puits et la comparaison entre les deux méthodes de traitement stabilisation/solidification et désorption thermique utilisées à Hassi Messaoud.

N'ayant pas de répétition pour chaque paramètre, nous ne pouvons pas appliquer des tests statistiques tels que le test Student ou l'ANOVA sur nos résultats.

En l'absence d'une réglementation algérienne régissant les déchets solides, un décret français fixant les limites des rejets d'effluents solides industriels « Arrêté du 18/12/1992, abrogé le 30/12/2002 », relatif au stockage de certains déchets industriels spéciaux ultimes et stabilisés est pris comme référence. Celui-ci fixe les seuils tolérés pour les déchets solides stabilisés, comme le montre le tableau 11.

**Tableau 11** : les valeurs limites des paramètres analysés (normes françaises Afnor X 31-210)

Elément	Abréviation	Valeurs limites
Potentiel hydrogène	pH	4-13
Carbone organique totale	COT (mg/kg)	1000
Cuivre	Cu (mg/kg)	50
Nickel	Ni (mg/kg)	50
Chrome total	Cr (mg/kg)	50
Cadmium	Cd (mg/kg)	25
Zinc	Zn (mg/kg)	250
Plomb	Pb (mg/kg)	50
Sélénium	Se (mg/kg)	7
Arsenic	As (mg/kg)	5
Mercure	Hg (mg/kg)	5
oil on cutting	OOC %	5

#### IV.1. Résultats du pourcentage massique d'huile dans les déblais :

Dans le tableau 12 sont rapportés les résultats de l'analyse du pourcentage d'huile dans des échantillons de déblais avant traitement de solidification/stabilisation.



**Tableau 12 :** Détermination de la teneur en huile par distillation sur trois échantillons de déblais avant traitement solidification/stabilisation (Fiche SONATRACH)



**CALCUL DU POURCENTAGE D'HUILE DANS LES DEBLAIS  
(OOC%)**

**PUITS:**                   \*\*\*\*\*  
**REGION:**               HMD                   **UNITE :**                   \*\*\*\*\*

Utiliser un distillateur de 50 ml et une balance précise à 0,1 grams

Tous les poids sont exprimés en grammes

Tous les volumes sont exprimés en cm<sup>3</sup> ou ml.

Test N°:	1	2	3
<b>Poids de la cellule vide avec le couvercle</b>	81,00 g	81,00 g	81,00 g

**Poids de la cellule pleine avec le couvercle**

Avant la distillation	130,00 g	103,00 g	103,00 g
-----------------------	----------	----------	----------

**Poids de l'éprouvette**

Avant la distillation (vide)	26,00 g	26,00 g	26,00 g
Après la distillation	34,00 g	29,25 g	33,02 g

**Distillation**

Volume d'eau	0,9 cm <sup>3</sup>	1,4 cm <sup>3</sup>	4,5 cm <sup>3</sup>
--------------	---------------------	---------------------	---------------------

**RESULTATS**

<b>OOC%</b>	<b>14,49%</b>	<b>8,41%</b>	<b>11,45%</b>
-------------	---------------	--------------	---------------

Exprimé en % poids d'huile/poids déblais secs

SV sur Site

SV. SH. FOR.

D'après les résultats obtenus, on remarque que le pourcentage massique d'huile dans les trois échantillons (14,49%, 8,41% et 11,45%) est supérieur aux normes (5 %). Il est donc nécessaire de faire un traitement pour diminuer le pourcentage d'huile des déblais par un traitement stabilisation/solidification avant qu'ils ne soient rejetés dans l'environnement pour éviter toute contamination du sol.

De ce fait, les résultats nous donnent des informations concernant la quantité des réactifs ajoutés dans la méthode stabilisation/solidification (ciment, silicate et l'agent absorbant) suivant le tableau ci-dessous :

**Tableau 13** : la quantité des réactifs ajoutés dans les trois unités de traitement

<b>Unités de traitement</b>	<b>Unité 1</b>	<b>Unité 2</b>	<b>Unité 3</b>
<b>Volume des déblais (m<sup>3</sup>)</b>	960	1200	780
<b>Tuf (m<sup>3</sup>)</b>	480	0	0
<b>Ciment (kg)</b>	172800	216000	140400
<b>Silicate de sodium (kg)</b>	9600	12000	7800

#### **IV.2. Présentation des résultats d'analyse de pH, métaux lourds et COT par la méthode de traitement stabilisation/solidification :**

Les résultats des analyses des déblais des puits de forage, communiqués par le centre de recherche et développement (CRD) à Boumerdes, englobent le pH, les métaux lourds et le COT avant et après traitement. Ils sont présentés dans le tableau 14. Les concentrations des métaux lourds et COT sont exprimées en (mg/kg).

**Tableau 14** : les résultats des analyses des trois échantillons de bourbiers avant et après traitement stabilisation/solidification (métaux lourds et COT exprimés en mg/kg)

Paramètres	Echantillon 1		Echantillon 2		Echantillon 3	
	Avant	après	avant	après	avant	Après
<b>pH</b>	10	12,5	12,08	12,96	11,48	12,62
<b>Cu</b>	0,49	0,05	0,15	0,025	0,4	<0,1
<b>Ni</b>	0,11	0,04	0,09	0,05	<0,1	<0,1
<b>Cr</b>	0,02	0,26	0,03	2,3	<0,2	2,67
<b>Cd</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1
<b>Zn</b>	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Pb</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<1
<b>Se</b>	0,01	0,01	0,01	0,02	<0,1	<0,1
<b>As</b>	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1
<b>Hg</b>	0,4	<0,01	1,6	<0,01	0,06	0,02
<b>COT</b>	ND	970	ND	356	ND	688

#### ➤ pH

Les valeurs du pH augmentent après traitement pour les trois échantillons ; elles sont comprises entre 10 et 12,08 avant traitement, et entre 12,5 et 12,96 après traitement. Ce dernier rend donc les bourbiers plus alcalins. Les pH répondent à la limite préconisée par la norme française ( $4 < \text{pH} < 13$ ).

#### ➤ Métaux lourds

Les résultats des analyses des trois échantillons 1, 2 et 3 montrent que la présence de métaux lourds n'est pas très inquiétante dans les trois bourbiers avant traitement ; elle reste inférieure à la valeur limite maximale de la norme française. Néanmoins, les teneurs sont réduites après le traitement stabilisation/solidification.

Les métaux Cd, Zn, Pb, Se et As sont présents à l'état de traces ; le traitement ne semble pas modifier leurs teneurs qui peuvent être inférieures à la limite de détection de l'appareil.

Le Cu et le Ni affichent des teneurs pour le puit 1 supérieures à celles du 2 et 3. Le traitement participe à la réduction de leur présence.

La concentration du Hg est plus élevée pour les déblais du puits 2 (1,6 mg/kg) par rapport à ceux du puits 1 (0,4 mg/kg) et du puits 3 (0,06) et elle diminue après le traitement.

Le chrome total (Cr) fait exception ; ses teneurs dans les déblais traités sont supérieures à celles des déblais non traités soit pour l'échantillon 1 on passe de 0,02 mg/kg avant traitement à 0,26 mg/kg après traitement ; pour l'échantillon 2 on a 0,03mg/kg avant et 2,3 mg/kg après traitement. De même pour l'échantillon 3, la teneur avant traitement ( $< 0,2$  mg/kg) atteint 2,67 après traitement. Cependant malgré l'augmentation constatée, toutes les teneurs restent inférieures à la valeur préconisée par la norme européenne (50 mg/kg). L'origine de cette augmentation est liée à la présence du Cr dans le ciment utilisé pour le traitement stabilisation/solidification.

#### ➤ **Le carbone organique**

Le carbone organique totale n'a été déterminé que dans les échantillons des déblais traités. De ce fait, n'ayant pas les teneurs avant traitement, il est impossible d'apprécier le rabattement induit par le traitement. Cependant les teneurs dans les déblais après traitement restent relativement dans les déblais du puits 1 (970 mg/kg) suivi par le 3 (688 mg/kg). Les déblais traités du puits 2 sont les moins chargés en carbone organique (356 mg/kg). La limite maximale suggérée par la norme européenne (1000 mg/kg) est atteinte par le traitement stabilisation/solidification pour les déblais 2 et 3 mais elle reste très tangente pour les déblais du puits 1. L'information sur la teneur déterminée avant traitement permettrait d'avoir une meilleure appréciation du rendement de la méthode de traitement appliquée.

Donc, la méthode de traitement stabilisation/solidification est plus efficace pour piéger les métaux lourds mais elle semble moins efficace dans l'élimination des hydrocarbures.

### **IV.3. Analyse en composantes principales (ACP) des résultats :**

Pour analyser les corrélations entre les paramètres physico-chimiques étudiés, nous avons eu recours à une analyse en composantes principales (ACP) dans Excel avec le logiciel XLSTAT sur une matrice de corrélation de données formées de différents paramètres physico-chimiques (pH, Cu, Ni, Cr, Cd, Zn, Pb, Se, As, Hg, COT) des rejets de trois bourniers avant et après traitement.

#### **IV.3.1 Matrice des corrélations**

Les principales corrélations qui résument les relations entre ces variables sont présentées dans le tableau 15. On observe que le cuivre est inversement corrélé au pH ( $r = -0,945$ ) et au COT

( $r=-0,695$ ). Pour le nickel, on ne remarque aucune corrélation significative. Le chrome est corrélé au plomb ( $r= 0,685$ ) et au pH ( $r= 0,632$ ) et inversement corrélé au cuivre ( $r= -0,567$ ). On observe aussi une corrélation positive du cadmium avec l'arsenic ( $r=1$ ) et avec le sélénium ( $r= 0,996$ ) et une corrélation négative entre le zinc et le mercure ( $r=-1$ ).

**Tableau 15 :** Matrice des corrélations entre les paramètres physico-chimiques (pH, métaux lourds et carbone organique total) dans les trois puits

Corrélation	Cu	Ni	Cr	Cd	Zn	Pb	Se	As	Hg	COT	pH
Cu *	1,000	,095	<b>-,567</b>	,189	,132	-,216	,153	,189	-,106	<b>-,695</b>	<b>-,945</b>
Ni		1,000	,141	-,230	-,291	,356	-,254	-,230	,284	-,108	-,302
Cr *			1,000	,329	,353	<b>,685</b>	,387	,329	-,368	,419	<b>,632</b>
Cd *				1,000	,316	,700	<b>,996</b>	<b>1,000</b>	-,302	,016	,079
Zn *					1,000	,221	,342	,316	<b>-1,000</b>	,395	-,064
Pb						1,000	,697	,700	-,225	,385	,294
Se							1,000	,996	-,328	,018	,123
As								1,000	-,302	,016	,079
Hg									1,000	-,417	,043
COT										1,000	,613
pH											1,000

#### IV.3.2 Corrélations entre les variables et les axes principaux de l'ACP :

Le tableau ci-dessous correspond à la corrélation entre les variables et les axes principaux de l'ACP. La composante principale F1 est formée par le sélénium (0,984), le cadmium (0,974), l'arsenic (0,974) et par le plomb (0,974). La deuxième composante F2 est représentée par le cuivre (0,952), le pH (-0,874) et par le carbone organique totale (-0,810) (tableau 16).

**Tableau 16 :** Corrélations entre les variables et les axes principaux de l'ACP

	F1	F2
Cu	-0,021	<b>0,952</b>
Ni	0,771	0,079
Cr	0,501	-0,639
Cd	<b>0,974</b>	0,211
Zn	0,017	0,012
Pb	<b>0,974</b>	0,211
Se	<b>0,984</b>	0,170
As	<b>0,974</b>	0,211
Hg	-0,436	0,306
COT	0,150	<b>-0,810</b>
pH	0,287	<b>-0,874</b>

### IV.3.3 Le cercle des corrélations :

Le cercle des corrélations est la projection des variables sur le plan des composantes principales. D'après la figure 28, on remarque que l'axe F1 contribuant pour 49,60 % de la variance totale est lié positivement à l'arsenic, sélénium, plomb et cadmium, alors que l'axe F2 (30,01 % de l'inertie) est lié positivement au cuivre et négativement au pH et à la teneur en carbone organique totale. Le plan factoriel principal Axes (1-2) qui va servir pour les projections résume 79,62 % de l'information.

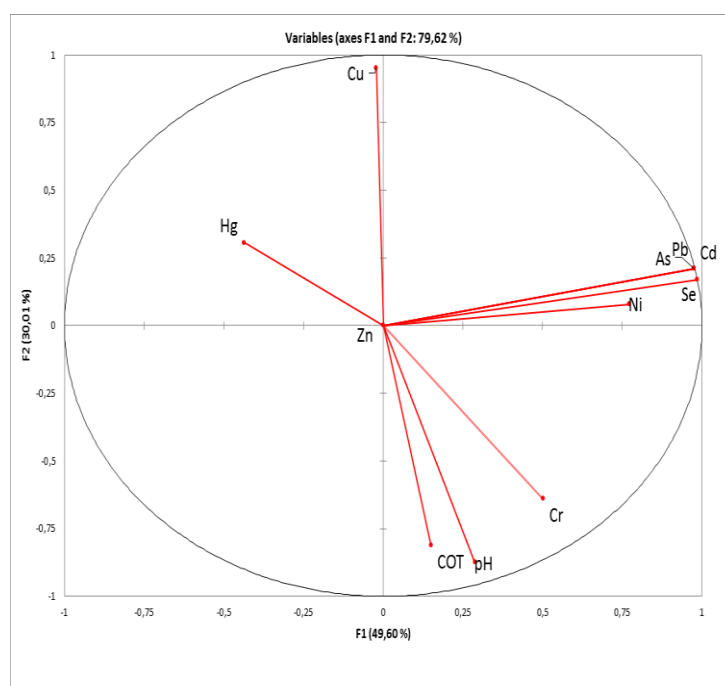
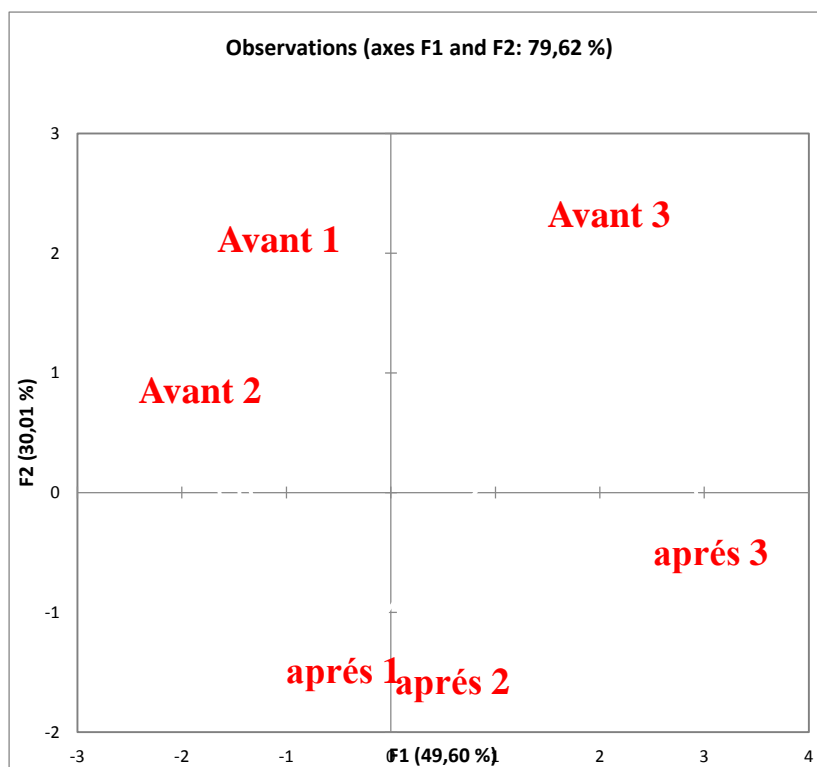


Figure 28 : Cercle de corrélations et projection des variables

### IV.3.4 Projection des bourbiers sur le plan principal :

La projection des bourbier d'études sur le plan principal (axes 1-2) de l'ACP fait apparaître des ressemblances et des différences entre ces bourbiers avant et après traitement.

Les trois bourbiers avant traitement sont différents, alors qu'après traitement, on observe un point de ressemblance entre les bourbiers 1 et 2 qui est le pH et le carbone organique total, mais le bourbier 3 occupe une position isolée et il n'est corrélé à aucune variable (figure 29).



**Figure 29:** Projection des bourbiers sur le plan principal

#### IV.4. Discussion des résultats

Durant notre période de stage, nous avons constaté que SONATRACH, après la fin du contrat avec la société qui s'occupait du traitement thermique, a opté pour la méthode de traitement stabilisation/solidification ;

Afin d'évaluer de la méthode la plus efficace pour traiter les déblais, nous avons demandé à SONATRACH les résultats des analyses des déblais des trois puits traités par « désorption thermique » afin de comparer les rendements des deux techniques.

le tableau 11 présente les résultats des analyses des trois échantillons de bourbiers de forage des puits avant et après traitements par la « désorption thermique » obtenus par lixiviation pendant le mois de décembre 2018. La technique est réalisée au centre de recherche et de développement à Boumerdes. Le prélèvement des trois échantillons pour le traitement thermique est identique à celui que nous avons effectué lors de notre stage. Les concentrations des métaux lourds et COT sont exprimées en (mg/kg).

**Tableau 17** : Résultats des analyses de trois échantillons avant et après traitement thermique

Paramètre	Echantillon 1		Echantillon 2		Echantillon 3	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
<b>pH</b>	12,5	13	11,8	12,8	10,3	12,8
<b>Cu (mg/kg).</b>	0,21	0,20	0,13	0,12	0,17	0,15
<b>Ni (mg/kg).</b>	0,1	0,5	0,07	0,06	0,07	0,07
<b>Cr (mg/kg).</b>	0,02	0,02	0,02	0,02	<0,01	0,01
<b>Cd (mg/kg).</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Zn (mg/kg).</b>	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Pb (mg/kg).</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Se (mg/kg).</b>	0,05	0,03	0,07	0,05	0,01	0,01
<b>As (mg/kg).</b>	<0,01	<0,01	0,04	0,02	0,06	0,04
<b>Hg (mg/kg).</b>	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	0,35
<b>COT (mg/kg).</b>	ND	124 ,6	ND	66 ,7	ND	18,36

A l'observation du tableau 17, nous constatons que les résultats des analyses de ces trois échantillons après traitement thermique répondent aux normes (voir tableau 17), sachant que certaines concentrations de métaux lourds après traitement diminuent légèrement et d'autres restent stable par rapport à celle avant traitement, par exemple : Le mercure avant traitement est égal à 0,4 mg/kg et baisse à 0.3 mg/kg après traitement. Par contre, la concentration du chrome reste la même, avant et après traitement (0,02mg/kg).

D'autre part, il y a une forte réduction du carbone organique total après traitement ; pour l'échantillon 3, la concentration du COT est 18,36 mg/kg seulement après traitement. La température exercée dans les chambres de chauffage (généralement 700 C°), vaporise puis sépare les hydrocarbures de déblais contaminés. Donc cette température, très élevée, permet l'élimination presque totale des hydrocarbures. Ainsi, le traitement thermique est très efficace pour l'élimination des hydrocarbures.



- **Comparaison des performances entre les deux traitements «stabilisation/solidification» et « désorption thermique »**

Afin de sélectionner la méthode de traitement la plus efficace et la plus adaptée, nous avons fait une comparaison entre les deux méthodes de traitement stabilisation/solidification (S/S) et désorption thermique (TDU) (tableau 18) sur les paramètres suivants :

Le taux de traitement, le coût de traitement, la consommation d'énergie, le recyclage et la récupération, le site géographique et l'émission atmosphérique.

**Tableau 18 :** Comparaison de performance entre les deux traitements « Stabilisation / solidification » et « désorption thermique »

Paramètres		Unités	Stabilisation/solidification	Désorption thermique
Recyclage et récupération	Eau	m <sup>3</sup> sur un volume d'eau consommée égale à 191 m <sup>3</sup>	0	77
	Huile	m <sup>3</sup> sur un volume d'huile consommé égale à 18000 m <sup>3</sup> .	0	8000
Taux de traitement		m <sup>3</sup> /jour.	120	80
Consommation d'énergie		m <sup>3</sup> /24h sur un volume traité de 110 m <sup>3</sup> .	0,6	24
Le coût de traitement.		DA par m <sup>3</sup> .	7200	18000
Le site géographique			Applicable dans le sud algérien (régions arides).	Applicable sur tout le territoire national.
Emissions atmosphériques	So <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0	2,1
	So <sub>3</sub>		0	0,023
	No <sub>x</sub>		0	0,597
	Co		0	0,14

D'après la comparaison entre les deux unités de traitement stabilisation/solidification et désorption thermique, nous pouvons dire que le procédé de désorption thermique est plus avantageux que la stabilisation/solidification en matière de récupération des eaux et huiles :

Récupération de 77m<sup>3</sup> d'eau sur un volume consommé égal à 191m<sup>3</sup> pour la méthode thermique.

Par contre l'unité de traitement par stabilisation/solidification a une capacité de traitement (120 m<sup>3</sup>/jour), plus élevée que celle de la désorption thermique (80m<sup>3</sup>/jour) ; donc la méthode S/S est

la méthode la plus rapide. D'autre part, le coût de traitement par stabilisation/solidification est environ trois fois moins cher que le coût de traitement par désorption thermique (7200 DA/m<sup>3</sup> pour la méthode S/S et 18000 DA/m<sup>3</sup> pour la méthode TDU). En plus, la désorption thermique consomme 40 fois plus d'énergie que la stabilisation/solidification.

Cependant, le traitement par stabilisation/solidification est efficace dans les régions du sud algérien car la moyenne annuelle des précipitations est très faible. Le traitement par désorption thermique peut être utilisé à travers tout le territoire national.

En outre, le procédé de stabilisation/solidification n'émet aucune substance polluante dans l'atmosphère donc il est plus favorable que le procédé de désorption thermique qui émet quelques substances en petites quantités (par exemple 2,1 mg/Nm<sup>3</sup> de dioxyde de soufre), donc les émissions des gaz atmosphériques dans ce type de traitement reste un grand problème malgré l'utilisation de l'oxydateur thermique.

# *Conclusion et perspectives*

---

---

## Conclusion et perspectives

Pour conclure ce travail, il convient de rappeler que nous nous sommes intéressées dans cette étude à la gestion des déchets inhérents aux opérations de forage au sein de SONATRACH-Division forage. La présente étude avait pour objectif principal l'évaluation de l'efficacité d'une méthode de traitement des déblais de forage dans la région de Hassi Messaoud.

La prise en charge des rejets de forage doit faire appel à un plan de gestion obéissant à la logique dite des cinq R « Refuser, Réduire, Réutiliser, Recycler et Rendre à la terre ». Dans le cas des opérations de forages, elle peut être adaptée ainsi : réduire à la source, réutiliser les ressources, recycler la boue récupérée du traitement de centrifugation, traiter lorsque c'est nécessaire et prendre en charge les inévitables résidus.

Au cours de notre stage, nous avons constaté que SONATRACH applique une technique pour la gestion des déchets de forage, qui repose sur un traitement mécanique et un traitement physico-chimique. Le traitement mécanique ou « système waste management » fait partie des mesures adopter pour minimiser l'impact des rejets de forage sur l'environnement. Le traitement physico-chimique ou « stabilisation/solidification » a pour but l'inertage des déblais de forage.

La méthode d'échantillonnage a été effectuée sur les trois bourbiers MD1, MD2 et MD3 dans le champ Hassi Messaoud, avant et après traitement stabilisation/solidification de façon aléatoire des différents endroits du bourbier.

Selon notre évaluation de la teneur massique des huiles dans les déblais, nous affirmons que les rejets pétroliers présentent un risque majeur sur l'environnement à cause de leurs compositions qui dépassent les limites maximales conventionnelles OOC > 5% avant traitement. Après l'application de la méthode « stabilisation/solidification », on constate que la valeur du pH et les concentrations en métaux lourds et carbone organique totale répondent aux limites retenues par la norme française Afnor X 31-210. Ainsi cette méthode peut être considérée comme efficace pour la remédiation des fluides de forage.

La comparaison entre les traitements physico-chimique et thermique des boues de forage mise en œuvre par SONATRACH, permet de déduire que le choix de la méthode la plus adaptée pour l'élimination de rejets de forage dépend de l'équation suivante : « performance – coût – environnement ».

- La méthode de solidification est efficace pour stabiliser les métaux lourds, par contre le traitement thermique est efficace pour la dépollution des hydrocarbures.

- D'autre part, la désorption thermique est appropriée en matière de recyclage de l'eau, de l'huile mais la stabilisation/solidification est plus appropriée pour minimiser les émissions atmosphériques.
- Sur le plan économique, la stabilisation/solidification est plus rentable que la désorption thermique.

Chacune de ces méthodes de traitement a des avantages et des inconvénients ; donc nous proposons la combinaison des deux.

Le traitement des déblais de forage est devenu une nécessité en Algérie. Il contribue à la fois à la réduction des déchets toxiques et au respect de l'environnement dans le cadre du développement durable qui doit rester une priorité. Il permet également le respect de la réglementation en vigueur en matière de gestion des déchets. Il serait fort utile pour l'industrie de s'investir dans la recherche pour développer de nouveaux procédés de fluides de forage non polluants, efficaces pour la protection de l'environnement, et rentables du point de vue économique.

Dans le proche avenir, il serait judicieux d'envisager le recours à des techniques plus performantes comme le forage sans borbier, le 0% décharge, le traitement biologique (voir annexe 3), les boues synthétiques biodégradables et les nouvelles boues à base d'eau avec des performances élevées (**HPWBM**) pour éviter l'accumulation de ces déchets plus ou moins réactifs.

En effet, SONATRACH doit se soumettre à l'application des exigences réglementaires avec pour point de mire, la protection de l'environnement. Une veille légale spécifique est obligatoire pour se tenir informer et connaître les textes applicables à chaque activité ayant un éventuel impact sur la qualité environnementale et pour mettre en œuvre les actions adaptées afin d'évaluer correctement les risques, de les maîtriser et d'être en conformité vis-à-vis de la législation.

# *Références bibliographiques*

- Akowanou, J., 2009.** Modélisation tridimensionnelle du flambage des tiges dans les puits de forage à trajectoire complexe ; Thèse de doctorat, L'école Nationale Supérieure Des Mines de Paris, Paris, 153p.
- Baba Hamed, S., 2010.** Transport des déblais dans les forages pétroliers cas des forages inclinés ; Thèse de doctorat en sciences, université Mohamed Boudiaf, Oran, 204 p.
- Bellatache, S., 2013.** Traitement des rejets générés sur les puits shale gas ; Journées d'études « TIGHT & SHALE RESERVOIRS », 17-18 septembre, Alger, 48p.
- Beniston, N.T. et Beniston, W.S., 1984.** Fleurs d'Algérie. Ed : Entreprise Nationale du Livre, Michigan, 359 p.
- Bied-Charreton, M., 2002.** Le système aquifère du Sahara septentrional ; Une conscience de bassin, synthèse de la première phase du projet OSS/SASS ; *in* : Comité scientifique français de la désertification. Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines, Paris, 18p.
- Boudjemaa, A., 2008.** Etude d'impact de l'activité pétrolière sur la nappe Mio-pliocène dans le champ de Hassi Messaoud ; Mémoire de magister en science de la terre, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 125p.
- Chehma, A., Djebbar, M.R., 2008.** Les espèces médicinales spontanées du Sahara septentrional algérien : distribution spatio-temporelle et étude ethnobotanique. *Sciences & Technologie*, 14 :17, 36-45.
- Chergui, Z., 2014.** Adéquation règlementaire des déchets et effluents liquide générés par l'activité de Forage ; Mémoire de fin de formation induction pour un post ingénieur n°1 en environnement, Hassi Messaoud, 59p.
- Cherifi, M., 2006.** Drilling waste management for environmental protection in Hassi Messaoud field, master of science thesis, the robert Gordon University, Aberdeen.
- Dada, M-A., 2011.** Optimisation d'un procédé de traitement des boues de forage ; Mémoire de magister, Université M'hamed Bougara, Boumerdes, 53p.
- Dufresne, M., 2013.** Les technologies de traitement des sols contaminés ; Mémoire de magister, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 61p.
- EPA (United States Environmental Protection Agency), 2000.** Development Document for Final Effluent Limitations Guidelines and Standards for Synthetic-Based Drilling Fluids and other Non-Aqueous Drilling Fluids in the Oil and Gas Extraction Point Source Category, office of Water. EPA-821-B-00-013, Washington, 518p
- ERM (Environmental Resources Management), 2007.** Rapport d'étude d'impact environnemental et social des activités de forage de l'AZS – 2 ; Gassi Chergui, Hassi Messaoud, 12p.
- Ezran, M., 2010.** Histoire du pétrole. Ed. Le Harmattan, Paris, 302p.
- Garcia, C. et Parigot, P., 1968.** Boues de forage ; Ed. Technip, Paris, Vol 1, 189p
- Ghazi, M., Gaetana Quaranta, G., Duplay, J., Hadjamor, R., Khodja, M., Ait Amar, H. et Kessaissia, Z., 2011.** Life-Cycle Impact Assessment of oil drilling mud system in Algerian arid area ; *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 12, 1222-1231.
- Guessoum, B. et Neman, A., 2017.** Extraction des déchets dangereux dans des déblais de forage pour la protection de l'environnement. *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 4, 1, 433-438.
- JORADP., 2001.** Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°77. Loi n° 01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 Décembre 2001, relative à la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets

- JORADP., 2003.** Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°43. Loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- JORADP., 2004.** Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°18. Décret exécutif n° 04-88 de l'Aouel Safar 1425 correspondant au 22 mars 2004 portant réglementation de l'activité de traitement et de régénération des huiles usagées.
- JORADP., 2005.** Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°60. Loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau.
- JORADP., 2006.** Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°1. Décret exécutif n° 06-02 du 7 Dhou El Hidja 1426 correspondant au 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique.
- JORADP., 2006.** Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°13. Décret exécutif n° 06-104 du 29 Moharram 1427 correspondant au 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux.
- JORADP., 2006.** Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°26. Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.
- JORADP., 2007.** Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°34. Décret exécutif n° 07-145 du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
- JORADP., 2008.** Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°58. Décret exécutif n° 08-312 du 5 Chaoual 1429 correspondant au 5 octobre 2008 fixant les conditions d'approbation des études d'impact sur l'environnement pour les activités relevant du domaine des hydrocarbures.
- Kadri, M-L., 2008.** Créer des photos, figure 5.
- Khelil, L.M. et Aouanouk, L., 2019.** Rapport d'implantation du puits de développement du gisement de Hassi-Messaoud, Hassi Messaoud, 17p.
- Khodja, M., 2008.** Etude des performances et Considérations environnementale ; Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 288p.
- Kouadri, M., 1996.** Place et rôle du secteur pétrolier dans le développement de l'économie algérienne ; *Tiers Monde*, 10, 39, 629-658.
- Logbo, R.D., 2014,** Recherche et production des hydrocarbures, groupe leroiani, un livre en cours de finition, 138p.
- Louati. D. et choura, M., 2014.** Traitement par stabilisation/solidification de boues à l'huile de forages pétroliers génères par la compagnie AGIP BV Tunisie. *Larhyss journal*, 19 :37-50.
- Loukil, L., 2016.** Énergie, environnement et développement durable en Algérie étude de cas de la région de Hassi-Messaoud ; Thèse de doctorat en Sciences économiques, Université d'Oran 2, Oran, 219p.
- Martin, M., 1970.** Caractéristiques rhéologiques et composition des boues de forage. *Houille Blanche*, 5 :463-470.
- Metaiche, M., 2013.** Cours de forage : technique et procédés ; Université de Bouira, Bouira, 56p.

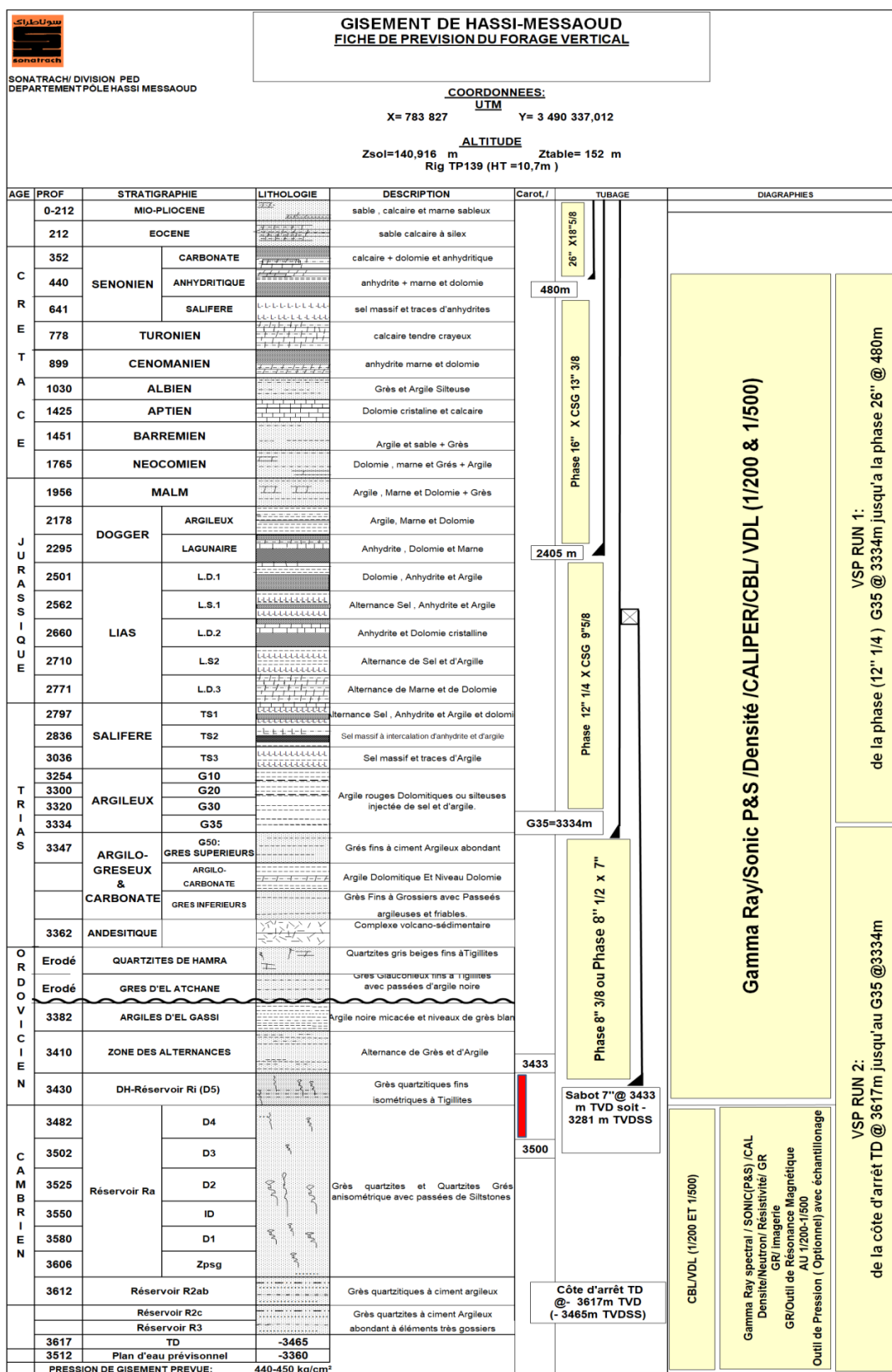


- Mijno, V., 2007.** Modifications de la composition de déchets métallifères, miniers et industriels, stabilisés par liants hydrauliques et soumis à des tests de lixiviation ; Thèse de doctorat, Université de Limoges, Limoges, 224p.
- Monographie, 2008.** Présentation de la région HMD, Hassi Messaoud. (Documents internes).
- ONM (Office National De La Météorologie), 2005.** Bulletin d'informations climatiques, Ouargla, 5p.
- Pantet, A., Merlet, N., Ouvry, J. et Didier, G., 2000.** Traitement et recyclage des boues, document technique et réglementaire ; Rapport Technique Etude n°119, Ecole supérieure d'ingénieurs de Poitiers, 22p.
- Rojey, A., Durand, B., Jaffret, C., Jullian, S. et Valais, M., 1994.** Le Gaz naturel. Ed. Technip, paris, 437p.
- Smadi, A., 2018.** Etude de l'extrait chloroformique d'*Oudeneya africana* ; Mémoire de magister en chimie organique, Université El-Hadj Lakhdar, Batna, 118p.
- SONATRACH-Division forage,** Rapport d'étude d'impact environnemental et social des activités de forage de l'AL-2 ; Gassi Chergui, Hassi Messaoud, 9p (document interne).
- SONATRACH-division forage., 2009.** Rapport sur le traitement des rejets de forage du gisement de Zarzatine, n°4, 4p (document interne).
- SONATRACH-Division Forage., 2011.** Traitement des Déblais de Forage ; STA, Algérie, 55p (document interne).
- SONATRACH-Division exploration., 2013.** Rapport d'étude d'impact environnemental, Hodna, 5p (document interne).
- SONATRACH-Division forage, 2013.** Présentation de la SONATRACH, rapport de stage, Hassi Messaoud, 16p.
- St-Laurent, S., Burelle, S. et Ouellette, H., 2012.** Lignes directrices sur la gestion des matières résiduelles et des sols contaminés traités par stabilisation et solidification ; Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs, ISBN 978-2-550-62938-2, Québec, 40p.
- <http://gardenbreizh.org/photos/karlostachys/photo>. **Bavard, C., 2010.** Les galeries photos de plantes et des jardins.
- <https://fhc.univ-boumerdes.dz/images/articles15/bentriou2015.pdf>. **Bentriou A., 2015.** L'impact des fluides de forage sur les sols et les sous-sols. Université de Boumerdes, 8p.
- <https://docplayer.fr/4149552-Universitee-kasdi-merbah-ouargla.htm>. **Bouhadda, M., 2013.** Cours de l'introduction aux fluides de forage ; Université Kasdi Merbah, Ouargla, 6p.
- <http://www.universalis.fr/encyclopedie/forages/>. **Brigant, D. et Leblond, A.** Forage, Encyclopædia Universalis, Consulté le 10 avril 2019.
- <http://fr.tutiempo.net>. **Données climatiques Algérie ; Tutiempo.** Consulté le 3 juin 2019.
- <https://www.telabotanica.org>. **Fagonia microphylla, dans Tela Botanica.** Consulté le 15 juin 2019.
- [www.geothermie-perspective.fr/](http://www.geothermie-perspective.fr/). **Geothermie-perspective., 2013.** Forage rotary. Consulté le 10 avril 2019.
- <https://www.djazair.com>. **Salami, Y., 2013.** Le débat sur les gaz de schiste rouvert ; tribune, alger.
- <https://www.scribd.com>. **Scribd., 2010.** Introduction au forage pétrolier ; Hassi Messaoud, 180p.

<https://fr.linkedin.com/company/environmental-solution>. **Waste management et solides controle, 2000**. Consulté le 08/07/2019.

# ***Annexes***

# Annexe 1 : Fiche Technique des Prévisions du forage vertical (Khelil et Aouanouk, 2019)



## Annexe 2

### **Environnemental solutions « ES » :**



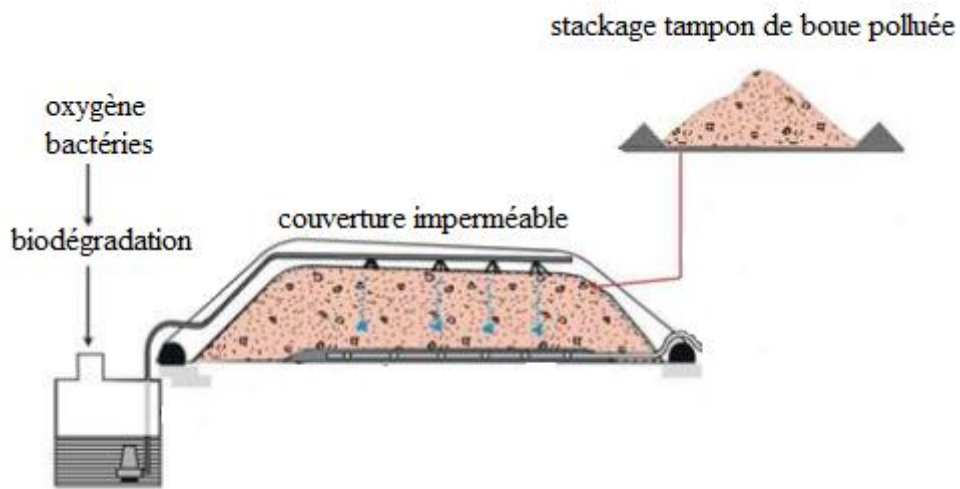
ES a été créée en mai 2007 en tant que spin-off pour la division Waste Management and Solid Control de SeaHarvest Free Zone (SHRVST). Environmental Solutions est une société de services pétroliers et gaziers à la croissance régionale spécialisée dans le contrôle des solides et la gestion des déchets, dont les projets ambitieux sont de se développer dans la région Middle East and North Africa MENA.

ES proposé une gamme complète de technologies de contrôle des solides et de gestion des déchets, notamment des équipements de contrôle des solides, des outils de manutention et des techniques de traitement et d'élimination des déchets de forage (waste management et solids controle, 2000).

## Annexe 3

### Traitement biologique :

Le traitement biologique repose sur le principe de la dégradation des contaminants par des microorganismes principalement les bactéries. Il est donc nécessaire de cultiver des microorganismes sur les sols contaminés. Le processus de dégradation des contaminants est effectué en présence d'oxygène (aérobie). Cette technologie est applicable sur des surfaces très vastes (Dufresne, 2013).



**Figure :** Principe de traitement biologique des boues de forage (Dufresne, 2013).

**INTITULÉ : TRAITEMENT DES FLUIDES DE FORAGE  
PAR LA METHODE STABILISATION/SOLIDIFICATION  
AU NIVEAU DU CHAMP DE HASSI MESSAOUD****Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Ecologie fondamentale et Appliquée**

Dans l'industrie des hydrocarbures, l'activité de forage génère des déchets qui représentent un réel danger pour l'environnement et leur prise en charge s'avère incontournable. La présente étude porte essentiellement sur l'évaluation de la gestion intégrée des rejets de forages des trois borbiers MD1, MD2 et MD3 au niveau de champ Hassi Messaoud. De ce fait, SONATRACH a adopté un traitement primaire (traitement mécanique) et un secondaire (traitement par stabilisation/solidification) des déblais enrobés par la boue à base d'huile.

Dans la présente étude a été évaluée l'efficacité du traitement par «stabilisation/solidification» pour l'élimination des hydrocarbures et métaux lourds. A cet effet, ce travail s'est appuyé sur le prélèvement des échantillons des déblais avant et après traitement à partir des trois unités de traitement. Les analyses, réalisées après un test de lixiviation, ont porté sur le pH, le carbone organique total (COT) et les métaux lourds (Cd, Hg, Pb, Cu, Cr, Ni, Se, As, Zn). Les résultats des trois échantillons après traitement montrent que les teneurs en métaux lourds et carbone organique totale dans les déblais sont inférieures à la norme française Afnor X 31-210. D'autre part, la comparaison de l'efficacité de la méthode stabilisation/solidification avec celle de la méthode au traitement thermique utilisée précédemment par SONATRACH a permis de conclure qu'il serait judicieux de combiner les deux pour optimiser les rendements tout en préservant l'environnement.

**Mots clés :** forage, déblais, stabilisation/solidification, hydrocarbures, métaux lourds.**Laboratoire de recherche :** Division-forage SONATRACH

Jury d'évaluation :

<b>Président du jury :</b>	<i>ZAIMECHE Saida</i>	MCB	UFM Constantine 1
<b>Rapporteur :</b>	<i>AFRI-MEHENNAOUI Fatima-Zohra</i>	Professeur	UFM Constantine 1
<b>Examineur :</b>	<i>TOUATI Laid</i>	MCA	UFM Constantine 1

**Date de soutenance :** 18/07/2019